

Inofas & Enagrotech

E-book

Do Campo ao Digital: Tecnologia que Transforma

Organizadores

Wiaslan Figueiredo Martins
Virgínia Mirtes de Alcântara Silva
Jackson Andson de Medeiros
Ellen Godinho Pinto

Agronfy



Inofas & Enagrotech

E-book

Do Campo ao Digital: Tecnologia que Transforma

Agronfy

Jackson Andson de Medeiros
Editor-chefe
Wiaslan Figueiredo Martins
Virgínia Mirtes de Alcântara Silva
Jackson Andson de Medeiros
Ellen Godinho Pinto
Membros da comissão avaliadora dos trabalhos

Membros do conselho editorial da editora Agronfy

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Martins, Wiaslan Figueiredo [e outros três organizadores]. Campo, Alimentos e Tecnologia: Conexões entre Ciência e Computação / Wiaslan Figueiredo Martins, Virgínia Mirtes de Alcântara Silva, Jackson Andson de Medeiros, Ellen Godinho Pinto [organizadores]. – 1. ed. – Jardim do Seridó: Editora Agronfy, 2025.

Formato digital (PDF).

Inclui referências bibliográficas e índice analítico.

ISBN: 978-65-85062-30-5
DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas

1. Ciência e tecnologia de alimentos 2. Computação aplicada 3. Inovação tecnológica 4. Desenvolvimento científico 5. Campo e produção sustentável I. Martins, Wiaslan Figueiredo II. Silva, Virgínia Mirtes de Alcântara III. Medeiros, Jackson Andson de IV. Pinto, Ellen Godinho V. Agronfy (Editora).

CDD 630

NOTA EDITORIAL – AGRONFY

Todos os textos que integram esta obra foram submetidos à avaliação criteriosa do Conselho Editorial da Agronfy e passaram por processo de revisão por pares, em conformidade com as normas de boas práticas editoriais exigidas pela **CAPES**, garantindo a qualidade acadêmica e científica da publicação.

Esta obra é resultado de uma construção coletiva, configurando-se como uma coletânea, na qual os direitos autorais permanecem sob responsabilidade dos respectivos autores e autoras. Alguns capítulos podem ter origem em comunicações previamente apresentadas em eventos científicos ou acadêmicos, entretanto, os autores foram devidamente orientados quanto à prevenção do autoplágio, ao respeito à originalidade e à integridade ética da produção científica.

O conteúdo de cada capítulo é de responsabilidade exclusiva dos(as) autores(as), incluindo a veracidade das informações, interpretações e referências utilizadas. As opiniões expressas não refletem, necessariamente, os posicionamentos institucionais da editora, dos organizadores ou do Conselho Editorial da Agronfy.

APRESENTAÇÃO

O e-book “Do Campo ao Digital: Tecnologia que Transforma” reúne os capítulos aprovados durante o I Inovação em Alimentos e Sustentabilidade (INOFAS) e o I Encontro de Agroindústria e Tecnologia (ENAGROTECH), eventos realizados pelo Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos.

Esta obra nasce da convergência entre a pesquisa aplicada, a inovação e a sustentabilidade, destacando o papel da ciência na transformação do campo e da indústria de alimentos. São 52 capítulos que abrangem desde o manejo sustentável do solo e o uso de microrganismos benéficos até o desenvolvimento de novos produtos, tecnologias de processamento, controle biológico e aproveitamento de resíduos agroindustriais.

Mais do que um compilado técnico, o e-book representa o espírito colaborativo e interdisciplinar dos estudantes, professores e pesquisadores envolvidos, que buscam soluções reais para os desafios da agroindústria e da segurança alimentar.

O tema “Do Campo ao Digital: Tecnologia que Transforma” reflete a integração entre a produção agrícola e os avanços tecnológicos que impulsionam a inovação no setor, conectando o conhecimento científico às demandas sociais e ambientais contemporâneas.

Esperamos que esta publicação inspire novas pesquisas, fortaleça o vínculo entre academia e setor produtivo e estimule a formação de profissionais capazes de conduzir o futuro da agroindústria brasileira de forma ética, sustentável e inovadora.

SUMÁRIO

Capítulo 01 7

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-01 7

MÉTODOS ALTERNATIVOS NO CONTROLE DE *Meloidogyne javanica* EM JILOEIRO 7

Capítulo 02 17

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-02 17

OBTENÇÃO E ANÁLISE DE EXTRATOS DE AMÊNDOA DE BARU (*DIPTERYX ALATA*) E PEQUI (*CARYOCAR BRASILIENSE*) 17

Capítulo 03 24

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-03 24

A CIÊNCIA EM FORMA DE CULTIVARES: IMPLANTANDO A RESSOCIALIZAÇÃO EM PPL'S NO MUNICÍPIO POMBAL - PB 24

Capítulo 04 37

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-04 37

IMPLICAÇÕES PARA SEGURANÇA ALIMENTAR E USO BIOTECNOLÓGICO DO EXTRATO DO FRUTO DO *PILOSICEREUS CHRYSOSTELE* (FACHEIRO) . 37

Capítulo 05 48

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-05 48

CAFERANA (*BUNCHOSIA GLANDULIFERA*): CARACTERIZAÇÃO BIOMÉTRICA, FÍSICO-QUÍMICA E POTENCIAL FUNCIONAL DE UM FRUTO NATIVO BRASILEIRO 48

Capítulo 06 55

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-06 55

INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO CERVEJEIRO EM HAMBÚRGUERES DE FRANGO: CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA 55

Capítulo 07 67

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-07 67

O FOGO NO CERRADO GOIANO: REVISÃO DOS IMPACTOS ECOLÓGICOS E ESTRATÉGIAS DE MANEJO INTEGRADO 67

Capítulo 08 83

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-08 83

USO DE ADITIVOS PROTEICOS EM SILAGEM DE CAPIM: REVISÃO DE LITERATURA 83

Capítulo 09 92

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-09 92

PROPOSIÇÃO DE UMA ROTINA DE BOAS PRÁTICAS PARA O SETOR DE RECICLAGEM ANIMAL 92

Capítulo 10 101

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-10 101

DESENVOLVIMENTO DE PROTOCOLO PARA A ADUBAÇÃO ORGANOMINERAL NA CULTURA DA BANANA 101

Capítulo 11 113

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-11 113

MODELAGEM MATEMÁTICA DO CRESCIMENTO DE Brochothrix thermosphacta EM TAINHA VERMELHA EM DIFERENTES TEMPERATURAS 113

Capítulo 12 121

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-12 121

O PAPEL DA POLINIZAÇÃO POR INSETOS EM CULTURAS AUTÓGAMAS 121

Capítulo 13 141

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-13 141

QUALIDADE DA PLANTABILIDADE DE SEMENTES DE MILHO-DOCE: ESPAÇAMENTOS FALHOS, ACEITÁVEIS E DUPLOS 141

Capítulo 14 152

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-14 152

PERDAS QUANTITATIVAS NA COLHEITA MECANIZADA DO TOMATE INDUSTRIAL 152

Capítulo 15 160

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-15 160

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E PERFIL BIOATIVO DO FRUTO DE *PILOSOCEREUS CHRYSOSTELE* (FACHEIRO) 160

Capítulo 16 173

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-16 173

AVALIAÇÃO DE MODELOS NÃO LINEARES APLICADOS AO CRESCIMENTO DE BOVINOS DE CORTE 173

Capítulo 17 180

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-17 180

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E TECNOLÓGICA DA FARINHA DO MESOCARPO DE BARU (*DIPTERYX ALATA* VOGEL) 180

Capítulo 18 188

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-18 188

.AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E DE TEXTURA INSTRUMENTAL DE GELEIA TIPO EXTRA DE DOVYALIS 188

(*Dovyalis abyssinica)* 188

Capítulo 19 198

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-19 198

RESPOSTA DA BATATA (*Solanum tuberosum* L.) SOB DOSES DE FÓSFORO E DE SILÍCIO 198

Capítulo 20 210

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-20 210

O FOGO NO CERRADO GOIANO: REVISÃO DOS IMPACTOS ECOLÓGICOS E ESTRATÉGIAS DE MANEJO INTEGRADO 210

Capítulo 21 225

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-21 225

CONTROLE BIOLÓGICO E A COMPATIBILIDADE ENTRE PRODUTOS BIOLÓGICOS E QUÍMICOS 225

Capítulo 22 241

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-22 241

MICOVÍRUS NA AGRICULTURA: A REVOLUÇÃO SILENCIOSA PARA O CONTROLE BIOLÓGICO 241

Capítulo 23 250

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-23 250

BARU: POTENCIAL NUTRICIONAL E COMERCIAL PARA PRODUTOS ALIMENTÍCIOS FUNCIONAIS DO CERRADO 250

Capítulo 24 258

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-24 258

EFEITO DOS MICRORGANISMOS EFICIENTES NO DESENVOLVIMENTO DO REPOLHO (Brassica oleracea var capitata) NO VERÃO 258

Capítulo 25 264

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-25 264

POTENCIAL DE BORRA DA CAFÉ ESPECIAL COMO SUBSTRATO PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS DE QUIABEIRO (*Abelmoschus esculentus*) 264

Capítulo 26 278

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-26 278

BACTERIÓFAGOS DE AMPLO ESPECTRO: UMA FERRAMENTA PARA A AGRICULTURA SUSTENTÁVEL 278

Capítulo 27 292

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-27 292

AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICOS DE SALSICHAS COMERCIAIS 292

Capítulo 28 301

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-28 301

POTENCIAL DE ISOLADOS DE *Trichoderma* spp. NO BIOCONTROLE DE *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum*: ENSAIO *IN VITRO* 301

Capítulo 29 308

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-29 308

EFICIÊNCIA PRODUTIVA DE MATRIZES E SUA INFLUÊNCIA NO DESEMPENHO INICIAL DE BEZERROS DE CORTE 308

Capítulo 30 315

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-30 315

RIZOBACTÉRIAS COMO AGENTES DE BIOCONTROLE DE *Rhizoctonia Solani* EM BATATA 315

Capítulo 31 324

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-31 324

REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS E REGULADOR VEGETAL NA CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE TOMATE 324

Capítulo 32 333

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-32 333

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E PERFIL BIOATIVOS DA FLOR DE JASMIM-MANGA (*PLUMERIA RUBRA L.)* ATRAVES DO PROCESSO DE SECAGEM 333

Capítulo 33 339

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-33 339

ANÁLISE DE COR E TEXTURA DE FILÉS DE FRANGO EMPANADO COM FARINHA DA CASTANHA DE BARU 339

Capítulo 34 347

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-34 347

Capítulo 35 357

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-35 357

MODELAGEM PREDITIVA DO CRESCIMENTO DE *Escherichia coli* EM CARNE MOÍDA ARMAZENADA EM CONDIÇÕES DE ABUSO DE TEMPERATURA .. 357

Capítulo 36 365

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-36 365

MANEJO ALTERNATIVO DE *Meloidogyne* spp. COM DESTAQUE PARA TERPENOS PURIFICADOS DE *Euphorbia* sp. 365

Capítulo 37 383

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-37 383

UTILIZAÇÃO DE SUBPRODUTOS COMO INGREDIENTES FUNCIONAIS NA FORMULAÇÃO DE NOVOS PRODUTOS NA ÁREA DA PANIFICAÇÃO: UMA REVISÃO 383

Capítulo 38 391

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-38 391

POTENCIAL DE FARINHAS ALTERNATIVAS COM ALTO TEOR PROTEICO EM MASSAS ALIMENTÍCIAS - UMA REVISÃO 391

Capítulo 39 400

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-39 400

REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS INTELIGENTES NA CONSERVAÇÃO PÓS COLHEITA: AVANÇOS EM POLÍMEROS BIODEGRADÁVEIS, ADITIVOS FUNCIONAIS E NANOCOMPÓSITOS 400

Capítulo 40 413

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-40 413

CARACTERIZAÇÃO MICROBIOLÓGICA DE REVESTIMENTO COMESTÍVEL À BASE DE ÓLEO ESSENCIAL EM MORANGOS 413

Capítulo 41 422

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-41 422

ANÁLISE TECNOLÓGICA DA QUALIDADE DE SEMENTES:INOVAÇÕES E PERSPECTIVAS 422

Capítulo 42 435

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-42 435

CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS E MORFOLÓGICAS DE PEIXINHO DA HORTA CULTIVADA EM SISTEMA HIDROPÔNICO *INDOOR* SOB DIFERENTES ESPECTROS LUMINOSOS. 435

Capítulo 43 444

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-43 444

USO DE ESTERCO BOVINO EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA: CONTRIBUIÇÕES PARA A RECUPERAÇÃO DE SOLOS E SUSTENTABILIDADE NA AGRICULTURA FAMILIAR 444

Capítulo 44 453

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-44 453

PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS, NUTRICIONAIS E BIOATIVAS DE HIBISCUS ROSA-SINENSIS L. SUBMETIDO AO PROCESSO DE SECAGEM . 453

Capítulo 45 463

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-45 463

FLOR DO JAMBO (*SYZYGIUM MALACCENSE L.*): UMA FONTE POTENCIAL DE COMPOSTOS BIOATIVOS NATURAIS 463

Capítulo 46 478

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-46 478

COMPOSIÇÃO CENTESIMAL E BIOATIVA DOS EXTRATOS DE *PILOSOCEREUS CHRYSOSTELE* (FACHEIRO) 478

Capítulo 47 493

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-47 493

APROVEITAMENTO DO SUBPRODUTO CERVEJEIRO NA FORMULAÇÃO DE HAMBÚRGUERES DE FRANGO: VIABILIDADE MICROBIOLÓGICA 493

Capítulo 48 501

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-48 501

BENEFÍCIOS DA BORRA DE CAFÉ ESPECIAL NO SUBSTRATO NA GERMINAÇÃO E DESENVOLVIMENTO INICIAL DA BERINJELA (*Solanum melongena L.*) 501

Capítulo 49 514

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-49 514

O USO DE NITRATO NA SUPLEMENTAÇÃO ESPORTIVA: UMA REVISÃO. 514

Capítulo 50 522

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-50 522

TRANSFORMAÇÃO DE SUBPRODUTO CERVEJEIRO EM FARINHA: PERSPECTIVA PARA A INDÚSTRIA DE ALIMENTOS 522

Capítulo 51 531

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-51 531

ESTRESSE CAUSADO PELO TRANSPLANTIO E PELA INOCULAÇÃO DE *Meloidogyne javanica* NA CULTURA DO JILOEIRO 531

Capítulo 52 544

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-52 544

MODELOS NÃO LINEARES APLICADOS A DADOS DE CRESCIMENTO DE BEZERRAS LEITEIRAS 544

Capítulo 01

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-01

MÉTODOS ALTERNATIVOS NO CONTROLE DE *Meloidogyne javanica* EM JILOEIRO

Gabriela Araújo Martins*; Rodrigo Viera da Silva ; Viviane Loriene Nascimento Soares da Silva; Samara Rodrigues da Silva; Ana Paula Gonçalves Ferreira; Maria Fernanda Neiva Silva; Gustavo de Souza Pires

**E-mail: gabriela.martins@estudante.ifgoiano.edu.br*

RESUMO: O jiloeiro é uma hortaliça de grande importância socioeconômica no Brasil, com produção concentrada na região sudeste e centro-oeste. Entretanto, sua produtividade é fortemente afetada pelos nematoides de galhas, principalmente *Meloidogyne javanica* e *M. incognita*, que comprometem o sistema radicular e podem causar perdas de até 100%. Diante da ausência de variedades resistentes e da indisponibilidade de nematicidas químicos registrados para a cultura, alternativas de manejo tornam-se fundamentais. Logo, objetivo desta revisão foi compilar e discutir métodos alternativos para o controle de *Meloidogyne javanica* em jiloeiro, destacando práticas culturais, biológicas e o uso de extratos vegetais. Entre as estratégias disponíveis, destacam-se a adubação orgânica e o uso de resíduos agroindustriais, capazes de melhorar as propriedades físico-químicas do solo, estimular a microbiota e liberar compostos de ação nematicida. Práticas como biofumigação com brássicas, aplicação de indutores de resistência (ex. acibenzolar-S-metil), e agentes biológicos, especialmente do gênero *Bacillus*, apresentam resultados promissores. Tecnologias emergentes, como o uso da arbolina, nanopartícula de carbono com potencial para aumentar a tolerância das plantas, mostram-se inovadoras, embora careçam de validação científica robusta. Assim, o conhecimento e a adoção de métodos alternativos e integrados representam uma perspectiva sustentável e eficaz no controle de nematoides de galhas em jiloeiro.

Palavras-chave: nematoides de galhas; manejo integrado; nutrição; olericultura; arbolina.

INTRODUÇÃO

As hortaliças destacam-se pelo elevado teor nutritivo, com grande quantidade de sais minerais e vitaminas na composição. Atualmente, vivencia-se "uma onda crescente" no consumo de hortaliças pelos brasileiros, influenciado pelas tendências de mudança nos hábitos alimentares, alavancando a demanda por maior produção de hortaliças no país. Além disso, os consumidores tornaram-se mais exigentes, tendo a necessidade de produzir alimentos de melhor qualidade e mais sustentáveis (1).

O jiloeiro (*Solanum gilo* R.) é uma espécie de origem africana e família Solanaceae, introduzida no Brasil pelos escravos, no século XVII. Esta planta produz frutos do tipo baga, de coloração verde-claros e, quando maduros, apresentam cor vermelha ou alaranjada (Figura 1) (2). A produção brasileira de jiló é aproximadamente 80.000 toneladas (t) por ano

e os principais produtores localizam-se na região sudeste do país (3). O estado de Goiás produziu 6.495 t em 2020, gerando a receita de 14,5 milhões de reais (4).

Diversos agentes biológicos podem provocar prejuízos ao jiloeiro, com destaque para os nematoides de galhas radiculares: *Meloidogyne incognita, M. javanica e M. enterolobii*. O parasitismo de *Meloidogyne* causa graves sintomas ao sistema radicular, provocando o surgimento de galhas, que acarretam a redução na absorção de água e nutrientes pela planta. Os nematoides são responsáveis por ocasionar expressivas reduções na qualidade e produtividade do jiloeiro, inclusive, em certas condições podem inviabilizar o cultivo, com até 100% de prejuízos (5). Atualmente, não há, no mercado, a disponibilidade de nematicidas químicos e nem variedades resistentes registradas no Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) para o controle de nematoides no jiloeiro, dificultando ainda mais o manejo.

Dentre as estratégias mais utilizados para o manejo de nematoides, destacam-se o controle biológico, o controle cultural, a exemplo da matéria orgânica, resíduos orgânicos, incorporação de brássicas e os indutores de resistência. Estes métodos têm se tornado essenciais no manejo desse fitonematoide, por proporcionar melhor crescimento vegetativo da planta e favorecer o aumento da microbiota do solo. Entretanto, na literatura encontram-se poucos trabalhos sobre o tema para jiloeiro (6).

Para manejar nematoide de galhas em jiloeiro faz-se necessário empregar estratégias que tenham alta eficiência de controle e ação rápida na redução da densidade do nematoide. Um método de controle eficiente de fitonematoides consiste em manejar a adubação orgânica, de modo a oferecer boa condição nutricional e aumentar a tolerância das plantas e reduzir a infecção pelos nematoides (6). Portanto, a validação de novas estratégias de manejo, por meio de pesquisas científicas é essencial para o manejo integrado de nematoides de galhas em jiloeiro.

Diante do exposto a presente revisão teve o objetivo de reunir e discutir os principais métodos alternativos de controle de *Meloidogyne javanica* em jiloeiro, destacando práticas culturais, o uso de agentes biológicos, extratos vegetais e tecnologias emergentes, visando subsidiar estratégias sustentáveis de manejo integrado.

Cultura do jiloeiro (*Solanum gilo* R.)

A família Solanaceae possui cerca de 150 gêneros e três mil espécies. Somente no Brasil possui aproximadamente 34 gêneros e 452 espécies de solanáceas, abrangendo plantas arbustivas, herbáceas ou arbóreas. Algumas espécies apresentam grande importância econômica e comercial, além de terem grande participação na alimentação humana e medicinal. Dentre as cultivadas destaca-se, a batata, o tomate, o pimentão e o jiloeiro (*Solanum gilo* R.), considerados hortaliças bastante difundidas no país e de alta apreciação de comercialização pelos brasileiros (7).

O jiloeiro é uma planta anual, herbácea, com caules eretos, ramos verdes e alongados. Apresenta de duas a três flores brancas juntas, porém somente uma torna-se fértil. Os frutos são do tipo baga e arredondados, possuem sabor amargo quando consumido imaturo, possui coloração verde-claro ou escuro e quando maduros apresentam coloração vermelha ou alaranjada (8).

O fruto do jiló pode ser consumido de diversas formas: cru, em saladas, cozido, grelhado, fritos, assados entre outros. Além disso, também podem ser utilizados na medicina doméstica, porque os frutos apresentam propriedades antioxidantes reduzindo os níveis de colesterol. Os frutos apresentam a cerca de 92% de água, 1% de proteína, 6% de carboidratos e 0,3% de gordura. Também apresentam baixo valor calórico por apresentar quantidades

consideráveis de vitaminas C, B5, cálcio, ferro e fósforo. Em algumas regiões brasileiras o jiló também é utilizado na medicina caseira para combater gripes, febre e resfriados (2).

Por causa da sensibilidade ao frio, a melhor época de cultivo é entre os meses de agosto a fevereiro e em regiões de inverno ameno pode ser cultivado ao longo do ano. A temperatura ideal de cultivo do jiloeiro varia entre 18 e 25°C. Possui preferência por solos de boa drenagem, textura média, pH entre 5,5 a 6,8 e saturação por bases acima de 70%. A reprodução por semente é considerada o principal meio de propagação, podendo ser semeadas em bandejas ou diretamente no canteiro. A colheita do jiló inicia-se entre 80 e 100 dias após a semeadura, realizando a cerca de duas colheitas semanais, podendo ser prolongada de 3 a 5 meses (8).

Os dados mais recentes de produção de jiló encontram-se registrado no censo agropecuário realizado em 2017, em que a produção desta hortaliça no Brasil foi de 78.983 t. A região sudeste destaca-se por ser a principal região produtora, destaque para estados como Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais (3). O Estado de Goiás, no ano de 2020, produziu a cerca de 6.495 t, gerando a receita de 14,5 milhões de reais. No ano de 2023, a variação de preço no CEASA – GO da caixa de 17 kg de jiló variou de R$30,00 a R$100,00 (9).



Figura 1. Cultivo de jiloeiro em vasos na casa de vegetação. A. Planta de jiloeiro cultivar morro grande verde-claro. B. Frutos verdes de jiloeiro. C. Frutos maduros de jiló com coloração vermelho-alaranjados.

Nematoides

Os nematoides são animais invertebrados do filo Nematoda, de corpo cilíndricos e filiforme, coloração quase transparente e locomoção serpentiforme. Possuem hábito aquáticos, porém, podem ser encontrados em diversos ambientes naturais úmidos. Os nematoides podem ser classificados de acordo com seus hábitos alimentares, sendo divididos em três grupos: os de vida livre, parasitas de animais e os parasitas de plantas ou fitonematoides, como são denominados (10).

Os fitonematoides, ou seja, os que parasitam plantas, correspondem a 10% das espécies descritas do filo Nematoda. Estes são caracterizados pela presença de estilete, possuem de 0,2 a 3,0 mm de comprimento e parasitam principalmente raízes de plantas e outros órgãos, como por exemplo, bulbos, tubérculos, rizomas, caules, folhas, frutos e sementes (11).

Em função dos grandes prejuízos, os fitonematoides apresentam grande importância para as hortaliças a nível mundial, ocorrendo principalmente em regiões de clima tropical. O manejo adequado de fitonematoides nas áreas de cultivo é essencial, esses vermes podem

desenvolver ataques intensos, dificultando o desenvolvimento e produção das plantas, causando perdas de até 100%. No Brasil, o ataque de nematoides é intensificado, pela existência de grandes áreas de cultivo, promovendo o movimento de pessoas e máquinas agrícolas, materiais contaminados, manejo inadequado, disseminando os nematoides (12).

Nematoides de galhas

Os nematoides de galhas, gênero *Meloidogyne*, são considerados os de maior importância na econômica mundial. Este grupo de nematoides foi primeiramente descrito no Brasil, no cafeeiro em 1887, por Emílio Goeldi em plantas de café, na província do Rio de Janeiro. Dezenas de espécies de *Meloidogyne* foram relatadas ao redor do mundo, porém as que mais causam prejuízos em hortaliças no Brasil são os *M. incognita, M. javanica* e *M. enterolobii* (13).

Os nematoides de galhas são classificados como parasitas obrigatórios de raízes e caules subterrâneos. Possuem alta capacidade de adaptação em diversos tipos de clima e solo, apresentando atividade durante todo o ano, em regiões de temperaturas mais quentes e solos úmidos. Todavia, em locais frios o ciclo de vida torna-se mais longo (14).

O ciclo de vida dos nematoides do gênero *Meloidogyne* é iniciado quando a fêmea dentro da raiz realiza a deposição dos ovos, envoltos por uma matriz gelatinosa, que possui a função de protegê-los da dessecação. A fase de desenvolvimento embrionário culmina com o primeiro estádio juvenil (J1). Posteriormente, este, sofre uma ecdise no interior do ovo, ocasionada pela pressão do estilete e por ação de enzimas produzidas nas glândulas esofagianas, dando origem ao juvenil de 2° estádio (J2). As plantas liberam exsudatos pelas raízes atraindo os J2, que locomovem no solo até encontrar o hospedeiro, após esse encontro, o J2 penetra a raiz e move-se entre as células do parênquima em direção ao córtex. A infecção ocorre quando o fitonematoide, após o estabelecimento do sítio de alimentação pressiona seu estilete na parede celular da planta liberando secreções das glândulas esofagianas e expandindo as células do cilindro vascular. Isto, aumenta as taxas de divisão celular, promovendo o aumento das células, pela hiperplasia e hipertrofia. Essas células, são responsáveis por nutrir os J3, J4, adultos e fêmeas (15). Na **figura 2**, a seguir, é possível observar o ciclo de vida do gênero *Meloidogyne* em jiloeiro.

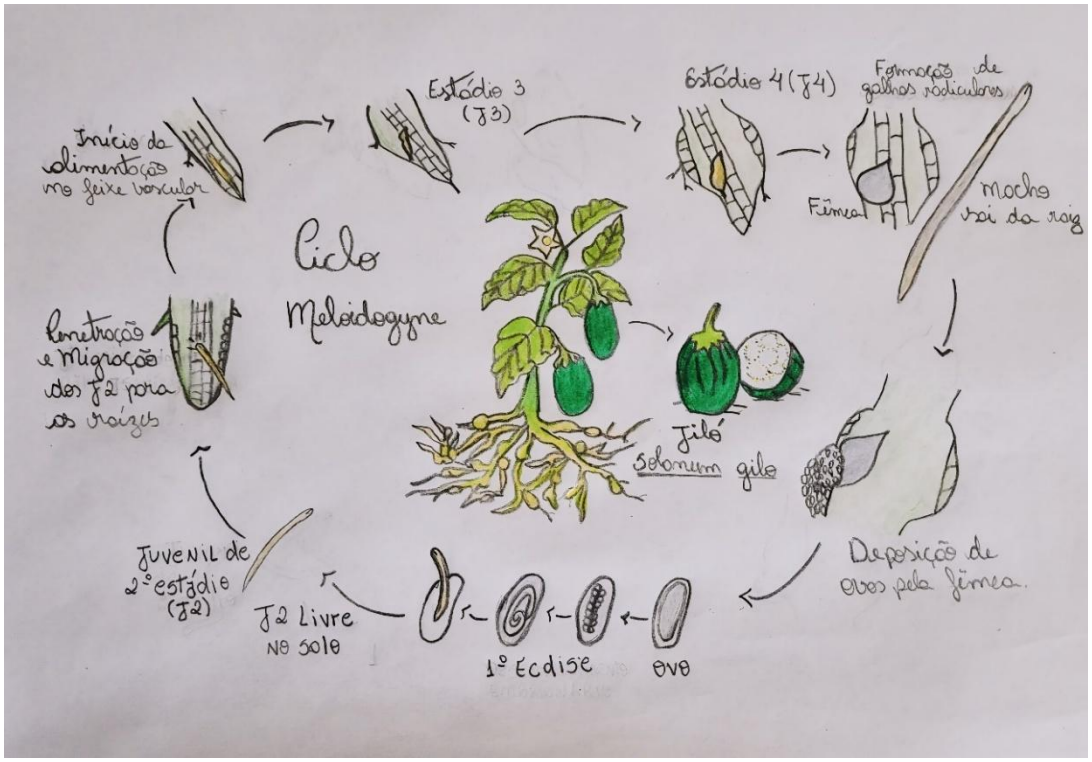


Figura 2: Esquema ilustrativo do ciclo de vida de *Meloidogyne* spp. em jiloeiro. Fonte: (16).

Manejo de nematoides das galhas em jiloeiro

As principais espécies de *Meloidogyne* que parasitam o jiloeiro são *M. javanica* e *M. incognita*. Os sintomas manifestados são desenvolvimento reduzido, murcha nas horas mais quentes do dia, queda de produção, nanismo, clorose e sintomas que podem ser confundidos com deficiência nutricional, conforme observado na figura 3 (17). Nas raízes das plantas, as galhas são visíveis ao longo do sistema radicular da planta, além disso, outros patógenos secundários podem instalar-se nas raízes, causando apodrecimento, como por exemplo, os fungos *Fusarium* sp., *Sclerotium rolfsii* e *Verticillium* sp. A sua disseminação pode ser facilitada pela movimentação no solo por máquinas e implementos agrícolas, água, sementes e mudas contaminados, pelo homem e animais (13).

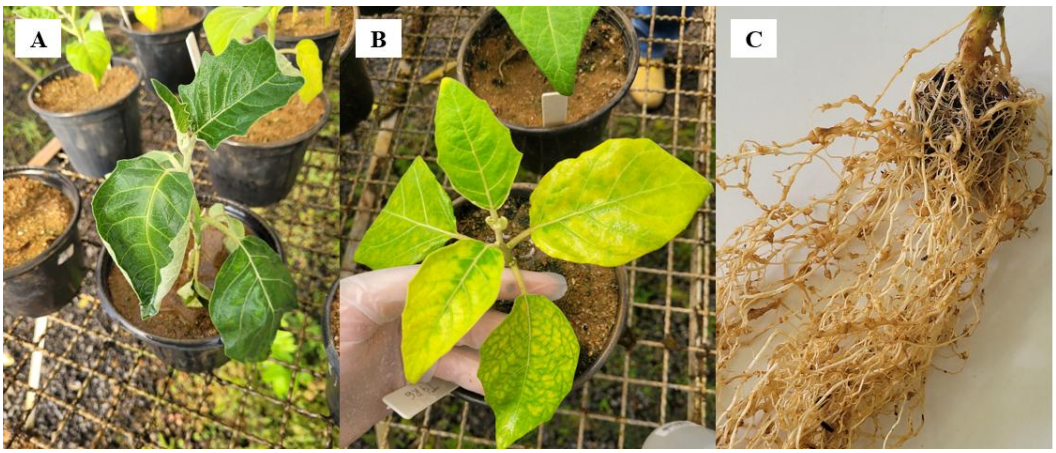


Figura 3. Sintomas causados por *Meloidogyne javanica* em jiloeiro. A. Murcha. B. amarelecimento da parte aérea. C. presença de galhas nas raízes.

Após o estabelecimento dos fitonematoides na área, torna-se muito difícil realizar a erradicação, logo, a prevenção é a melhor maneira de controle destes patógeno no solo. Portanto, têm-se buscado métodos de controle alternativos com a finalidade de reduzir a densidade populacional no solo e mantê-las em níveis mais baixos para que não causar danos econômicos. O controle químico sintético nem sempre é eficaz, além disso, não existem nematicidas registrados no Ministério da Agricultura e Abastecimento (MAPA) para a cultura do jiloeiro.

Para manejar nematoide de galhas em jiloeiro é necessário empregar estratégias que tenham alta eficiência de controle e que necessitem de pouco tempo, desde a aplicação até a redução da densidade do nematoide. Um método de controle eficiente consiste em manejar a adubação, seja esta: orgânica, verde, resíduos orgânicos e biofertilizantes, possibilitando obter plantas com boa condição nutricional, além de aumentar a tolerância e reduzir a infecção pelos nematoides (6).

A adubação com resíduos orgânicos e agroindustriais, a exemplo de estercos de bovinos, aves e torta de mamona, é considerada eficiente no controle de fitonematoides. A adubação com matéria orgânica, melhora as propriedades físico-químicas do solo, aumentando a atividade microbiana que pode estimular os inimigos naturais, agindo contra os nematoides. Outra forma de ação da matéria orgânica ocorre pela decomposição, e pode liberar de compostos químicos com atividade nematicida (18). Em trabalho realizado em jiloeiro, utilizando esterco bovino e torta de filtro provocou a redução de 51,44 e 52,39% a quantidade de ovos e J2 de *M. javanica*, respectivamente (19).

A prática de incorporar materiais orgânicos no solo, com o objetivo de liberar compostos voláteis (COV), capazes de controlar os nematoides, também tem se tornado uma prática comum. É muito utilizada, a incorporação com brássicas, pois estas liberam um COV denominado de isotiocianato (ITC), que possui ação nematicida (20).

Ao realizar a substituição de nematicidas químicos sintéticos por fertilizantes pode tornar uma estratégia viável e aceitável, para alcançar bons resultados na redução de fitonematoides. Uma vez que reduz a população desse patógeno, além de oferecer boa condição nutricional as plantas e tornar as plantas mais tolerantes a infecção pelos fitonematoides (21).

A arbolina é um fertilizante nanotecnológico originado de nanocompostos de carbono. É uma nanopartícula obtida de matéria-prima renovável e alguns estudos mostram que possui efeitos benéficos sobre diferentes culturas, a exemplo: milho, soja, feijão e hortaliças. A arbolina tem sido estudada como biorregulador de plantas para garantir melhora na absorção de ampla gama de nutrientes, além de ter grande potencial para aumentar a tolerância das plantas a estresses bióticos e abióticos (22). Ainda não possuem resultados publicados em artigos científicos acerca da eficiência da arbolina sobre nematoides. Porém em pesquisa de iniciação científica realizada mostrou que a arbolina na dosagem de 1,5 g L^{-1} reduziu o número de ovos por grama de raiz em 30,92%, em mudas de jiló inoculadas com *M. incognita* (23). Dessa forma, novas pesquisas devem ser realizadas para verificar se esse fertilizante possui potencial para reduzir população de fitonematoides.

Os indutores de resistência também têm se tornado uma das substâncias estudadas, pois está envolvida na ativação de mecanismos de resistência das plantas, proporcionando mais tolerância a estresses bióticos e abióticos (24). O acibenzolar-S-metil (ASM) tem se destacado por ser indutor de resistência apresentando baixa toxicidade e o modo de ação é de forma sistêmica, promovendo a indução de resistência na planta sem apresentar efeito direto sobre o alvo. O ASM age desencadeando enzimas que são responsáveis por causar a

lignificação da parede celular da planta, tornando mais resistente ao ataque de patógenos (25).

O uso de agentes de controle biológico encontra-se em franca expansão, sendo uma estratégia viável e eficaz para o manejo de fitonematoides. Várias espécies bacterianas têm sido estudadas por apresentarem alta atividade nematicida, em especial as do gênero *Bacillus*, as mais abundantes no solo (26). Além de suprimirem os fitonematoides por meio da redução da eclosão e da mobilidade, as espécies de *Bacillus* também favorecem o aumento da produtividade vegetal, promovendo o desenvolvimento e crescimento das plantas (27). Outro gênero bacteriano de destaque é *Pseudomonas*, cujas espécies produzem antibióticos, sideróforos e enzimas que degradam as paredes celulares dos nematoides, reduzindo populações e contribuindo para a proteção das raízes (28). Entre os fungos, destacam-se *Trichoderma* spp., conhecidos por sua capacidade de colonizar a rizosfera, competir por espaço e nutrientes, parasitar ovos, além de induzir resistência sistêmica nas plantas (29). A *Pochonia chlamydosporia* é um fungo ovicida que parasita ovos de nematoides e limita sua multiplicação. Já o fungo *Paecilomyces*, produz toxinas e enzimas extracelulares capazes de inibir a eclosão e causar a mortalidade de juvenis (30). Assim, a integração de bactérias e fungos no controle biológico representa uma alternativa sustentável e promissora para o manejo de fitonematoides em sistemas agrícolas.

Diversos pesquisadores têm investigado alternativas para o controle de fitonematoides por meio do uso de extratos e óleos de origem vegetal. Plantas medicinais, espécies do Cerrado e plantas de cobertura apresentam potencial nematicida, uma vez que produzem metabólitos secundários com compostos químicos capazes de exercer toxicidade sobre os nematoides. Entre os principais compostos de interesse destacam-se alcaloides, saponinas, taninos, xantonas, esteroides, terpenos e flavonoides, encontrados em espécies pertencentes às famílias Meliaceae, Fabaceae, Rutaceae, Apocynaceae e Simaroubaceae (31).

A ação nematicida dos extratos e óleos vegetais está relacionada à redução da taxa de eclosão, ao aumento da mortalidade de juvenis (J2) e à diminuição do desenvolvimento dos fitonematoides. Além disso, podem reduzir a multiplicação, o número de massas de ovos por raiz e até paralisar os nematoides. Os metabólitos secundários presentes nesses compostos interagem com a membrana plasmática dos patógenos, promovendo a ruptura de polissacarídeos, fosfolipídeos e lipídeos, o que altera a permeabilidade celular. Substâncias ricas em taninos, por exemplo, apresentam alta capacidade de precipitar proteínas e sequestrar íons metálicos essenciais ao desenvolvimento microbiano, resultando em efeito antimicrobiano e antifúngico (32).

Entre as plantas comumente utilizadas para obtenção de extratos e óleos essenciais destacam-se: *Tagetes* spp., *Crotalaria* spp., *Ricinus* communis (mamona), *Azadirachta indica* (nim), brássicas (repolho, couve e mostarda), *Cymbopogon citratus* (capim-limão), *Ocimum* spp. (manjericão), *Caryocar brasiliense* (pequi), *Stryphnodendron adstringens* (barbatimão), *Hymenaea stigonocarpa* (jatobá), *Cassia obtusifolia* (fedegoso), *Euphorbia hirta* (espinho-de-cristo) e *Cordiera sessilis* (marmelinho-do-cerrado), entre outras (33).

Diversos estudos têm demonstrado o potencial nematicida de plantas nativas do Cerrado. Em ensaio *in vitro*, o extrato metanólico das folhas de sucupira (*Pterodon emarginatus*) inibiu em 80% a eclosão de *Meloidogyne javanica* na concentração de 100 mg L^{-1} (2). De forma semelhante, o extrato etanólico de marmelinho-do-cerrado (*Cordiera sessilis*), avaliado também in vitro, promoveu 95% de mortalidade de juvenis de segundo estádio (J2) de *M. javanica* na concentração de 50 mg L^{-1}. Nesse mesmo estudo, em

condições *in vivo* com tomateiro, a aplicação do extrato resultou em redução de 16,7% no número de galhas e 25% na quantidade de ovos (2). Outra pesquisa verificou que o extrato etanólico de folhas de barbatimão (*Stryphnodendron adstringens*) causou 80% de mortalidade de J2 de *M. javanica* na concentração de 100 mg L^{-1}, reforçando o potencial dessas espécies no manejo alternativo de nematoides (33).

Diante do exposto, esta revisão permitiu reunir e discutir diferentes alternativas para o manejo de *Meloidogyne javanica* em jiloeiro, englobando desde práticas culturais e adubações orgânicas até o uso de extratos vegetais, agentes biológicos e tecnologias inovadoras, como a arbolina. A análise dos estudos evidencia que o manejo integrado, baseado em práticas sustentáveis, é essencial para reduzir a população de nematoides, minimizar danos à cultura e garantir a viabilidade produtiva. Contudo, ainda há necessidade de mais pesquisas que validem experimentalmente a eficiência e a aplicabilidade dessas estratégias, possibilitando sua consolidação como ferramentas práticas no controle de nematoides em jiloeiro.

CONCLUSÕES

O manejo de nematoides em jiloeiro depende da integração de práticas sustentáveis, como adubação orgânica, biofumigação, agentes biológicos e indutores de resistência. Essas estratégias reduzem a população de *Meloidogyne*, promovem o vigor das plantas e contribuem para a sustentabilidade agrícola. No entanto, ainda são necessários mais estudos para validar novas tecnologias e consolidar protocolos eficientes para o controle alternativo desse patógeno.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos, pela oportunidade de vivenciar um ensino de excelência e pela estrutura disponibilizada, que possibilitou a condução das pesquisas. À FAPEG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás) pelo apoio financeiro, por meio da concessão da bolsa que viabilizou a realização deste projeto. Estendo minha gratidão ao Programa de Pós-Graduação em Olericultura (PPGOL) e aos docentes, pela competência, profissionalismo, dedicação e pelos conhecimentos compartilhados, fundamentais para minha formação acadêmica e para o desenvolvimento desta dissertação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Fátima A, et al. Adubação silicatada como atenuante do estresse hídrico no crescimento e trocas gasosas de alface. Rev Eng Agric. 2019;27(171):1-9.
2. Silva JRB, et al. Caracterização físico-química e biométrica do fruto jiló (*Solanum gilo* Raddi). Res Soc Dev. 2022;11(4):e34211427323.
3. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Censo Agropecuário [Internet]. 2017 [citado em 2025 ago 10]. Disponível em: https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/
4. Governo do Estado de Goiás. Ceasa-GO. Cotações Diárias – 2020 [Internet]. Goiânia: Goiás; 2024 mar 5 [citado em 2025 set 15]. Disponível em: https://goias.gov.br/ceasa/cotacoes-diarias-2020/
5. Assunção A, et al. Espécies de *Meloidogyne* em alface na região Agreste do estado de Alagoas. Summa Phytopathol. 2021;47(1):60-1.

6. Ferreira PA, et al. Aplicação do fertilizante organomineral UFV-TM100 no desenvolvimento de plantas de alface, pepino, banana e de café e no controle de *Meloidogyne* spp. Rev Panorâmica Online. 2021;32:149-64.
7. Lopes MFQ, et al. Emergência e vigor de sementes de *Solanum gilo* Raddi em diferentes níveis de água. Magistra. 2020;31:587-93.
8. Alcantara HP, Porto FGM. Influência de fertilizante foliar com aminoácidos na cultura do jiló. Braz J Dev. 2019;5(6):5554-63.
9. Governo do Estado de Goiás. Ceasa-GO. Cotações Diárias – Dezembro 2023 [Internet]. Goiânia: Goiás; 2023 jan 2 [citado em 2025 set 15]. Disponível em: https://goias.gov.br/ceasa/cotacoes-diarias-dezembro-2023/
10. Forghani F, Hajihassani A. Avanços recentes no desenvolvimento de tratamentos ambientalmente benignos para o controle de nematoides das galhas. Front Plant Sci. 2019;11:1125.
11. Hajihassani AR, et al. Caracterização da resistência aos principais nematoides tropicais das galhas (*Meloidogyne* spp.) em *Solanum sisymbriifolium*. Phytopathology. 2019;110:666-73.
12. Zary MC, et al. Efeito de quatro plantas antagonistas na redução populacional de *Meloidogyne javanica*. Agrarian Acad. 2020;7(13):75-85.
13. Pinheiro JB. Nematoides em hortaliças. 1ª ed. Brasília: Embrapa; 2017. 193 p.
14. Pinheiro FF, et al. Nematoides associadas à cultura da palma forrageira. Braz J Dev. 2020;6(9):69576-90.
15. Xiang N, Lawrence KS, Donald PA. Potencial de controle biológico da supressão de rizobactérias promotoras de crescimento de plantas de *Meloidogyne incognita* em algodão e *Heterodera glycines* em soja: uma revisão. J Phytopathol. 2018;166:449-58.
16. Martins GA. Alternativas eficientes no controle de *Meloidogyne javanica* em jiloeiro. 2024. 54 p.
17. Guimarães NN, et al. Potencial de extratos de plantas e manipueira no controle de *Meloidogyne javanica* em jiloeiro. Holos. 2021;8:1-15.
18. Guimarães NN, et al. Effect of plant waste addition on control of *Meloidogyne javanica* on lettuce crop. Braz J Biol. 2020;6(1):2350-7.
19. Santos L. Influência de resíduos orgânicos no manejo de *Meloidogyne javanica* em jiloeiro [dissertação]. 2018. 40 p.
20. Brennan RJB, Glaze-Corcoran S, Hashemi M. Biofumigation: an alternative strategy for the control of plant parasitic nematodes. J Integr Agric. 2020;1:1680-90.
21. Hemmatia S, Saeedizadehb A. Root-knot nematode, *Meloidogyne javanica*, in response to soil fertilization. Braz J Biol. 2020;2:1-10.
22. Krilltech. Tecnologia Exclusiva [Internet]. Brasília: Krilltech; [citado em 2025 set 15]. Disponível em: https://krilltech.com.br/en/tecnologia-exclusiva/
23. Silva VLNS, Silva RV, Martins GA, Brito IB, Santos JR. Uso de biofertilizantes no manejo de *Meloidogyne incognita* na cultura do jiloeiro. In: Anais do V INTEGRA do Instituto Federal Goiano; 2023; Morrinhos, GO. Morrinhos: IF Goiano; 2023.
24. Lima LD, et al. Avaliação bioquímica e fisiológica em tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) submetido ao indutor de resistência acibenzolar-S-metil. Diversitas J. 2020;5(4):2374-93.
25. Siqueira ITD, et al. Indução de resistência por acibenzolar-S-metil em feijão caupi no controle da antracnose. Summa Phytopathol. 2019;45(1):76-82.
26. Engelbrecht G, et al. Filtrados de *Bacillus* spp. mistos inibem a motilidade juvenil de segundo estágio dos nematoides das galhas. Rhizosphere. 2022;22:100528.

27. Zhai Y, Shao Z, Cai M, Zheng L, Li G, Huang D, et al. Múltiplos modos de controle de nematoides por voláteis de *Pseudomonas putida* 1A00316 do solo antártico contra *Meloidogyne incognita*. Front Microbiol. 2018;9:253. doi:10.3389/fmicb.2018.00253
28. Yao X, Guo H, Zhang K, Zhao M, Ruan J, Chen J. *Trichoderma* e seu papel no controle biológico de doenças fúngicas e nematoides em plantas. Front Microbiol. 2023;14.
29. Peiris PUS, Li Y, Brown P, Xu C. Fungal biocontrol against *Meloidogyne* spp. in agricultural crops: a systematic review and meta-analysis. Biol Control. 2020;144:104218.
30. Borges DF. Efeito nematicida de extrato de plantas do cerrado e óleos essenciais. 2017. 46 p.
31. Marques ÁA. Atividade nematicida do óleo essencial da polpa de pequi (*Caryocar brasiliense*) no controle de *Meloidogyne javanica*. 2020. 41 p.
32. Lopes LNS. Controle de *Meloidogyne javanica*: efeito *in vitro* de extratos de plantas nativas do cerrado [dissertação]. Morrinhos: IF Goiano; 2017. 50 p.

Capítulo 02

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-02

OBTENÇÃO E ANÁLISE DE EXTRATOS DE AMÊNDOA DE BARU (*DIPTERYX ALATA*) E PEQUI (*CARYOCAR BRASILIENSE*)

Fellype Alves Rodrigues; Ruan Inacio Naves; Ellen Godinho Pinto*; Wiaslan Figueiredo Martins; Dayana Silva Batista Soares; Ana Paula Stort Fernandes

**Ellen Godinho Pinto (Corresponding author) – Email: ellen.godinho@ifgoiano.edu.br*

Resumo: O presente estudo teve como objetivo desenvolver e caracterizar extratos vegetais hidrossolúveis a partir das amêndoas de baru e de pequi, visando à valorização de frutos do Cerrado. Os frutos foram adquiridos em Morrinhos (GO), higienizados, processados e submetidos a maceração, despeliculagem, cozimento, trituração, filtração e pasteurização. As análises físico-químicas indicaram pH próximo ao de bebidas vegetais comerciais, com diferenças significativas nos teores de umidade, acidez titulável e sólidos solúveis totais, refletindo a composição química distinta das amêndoas. A amêndoa de baru apresentou maior teor de sólidos solúveis e acidez em comparação à de pequi. A análise instrumental de cor revelou diferenças marcantes: o extrato de baru apresentou coloração mais intensa e amarelada, enquanto o de pequi apresentou tonalidade mais clara. Os resultados demonstram que os extratos hidrossolúveis de baru e pequi possuem viabilidade tecnológica e nutricional, evidenciando seu potencial como alternativas ao leite de vaca e outros extratos vegetais. Além disso, contribuem para a diversificação de produtos funcionais e para a valorização sustentável de frutos nativos do Cerrado.
Palavras–chave: cerrado; cor cielab; extratos vegetais

INTRODUÇÃO

O comportamento dos consumidores vem se modificando ao longo dos últimos anos, uma vez que há crescente preocupação com a saúde e com o meio ambiente, intensificando a busca por um estilo de vida mais saudável e sustentável. Essa tendência impulsionou o setor de alimentos a investir em pesquisas e novas tecnologias, visando atender à demanda por produtos com características sensoriais preservadas, maior vida de prateleira, elevado valor nutricional e perfil mais saudável. Nesse contexto, destacam-se alimentos com baixo teor calórico, reduzido teor de gordura e formulações específicas, como produtos sem glúten, sem lactose e de fácil consumo, seja por razões médicas, religiosas ou de estilo de vida (1).

Consumidores com restrições alimentares, além das limitações impostas pela sua condição, enfrentam dificuldades na escolha de alimentos, especialmente industrializados, já que a indústria alimentícia frequentemente prioriza a produção em grande escala, relegando esses grupos a segundo plano. Assim, indivíduos com intolerância à lactose, alergia às proteínas do leite de vaca ou adeptos do vegetarianismo e/ou veganismo encontram

barreiras tanto na disponibilidade quanto no preço e na variedade de produtos específicos, que geralmente apresentam custos mais elevados e opções limitadas no mercado (2).

Apesar dessas limitações, a crescente demanda tem levado a indústria de alimentos a investir no desenvolvimento de alternativas para esse público. Entre elas, destacam-se os extratos vegetais, popularmente conhecidos como “leites” vegetais (3), que se apresentam como alternativas viáveis ao leite de vaca, possibilitando a elaboração de derivados como iogurtes, queijos, “leites” condensados e outros produtos.

O primeiro extrato vegetal amplamente explorado pela indústria como substituto ao leite bovino foi o de soja. Contudo, nos últimos anos, sua aceitação tem diminuído, devido a relatos de alergias e intolerâncias. Com isso, surgiram bebidas inovadoras à base de amêndoas, que vêm conquistando espaço significativo no mercado. Paralelamente, bebidas elaboradas a partir de coco, arroz e aveia também ganharam popularidade entre os consumidores (1).

De acordo com a Resolução nº 268, de 22 de setembro de 2005, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), os extratos vegetais hidrossolúveis são produtos proteicos de origem vegetal, obtidos a partir de partes proteicas de espécies vegetais. Esses extratos podem ser apresentados nas formas de grânulos, pó, líquido ou outras, exceto aquelas não convencionais para alimentos, sendo permitida a adição de outros ingredientes desde que não descaracterizem o produto (4).

O Cerrado brasileiro, considerado a savana mais rica do mundo em biodiversidade, é o segundo maior bioma da América do Sul, abrangendo aproximadamente 2.036.448 km², cerca de 22% do território nacional, distribuído em 11 estados e no Distrito Federal, além de encraves em outras regiões. Devido à sua diversidade e ao potencial de espécies nativas, constitui um ambiente estratégico para a exploração sustentável de frutos e sementes (5). Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um extrato vegetal hidrossolúvel a partir das amêndoas de baru e de pequi, valorizando frutos do Cerrado de elevado valor nutricional, mas ainda pouco explorados e conhecidos fora de sua região de origem.

A amêndoa do baru apresenta alto valor nutritivo, destacando-se pelos teores de proteínas (23,9%), fibras (13,4%, em sua maioria insolúveis) e lipídios (38,2%). Estes últimos são constituídos, principalmente, por ácidos graxos insaturados, como o oleico (ômega 9) e o linoleico (ômega 6), relacionados à redução de lipoproteínas de baixa densidade (LDL) e ao menor risco de doenças cardiovasculares. Além disso, o perfil proteico do baru apresenta qualidade de cerca de 75% em relação à proteína de referência, com boa composição de aminoácidos essenciais. Essa composição confere à amêndoa propriedades funcionais, como capacidade de absorção de água e óleo, além de propriedades emulsificantes e de espumabilidade, que possibilitam sua aplicação em diferentes formulações alimentícias, de forma semelhante à soja (5).

O pequi é um fruto amplamente apreciado nas regiões de ocorrência, especialmente pelo seu aroma e sabor característicos. No entanto, sua amêndoa, apesar de comestível e nutritiva, é pouco explorada devido à dificuldade de extração do endocarpo espinhoso. Essa amêndoa pode ser utilizada na produção de paçocas, farinhas, óleos, doces e até mesmo como petisco, tanto salgado quanto doce (6). Estudos de Araújo et al. (7) apontam composição média de 50,0% de lipídios, 33,3% de proteínas, 5,0% de fibras, 5,8% de cinzas e 5,7% de carboidratos, evidenciando seu elevado potencial nutricional.

Diante desse panorama, o presente estudo teve como objetivo a elaboração e caracterização de um extrato hidrossolúvel à base de amêndoas de baru e de pequi,

contribuindo para a valorização de frutos do Cerrado e para o desenvolvimento de alternativas alimentares funcionais e sustentáveis.

MATERIAL E MÉTODOS

Os frutos de baru e pequi foram adquiridos em mercado local no município de Morrinhos, Goiás. Inicialmente, realizou-se a higienização dos frutos e a extração manual das amêndoas por meio de maquinário específico para a quebra. Em seguida, procedeu-se à seleção das amêndoas íntegras, descartando-se aquelas danificadas.

A formulação do extrato hidrossolúvel foi adaptada da metodologia descrita por Vieira et al. (5) para extrato hidrossolúvel de baru, com algumas modificações. Primeiramente, as amêndoas de baru e pequi passaram por seleção criteriosa, de modo a eliminar sementes deterioradas que poderiam comprometer a qualidade do produto final. As amêndoas foram então lavadas em água corrente, higienizadas em solução de hipoclorito de sódio a 150 ppm por 15 minutos e, posteriormente, enxaguadas com água potável.

Na etapa seguinte, as amêndoas foram submetidas à maceração em água fervente na proporção de 1:3 (amêndoa:água), durante 5 minutos. Esse processo tem por finalidade reduzir a carga microbiana, inativar enzimas, minimizar fatores antinutricionais e facilitar o processamento das amêndoas (7). Após a maceração, procedeu-se a novo enxágue em água potável, seguido da despeliculagem, visando melhorar as características sensoriais do extrato.

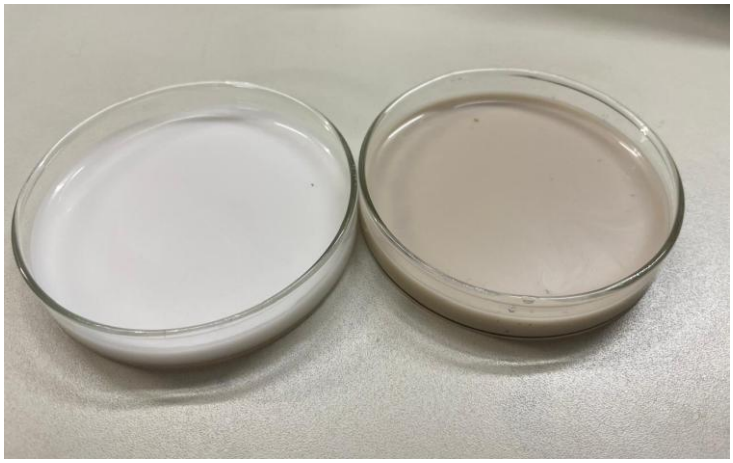
As amêndoas despeliculadas foram submetidas ao cozimento na proporção de 1:4 (amêndoa:água) a 100 °C por 10 minutos. Em seguida, foram novamente lavadas e trituradas em liquidificador, com adição de água mineral em ebulição na proporção de 1:5 (amêndoa:água), durante 5 minutos. O material resultante foi filtrado em algodão, envasado em frascos plásticos previamente esterilizados e submetido à pasteurização a 65 °C por 30 minutos, com o objetivo de eliminar possíveis microrganismos patogênicos.

Após a pasteurização, os frascos foram resfriados rapidamente em banho de água refrigerada e armazenados sob refrigeração até o momento das análises.

As análises físico-químicas foram realizadas de acordo com o Instituto Adolf Lutz (8). Sendo realizadas as análises de: pH em pHmetro devidamente calibrado com solução de pH 4 e 7; Teor de umidade em estufa a 105°C até peso constante; Acidez titulável com NaOH 0,1N e Teor de sólidos soluveis totais (SST) em refratômetro manual.

Análise de cor usando aparelho o colorímetro portátil, utilizando sistema CIE L* a* b*, em que L* indica a luminosidade e a* (vermelho-verde) e b* (amarelo-azul) sugerem as coordenadas de cromaticidade.

Figura 2. Coloração dos Extratos Vegetais de Amêndoas de Pequi e Baru, respectivamente.



Fonte: Autores (2025).

Os resultados foram submetidos ao Teste *t* 5% de significância, utilizando o Programa de Estatística Assistat versão 7.7.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização físico-química dos extratos hidrossolúvel de amêndoa de Baru e Pequi, estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização Físico-química do Extratos hidrossolúveis de Amêndoas de Baru e Pequi.

Análises	Extrato hidrossolúvel de Amêndoa de Baru	Extrato hidrossolúvel de Amêndoa de Pequi
pH	5,94 ± 0,03[a]	6,15 ± 0,06[a]
Umidade (%)	96,74 ± 0,02[a]	90,47 ± 0,00[b]
Acidez Titulável ()	0,79 ±0,00[a]	0,42 ± 0,07[b]
SST (°Brix)	6,08 ± 0,05[a]	1,30 ± 0,13[b]

Os valores médios para o pH dos extratos vegetais de amêndoas de baru e pequi foram de 5,94 e 6,15, respectivamente. Este dado é muito importante por estar diretamente relacionado à estabilidade do produto, pois o pH, ou potencial hidrogeniônico de um alimento, interfere de maneira significativa no crescimento ou no desenvolvimento de microrganismos.

Observa-se que o pH dox extratos apresenta valores próximo ao do extrato hidrossolúvel de soja que, de acordo com Vieira et al. (5), possui pH 6,6, e do extrato hidrossolúvel de baru, que de acordo com o trabalho de Carneiro et al. (9) possui pH igual a 6,8. Este valor também está bem próximo ao do leite fresco, que apresenta valor médio de 6,7.

Analisando os teores de umidade do extrato hidrossolúvel de Baru (96,74%) e extrato hidrossolúvel de Baru (90,47%) diferirem entre si, estes foram elaborados com a mesma concentração de água, pela proporção 1:5 (castanha:água). Essa diferença pode ter ocorrido devido a composição do grão, assim como, o grau de esmagamento durante a elaboração (1). Os teores de umidades dos extratos ficaram próximos ao leite de vaca de 89,03% (10).

Com relação à acidez total titulável dos extratos vegetais de amêndoas, observou-se maior valor médio para a amêndoa de baru (0,79%), enquanto a amêndoa de pequi apresentou média inferior (0,42%). Resultados superiores foram reportados por Schmitz (1),

que obteve valores de 1,26% para o extrato de amêndoas de baru e 0,74% para o de amêndoas de caju.

Os teores de sólidos solúveis totais apresentaram variação significativa entre os extratos avaliados, reflexo direto da composição química distinta das amêndoas utilizadas. O extrato hidrossolúvel de baru apresentou valor de 6,08 °Brix, enquanto o extrato de pequi registrou apenas 1,30 °Brix. Essa diferença pode ser atribuída às características intrínsecas de cada matéria-prima, uma vez que a amêndoa de baru possui maior concentração de açúcares, proteínas solúveis e outros sólidos que contribuem para o aumento do °Brix, enquanto a amêndoa de pequi apresenta menor teor desses constituintes. Tais variações estão relacionadas à natureza bioquímica dos frutos do Cerrado, que, mesmo pertencendo ao mesmo bioma, apresentam perfis nutricionais distintos em função de fatores genéticos e fisiológicos próprios de cada espécie.

Os resultados da análise instrumental de cor dos extratos vegetais obtidos a partir das amêndoas de baru e de pequi estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Análise instrumental de cor dos Extratos hidrossolúveis de amêndooas de Baru e Pequi.

	Extrato hidrossolúvel de Amêndoa de Baru	Extrato hidrossolúvel de Amêndoa de Pequi
L*	32,85 ±0,84[b]	50,96 ± 2,66[a]
a*	1,86 ±0,00	0,22 ± 0,06
b*	6,08 ± 0,12	2,21 ± 0,15

Na análise instrumental de cor dos extratos hidrossolúveis de amêndoas de baru e de pequi, os valores médios obtidos para o parâmetro L* (luminosidade), que varia de 0 (preto) a 100 (branco), foram de 32,85 e 50,96, respectivamente. Esses resultados indicam que ambos os extratos apresentam coloração escura em comparação a outros extratos vegetais reportados na literatura, com destaque para o baru, que apresentou menor luminosidade.

Silva (11), ao analisar a luminosidade do extrato hidrossolúvel de gergelim, encontrou valores bem superiores, variando de 81,52 a 87,91 em diferentes ensaios. A mesma autora relatou valores de L* entre 77,71 e 82,26 para extratos aquosos de soja comercial e de 86,95 a 92,64 para leite de vaca. Em comparação com esses resultados, observa-se que os extratos de baru e pequi apresentam luminosidade significativamente mais baixa, possivelmente em função da presença de pigmentos naturais, compostos fenólicos e da própria composição química das amêndoas, fatores que influenciam diretamente a intensidade e tonalidade da cor.

Para o extrato hidrossolúvel de amêndoa de baru, o valor médio observado para o parâmetro **a*** foi de 1,86, indicando uma coloração próxima ao eixo acinzentado, com leve tendência para o verde. Já o parâmetro b* apresentou valor de 6,08, evidenciando maior contribuição da tonalidade amarela na coloração do extrato. Esses resultados sugerem que a pigmentos naturais da amêndoa de baru pode estar relacionada à tonalidade amarelada observada.

No caso do extrato hidrossolúvel de amêndoa de pequi, o parâmetro a* apresentou valor médio de 0,22, indicando uma cor ainda mais próxima do acinzentado em comparação ao extrato hidrossolúvel de amendôa de baru. Já o parâmetro b*, com valor de 2,21, revelou uma menor intensidade da tonalidade amarela. Essa diferença pode estar associada à menor concentração de compostos pigmentantes no pequi em relação ao baru, refletindo em uma coloração mais clara e menos intensa.

CONCLUSÕES

O desenvolvimento e a caracterização dos extratos vegetais hidrossolúveis a partir das amêndoas de baru e de pequi demonstraram o potencial desses frutos do Cerrado como alternativas ao leite de vaca e a outros extratos vegetais já consolidados no mercado.

Os resultados físico-químicos evidenciaram que ambos os extratos apresentam pH próximo ao de bebidas vegetais e do leite de vaca. As diferenças observadas nos teores de umidade, acidez titulável e sólidos solúveis totais refletem as particularidades da composição química das amêndoas estudadas, destacando o baru como uma matriz mais rica em sólidos solúveis quando comparado ao pequi.

A análise instrumental de cor confirmou diferenças significativas entre os extratos, atribuídas à presença de pigmentos naturais específicos de cada espécie. O extrato de baru apresentou coloração mais intensa e amarelada, enquanto o de pequi revelou tonalidade mais clara, sugerindo potenciais aplicações distintas em formulações alimentícias.

Dessa forma, os extratos elaborados demonstram viabilidade tecnológica e nutricional, além de reforçarem a importância da valorização de frutos nativos do Cerrado, ampliando as possibilidades de inovação no setor de alimentos funcionais e sustentáveis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos, pelo suporte institucional, infraestrutura disponibilizada e incentivo à pesquisa, que foram fundamentais para o desenvolvimento deste estudo.

REFERÊNCIAS

1. Schmitz AC. Elaboração e caracterização de extratos vegetais hidrossolúveis à base de castanha de caju e baru. (Trabalho de conclusão de Curso).Universidade Federal de Fronteira do Sul, 2020.

2. Da Silva Estrela LL, De Lima Silva MDL, Dos Santos CCL, De Souza Pontes AL, Epaminondas PS. Avaliação da qualidade de leite condensado à base de extrato de coco. Nutrição: os. 2017; p. 91.

3. Gentry A. A nova culinária vegana. Alaúde; 2015.

4. Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 268, de 22 de setembro de 2005. Aprova o "Regulamento Técnico para Produtos Proteicos de Origem Vegetal". Brasília: ANVISA; 2005.

5. Vieira CFS, Zuñiga ADG, Ogawa TAB. Obtenção e caracterização físico-química do extrato hidrossolúvel de amêndoa de baru. Rev Bras Tecnol Agroindustr. 2020;14(1):3104–21.

6. Araújo ACM, Menezes EGT, Terra AWC, Dias BO, Oliveira ER, Queiroz F. Bioactive compounds and chemical composition of Brazilian Cerrado fruits' wastes: pequi almonds, murici, and sweet passionfruit seeds. Food Sci Technol. 2018;38(suppl 1):203–14.

7. Coutinho CCM, Cabral Neto O, Rosanova C, Menezes DCR. The pequi (Caryocar brasiliense) and its main characteristics. Rev Multidisciplinar Do Nordeste Mineiro. 2024;11(1).

8. Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. Zenebon O, Pascuet NS, Tiglea P, coordenadores. 4ª ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz; 2008. 1ª ed. digital.

9. Silva GWN, Oliveira MP, Leite KD, Oliveira MS, Sousa BAA. Avaliação físico-química de leite in natura comercializado informalmente no sertão paraibano. Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB. 2017;35.

10. Carneiro VA, Gomes HB, Nasser MD, Resende HG. O baru (Dipteryx alata Vog.) como exemplo de renda e sustentabilidade de comunidades rurais no cerrado goiano: um relato de experiência via seminários da disciplina 'Sistemas Agrários de Produção e Desenvolvimento Sustentável'. Rev Interatividade. 2014;2(2):42-52.

11. Silva GB. Elaboração e análise de extrato hidrossolúvel de gergelim (Sesamum indicum). Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo; 2015. 62 p.

Capítulo 03

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-03

A CIÊNCIA EM FORMA DE CULTIVARES: IMPLANTANDO A RESSOCIALIZAÇÃO EM PPL'S NO MUNICÍPIO POMBAL - PB

Ana Graziela de Araújo*; Larissa Da Silva Santos Pinheiro; Dauany de Sousa Oliveira; José Nildo Vieira Deodato; Jocielys Jovelino Rodrigues; Victória Cristina Gomes Colman; Alfredina dos Santos Araújo

** Ana Graziela de Araújo – Email: grazielaana38@gmail.com*

Resumo: A produção de hortaliças desempenha um papel fundamental na segurança alimentar, benefícios para saúde e na geração de renda, principalmente quando aliada a práticas sustentáveis. O cultivo de hortaliças não só fornece alimentos saudáveis, mas também pode educar sobre a importância dos alimentos orgânicos, sem agrotóxicos. No município de Pombal-PB, a cadeia pública está incorporando o cultivo de hortas agroecológicas usando materiais recicláveis, como pneus e garrafas plásticas. O estudo visa proporcionar as Pessoas Privadas de Liberdade (PPL's) a oportunidade de aprender novas habilidades e melhorar a segurança alimentar na unidade prisional. Sendo assim o objetivo da pesquisa é analisar a reintegração dos apenados através da produção de hortaliças, abordando aspectos qualitativos da experiência. Foi realizada a construção de canteiros de hortaliças, com acompanhamento diário das atividades e a aplicação de questionários para avaliar o impacto da pesquisa nas PPL's, na Cadeia Pública de Pombal-PB, envolvendo a Universidade Federal de Campina Grande e a administração do presídio, onde foram selecionados oito detentos com base em seu comportamento e interesse. Os resultados indicaram que a implementação de hortas agroecológicas pode melhorar a reintegração social dos detentos, fornecer alimentos frescos e nutritivos, e promover práticas ambientais responsáveis. Conclui-se que o cultivo de hortas agroecológicas na Cadeia Pública de Pombal-PB demonstrou iniciativas sustentáveis que podem contribuir para a reintegração social das PPL's, melhorar a segurança alimentar e promover práticas ambientais responsáveis, servindo como um modelo para futuras iniciativas semelhantes.

Palavras–chave: Sistema prisional; lei de execução penal; reintegração

INTRODUÇÃO

O cultivo e utilização de hortaliças é de fundamental importância do ponto de vista socioeconômico nos mais diversos ambientes sociais, isto é, desde atividades educativas a projetos de ressocialização em sistemas prisionais, sendo extremamente relevante para a segurança alimentar dos brasileiros. Outrossim, quando considerado o cenário de produção coletiva executada pelas Pessoas Privadas de Liberdade (PPL's) no sistema carcerário brasileiro, além da possibilidade de ressocialização e segurança alimentar, registra-se mudanças positivas na vida destes sujeitos, os quais trazem desdobramentos significativos no retorno ao convívio em sociedade (1).

Conforme Melo e Sanches (2), a ressocialização e reinserção social tem o objetivo de trazer a dignidade, desencarcerar a autoestima do detento, levar aconselhamento e condições para um amadurecimento pessoal e profissional. A ressocialização dos indivíduos oferece mais benefícios do que malefícios, no entanto, os desafios são complexos no sistema prisional brasileiro, devido a diversos fatores, como a falta de programas de reabilitação; a carência de programas de educação, capacitação profissional e trabalho dentro das prisões dificulta o desenvolvimento de habilidades e competências dos detentos para sua reinserção na sociedade.

O cultivo de hortaliças em sistemas prisionais, a exemplo de uma horta socioeducativa, representa uma alternativa promissora para contribuir para a segurança alimentar e ressocialização da população carcerária. A implantação de hortas em cadeias públicas coloca os detentos em contato as peculiaridades do meio ambiente, despertando-as para a crítica dos valores econômicos e sociais (3). Segundo Shecaira e Corrêa Junior (4), ressocializar não é reeducar as PPL's para que se comporte como deseja a classe detentora do poder e sim a efetiva reinserção social, a criação de mecanismos e condições para que o indivíduo retorne ao convívio social sem traumas ou sequelas, para que possa viver uma vida normal. Uma vez que o estado não propicie esta reinserção social, o resultado tem sido invariavelmente o retorno à criminalidade, ou seja, a reincidência criminal. Segundo Paulo Freire (5), "ninguém educa ninguém, ninguém educa a si mesmo: os homens se educam em comunhão, mediatizados pelo mundo".

A horta visa o aumento na oferta de alimentos de elevado valor nutritivo, melhoria das condições de vida dos apenados em situação de insegurança alimentar através do estímulo à produção de hortaliças para o consumo próprio, bem como para a complementação da renda familiar, com comercialização do excedente (6). Além disso, uma horta socioeducativa propicia o acesso a tecnologias simples de produção de alimentos por meio de processos educativos e agroecológicos.

Além da possibilidade de aprender uma nova habilidade, as plantações ajudarão na segurança alimentar dos detentos. Com a variedade de alimentos nas hortas, como tomate, alface, coentro, cebolinha verde e pimenta de cheiro, essa ação colabora com a nutrição saudável na unidade. Até então, os detentos só tinham acesso a alimentos secos. Agora eles terão acesso as hortaliças produzidas por eles mesmos. Aprenderão e preencherão o tempo ocioso. Vale ressaltar que caso o estado não propicie esta reinserção social, o resultado será invariavelmente o retorno à criminalidade ou seja, a reincidência criminal.

Nessa perspectiva, o objetivo do trabalho foi promover o aprendizado de uma atividade produtiva para a reinserção no mercado de trabalho após o cumprimento da pena na Cadeia Pública de Pombal-PB, visando dar as PPL's uma chance de ressocialização através do cultivo de uma horta agroecológica.

MATERIAL E MÉTODOS

DELINEAMENTO DO ESTUDO

A proposta da pesquisa consiste na construção e gestão de canteiros para o plantio e semeadura de uma horta. O cultivo orgânico envolve hortaliças como coentro, couve, cebolinha, rúcula, alface, pimenta de cheiro, pimenta vermelha e tomate. Os materiais utilizados incluem o estrume, as sementes e água potável. O acompanhamento das atividades

foi realizado diariamente pela pesquisadora responsável, que se deslocava até a Cadeia Pública de Pombal - PB para fornecer orientações e supervisionar as atividades.

As PPL's desempenharam um papel ativo na execução das tarefas relacionadas ao cultivo das hortaliças. Para avaliar os resultados desta pesquisa, fez-se necessário a aplicação de questionários aos participantes, abordando questões socioeconômicas dos detentos e as técnicas empregadas no cultivo das hortas. Esses questionários visam entender o impacto da atividade no cotidiano das PPL's e a eficácia das técnicas utilizadas na produção das hortaliças. Descrever os materiais e métodos utilizados, de forma que permita ao leitor avaliar como o trabalho foi feito e permita que outros possam replicar seu estudo; ordenar os procedimentos cronologicamente ou por tipo de procedimento.

LOCAL DA PESQUISA

A pesquisa foi conduzida na Cadeia Pública de Pombal-PB, situado na rua Miguel Brilhante, s/n°, bairro dos Pereiros, em resposta a uma identificada necessidade dentro do estabelecimento prisional. A iniciativa foi uma colaboração entre o Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), e a administração da Unidade Prisional. As instalações da Cadeia Pública de Pombal - PB é constituída por celas, áreas administrativas, salas de visitação, áreas de trabalho e espaço para atividades de reabilitação. O ambiente é projetado para a custódia da PPL's e, dependendo da sua capacidade, pode ter diferentes níveis de segurança e conforto.

A Cadeia Pública de Pombal- PB é uma Unidade Prisional de segurança média, destinada ao cumprimento de penas e de medidas socioeducativas. Dependendo da classificação e do tipo de pena a unidade pode abrigar apenados em diversos regimes, incluindo fechado, semiaberto e aberto.

A Cadeia Pública de Pombal - PB, como parte do sistema prisional paraibano, desempenha um papel fundamental na reabilitação de PPL's e na promoção da justiça. Iniciativas como a criação de hortas e parcerias com instituições educacionais exemplificam esforços para melhorar as condições dos apenados, além de oferecer oportunidades de aprendizado e desenvolvimento pessoal.

POPULAÇÃO E AMOSTRA

A cadeia Pública de Pombal - PB possui atualmente 153 PPL's, sendo: 80 em regime fechado (41 sentenciados e 39 provisórios), 51 em regime semiaberto e 22 em regime aberto. Destes, foram selecionados oito (08) PPL's do regime fechado para participarem dessa pesquisa.

INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO

Para a elaboração e realização da horta socioeducativa, os representantes do Poder Judiciário, o Secretário de Agricultura de Pombal - PB e a Direção da Cadeia Pública de Pombal - PB participaram de uma reunião na qual foi lançado a proposta, mostrando as vantagens e a importância da produção coletiva de hortaliças pelos apenados, evidenciando seus valores nutritivos das hortaliças, complementação dos hábitos alimentares, enfocando a importância também na ressocialização dos apenados e a economia mensal diminuindo as despesas com a aquisição desses produtos.

Na etapa seguinte foi feita uma seleção pelo diretor da cadeia pública para saber o perfil dos apenados que iriam participar do projeto, onde 08 detentos do regime fechado se

enquadraram, para a implantação das hortas a transmissão do conhecimento técnico, com encontros práticos na própria cadeia pública para o uso de práticas agroecológicas, dando ênfase ao saber tradicional. A implantação da horta seguiu as seguintes etapas: a) escolha do local; b) confecção dos canteiros de forma a receber insolação e posicionados visando dificultar o escoamento preferencial das águas; c) plantio e semeadura realizados pelas PPL's, sob orientação; d) limpeza do terreno e preparo do solo foram efetuados pelos PPL's; e, e) semeadura, transplante, colheita e tratos culturais tais como: capinas e irrigação foram realizados pelos PPL's.

Os materiais utilizados foram: pá, enxada, enxadão, carro-de-mão, regadores, baldes plásticos, adubo orgânico, sementes de hortaliças, sementeira de isopor. Os canteiros foram dimensionados em 1,20 m de largura e 2,50 m de comprimento, procedendo-se a demarcação com piquetes e barbantes. Nos canteiros foram cultivadas espécies hortícolas, cultivadas de acordo com os princípios técnicos dos sistemas de produção agroecológicos. Foi construído uma sementeira para cultivo de espécies mais precoces, destinando-se ao semeio das espécies que seriam transplantadas, enquanto que para as outras espécies foram realizadas a semeadura direta nos canteiros.

CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

Foram priorizados as PPL's em regime semiaberto ou aberto, pois eles possuem maior liberdade de movimento e são mais adequados para tarefas que exigem saídas periódicas. Além disso, escolheu-se as PPL's com um histórico de bom comportamento e disciplina dentro da cadeia, demonstrando responsabilidade e cooperação com as regras. Observou-se ainda que as PPL's que expressaram interesse genuíno e motivação para participar da pesquisa de cultivo, demonstrando uma atitude positiva em relação à atividade. Por fim, levou-se em consideração as recomendações de agentes penitenciários ou psicólogos, indicando que as PPL's são confiáveis e adequadas para participar da pesquisa.

OPERACIONALIZAÇÃO DA COLETA DE DADOS E INSTRUMENTOS

A coleta de dados foi realizada pela pesquisadora no período matutino, em acordo com a direção da Cadeia Pública. Essa coleta foi realizada através de um questionário socioemocional, composto por questões abertas, cujas perguntas objetivam perceber os impactos da construção da horta em suas vidas. Inicia-se a operacionalização com: a) implantação de ambiente de trabalho tranquilo e sua viabilidade a partir da produção de hortaliças; e, b) apresentação das particularidades de uma pesquisa qualitativa. O primeiro está ligado ao fato de se procurar analisar a viabilidade da oferta de trabalho a partir da produção de hortaliças no sistema prisional. O Segundo se faz a partir das percepções visando esclarecer, desenvolver ou modificar conceitos, bem como descrever características de determinada população (7).

Quanto à natureza qualitativa da pesquisa, a coleta de dados ocorreu por meio do contato direto e interativo entre pesquisador e objeto de estudo. Para a tomada de dados foram usados preceitos da abordagem em perspectiva sócia histórica de Vygotsky (8), fazendo o levantamento qualitativo através de entrevistas aos detentos de toda a unidade durante o mês de março de 2023. Inicialmente, foi realizada a discussão com o Diretor da unidade acerca da viabilidade do projeto e, em seguida, com representantes do Poder Judiciário, para se ter o reconhecimento das atividades a serem desenvolvidas para a contabilização dos dias trabalhados pelos PPL's na pesquisa. Logo após, iniciou-se o diálogo

com os PPL's, utilizando-se a abordagem da pedagogia do oprimido de Freire (5), que gerou a discussão motivadora acerca das atividades propostas durante a pesquisa.

As principais espécies de hortaliças e frutíferas trabalhadas no projeto da horta de ressocialização na Cadeia Pública de Pombal – PB foram: Abóbora, Abobrinha italiana, Alface Elisabeth, Beterraba Early Wonder Tall Top, Cebolinha Todo Ano Evergreen – Nebuka, Coentro nacional, Couve manteiga, Goiaba tailandesa, Jerimum caboclo, Limão, Mamão, Maracujá, Maxixe do norte, Melancia Crimson Sweet, Morango, Pepino verde comprido, Pimenta Lupita, Pimentão, Rúcula cultivada, Tomate-cereja e Tomate Santa Clara.

A escolha das hortaliças foi com base no conhecimento etnobotânico das pessoas que estariam envolvidas no projeto, para que se pudesse obter os melhores resultados durante a condução do projeto. De modo, a está investigando o conhecimento das pessoas envolvidas desde a construção de canteiros, práticas de semeadura e plantio, condução das culturas e colheita das mesmas para consumo na própria cozinha da Cadeia Pública de Pombal-PB.

ANÁLISES DOS DADOS

Os dados foram analisados utilizando a análise de conteúdo, baseados na identificação e discussão das falas dos participantes, observando elementos de repetição e frequência. De acordo com Fernandes (9), a análise de conteúdo examina os elementos da fala dentro do contexto e das situações vividas, permitindo uma compreensão mais profunda do que é expresso, tanto verbalmente quanto implicitamente, pelos participantes. Dessa forma, a análise dos dados possibilitou a identificação de aspectos concretos relacionados ao tema em questão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As perguntas deste questionário aplicado as PPL's referem-se inicialmente às características gerais dos entrevistados, como nome, cidade e idade. A faixa etária varia entre 35 e 50 anos. A maioria das PPL's são residentes na cidade de Pombal-PB. A pergunta 05 do questionário evidencia que todos os entrevistados tiveram alguma experiência com a agricultura em determinado momento da vida.

A experiência prática permite a implementação e ajuste de práticas agrícolas sustentáveis, como rotação de culturas, compostagem e manejo integrado de pragas, que podem melhorar a saúde do solo e reduzir o impacto ambiental. Agricultores experientes podem desenvolver soluções adaptadas às condições locais, promovendo a sustentabilidade e a resiliência dos sistemas agrícolas (10).

Na 6ª pergunta foi questionado aos entrevistados se eles sabiam o que é uma horta orgânica. A maioria respondeu que sim. Alguns dos participantes da pesquisa ficaram com dúvidas sobre a palavra O.R.G.Â.N.I.C.A., ou seja, eles sabiam o que seria uma Horta, porém, ficaram com dúvidas sobre a horta orgânica. A dúvida foi sanada quando explicada a diferença entre horta convencional e uma horta orgânica.

A diferença entre ambas reside principalmente nos métodos de cultivo e na gestão dos recursos naturais. Dentre os principais métodos, pode-se destacar o uso de fertilizantes. A horta convencional pode utilizar fertilizantes sintéticos, pesticidas e herbicidas para promover o crescimento das plantas e controlar pragas e doenças. Já a horta orgânica utiliza fertilizantes naturais, como compostagem e esterco, e controla pragas e doenças com

métodos biológicos, como a introdução de inimigos naturais das pragas e o uso de extratos vegetais (11).

Ao perguntar se as PPL's já haviam trabalhado com horta, 50% responderam que sim. Segundo Simões (12), ter uma horta permite o cultivo de alimentos frescos e nutritivos, que podem melhorar a qualidade da dieta e promover uma alimentação mais saudável, além de facilitar o cultivo de uma variedade de frutas, vegetais e ervas, contribuindo para uma dieta rica e equilibrada. Além disso, o trabalho físico envolvido no cultivo de uma horta oferece exercício regular, que pode melhorar a forma física e a saúde geral.

Foi questionado aos entrevistados quais os tipos de hortaliças que são da preferência deles, pedindo para citar pelo menos três. Mas, inicialmente, foi apresentado um material visual, em forma de slide, sobre o que são hortaliças e como elas se classificam. Eles responderam, em sua maioria, os tipos mais comuns, como: alface, tomate, coentro e cebolinha. Essas mesmas hortaliças foram plantadas pelos entrevistados, respondendo assim, a nona pergunta do questionário.

O consumo de hortaliças oferece uma ampla gama de benefícios para a saúde e o bem-estar geral. Hortaliças, que incluem uma variedade de vegetais e folhas verdes, são uma parte essencial de uma dieta equilibrada e saudável. Hortaliças são excelentes fontes de vitaminas como A, C, K e algumas do complexo B e minerais como potássio, magnésio e ferro, que são essenciais para várias funções corporais (13).

Questionados sobre a frequência que consumiam as hortaliças, as PPL's responderam, em sua maioria, que pelo menos três vezes por semana. É importante lembrar que a falta de hortaliças na alimentação pode levar a deficiências de vitaminas essenciais como vitamina C, A e K e minerais importantes como potássio, magnésio e ferro. Essas deficiências podem resultar em problemas de saúde como escorbuto causado pela deficiência de vitamina C, problemas de visão pela deficiência de vitamina A e doenças ósseas pela deficiência de vitamina K (14). Por fim, questionados se a implantação/manejo de uma horta orgânica é importante para o retorno à sociedade quando estiverem em liberdade, todos responderam que SIM. E dentre as justificativas, destacam-se: "a horta nos ajuda a pensar mais nos outros" (Entrevistado 01, 2024); "cuidar da horta me acalmou mais" (Entrevistado 02, 2024); "porque eu sinto paz cuidando da horta (Entrevistado 03, 2024).

Neste sentido, Barbosa (15) destaca que o cultivo de hortas pode ter um impacto significativo na vida das PPL's, proporcionando uma série de benefícios que vão além da simples ocupação do tempo. Esse tipo de atividade pode melhorar vários aspectos da vida das PPL's e contribuir para sua reabilitação e reintegração social. As habilidades adquiridas no cultivo de hortas podem ser úteis para encontrar emprego e se reintegrar na sociedade após a liberação. Muitos projetos de jardinagem oferecem treinamento em técnicas agrícolas que podem ser aplicadas em empregos futuros. Além disso, o cultivo de uma horta permite que as PPL's vejam o resultado tangível de seu trabalho, o que pode aumentar a autoestima e a sensação de realização.

Os canteiros da horta socioeducativa foram manejados de forma ecológica (Figura 1), evitando-se o uso de agrotóxicos contra pragas e doenças, optando-se pela utilização de bioinseticidas e adubos orgânicos obtidos junto aos colaboradores do projeto. As espécies cultivadas na horta foram importantes para o aumento no consumo de hortaliças na dieta alimentar, revelando ser possível produzir hortaliças a um baixo custo para obtenção de uma dieta mais equilibrada nutricionalmente, sem uso de agrotóxicos e fertilizantes químicos.

As atividades, desde a escolha das espécies, sementes, adubo orgânico e demais práticas foram realizadas de forma educativa. A área selecionada para a implantação da horta não dispunha de sistema de irrigação, fundamental para condições semiáridas, utilizando-se regadores manuais durante o cultivo das espécies selecionadas. As culturas produzidas a exemplo do coentro, maxixe e couve-folha em sistema de semeadura direta nos canteiros e alface e cebolinha, plantadas em bandejas para, posteriormente, serem transplantadas para os canteiros.

Figura 1- Espécies frutíferas semeadas e cultivadas pelas PPL's no local do estudo



Durante a condução do projeto, detectamos que os apenados tinham maior interesse em conhecer sobre tipos de solos, nutrição de plantas, botânica das espécies e em primeiro lugar sobre o valor nutricional das hortaliças cultivadas nos canteiros; sobre o fornecimento das hortaliças na alimentação diária na melhoria na alimentação e o melhor comportamento proporcionado pelas atividades desenvolvidas diariamente. A prática de irrigação diária das espécies proporcionava bem-estar psicossocial.

Destaca-se que as PPL's que participaram da pesquisa como voluntários, desenvolveram todas as atividades propostas sem que tenha ocorrido qualquer problema. Importante salientar que, todo projeto traz benefícios ao sistema prisional, e o projeto "horta agroecológica socioeducativa" não foi diferente. O acesso ao trabalho pelo preso é um direito social garantido pela Constituição Federal e pela Lei de Execução Penal. Para cada três dias trabalhados, os apenados têm um dia de remissão da sua pena.

No art. 126 da Lei nº 7.210/1984, deixa claro que o condenado que cumpre a pena em regime fechado ou semiaberto poderá remir, por trabalho ou por estudo, parte do tempo de execução da pena. O cômputo da remição pelo trabalho se dá da seguinte forma: a cada 3 (três) dias trabalhados o reeducando terá direito de remir um dia de sua pena, conforme consta do artigo 126, § 1º, inciso II da LEP. Vale ressaltar que a jornada normal de trabalho do reeducando deve ser de no mínimo 6 (seis) horas por dia de trabalho e no máximo 8 (oito). Se um reeducando trabalhar menos de 6 horas por dia, não será considerado um dia de trabalho, que deverá ser complementado em outro dia (16).

Pode-se afirmar que, os detentos ficaram muito entusiasmados, desde o início até o fim da implantação do projeto "Hortas agroecológica socioeducativa" na cadeia Pública de Pombal-PB. Outros setores, como a cozinha e a direção da cadeia se envolveu e virou assunto dentro do ambiente das celas, corredores e sociedade municipal "foi além dos muros". Muito prazeroso ver apenados trabalhando a terra, levantando canteiros, produzindo mudas, plantando, capinando e colhendo os frutos do conhecimento e do trabalho realizado.

Durante o período de vivência no projeto, muito foi ensinado e ao mesmo tempo aprendido com os participantes, através de relatos de vida, pois todos tinham ligação direta com o ambiente rural ou através de pais e avós. Por isso, o cultivo de hortaliças em sistemas prisionais "produção coletiva", pode ser uma alternativa promissora para a ressocialização e inclusão da população carcerária após cumprimento da pena, além de ser uma opção para produção de gêneros alimentícios e ao mesmo tempo melhorar a qualidade nutricional das refeições fornecidas. O contato das PPL's com a agricultura e suas técnicas, através da implantação de hortas, pode despertar o senso crítico sobre valores pessoais e econômicos.

Cardoso e Magro (17), em pesquisa sobre "Horta como fator de ressocialização no presídio de Avaré-SP", perceberam que com o tempo, a área cultivada aumentou, com adoção de novas tecnologias como o cultivo em ambiente protegido de estufas agrícolas e, que a maior parte do fornecimento de hortaliças consumidas no presídio são produzidas pelas PPL's. Chegando a fornecer nos meses de maior produção, parte da produção para unidades vizinhas, como a Penitenciária de Cerqueira César, Centro de Detenção Penitenciária de Cerqueira César e Centro de Detenção Provisória de Itatinga, todas no Estado de São Paulo.

Segundo Freitas et. al. (18), as hortas ou hortaliças podem, além de fornecer à população alimentos frescos e saudáveis, ser uma ferramenta de prática educativa e integração social. Relatam também a importância que projetos que tem a horta como atividade central pode envolver variados grupos: de crianças, pessoas com necessidades especiais, reeducandos do sistema prisional, estudantes e a população em geral. Além da economia de recursos financeiros e melhoria da alimentação; a satisfação pelo trabalho ao ar livre, a conscientização ambiental e o estímulo do senso de equipe. A partir dessas experiências, os autores analisam os projetos que tiveram a horta como ferramenta de integração social para promover benefícios a todos os envolvidos no seu cultivo, inclusive com a participação de docentes, alunos e ex-aluno.

A introdução da horta socioeducativa como contribuição a seguridade alimentar e ressocialização dos apenados da Cadeia Pública do Município de Alagoa Grande-PB, melhorou as expectativas dos apenados em relação ao manejo e conservação adequada do meio ambiente, além de garantir a redução da pena, para cada 3 dias trabalhados tem-se uma redução de 1 dia no prazo da pena, sendo uma alternativa em oferecer uma saída às péssimas condições de vida inerentes à população de apenados da referida cadeia pública com o cultivo de hortaliças tais como: coentro, pimentão, beterraba, cenoura, cebolinha e alface para o consumo interno dos apenados (19).

Conforme pode ser observado na Figura 2, o preparo das mudas de morango, melancia, goiaba e graviola em sacos e bandejas, respectivamente, desde o preparo do substrato, irrigação, desbaste e tratos culturais nessa fase de crescimento e seu posterior plantio em campo aberto, proporcionou aos integrantes da presente pesquisa uma bem estar psicossocial imprescindível a reintegração num futuro próximo após o cumprimento da pena.

Figura 2- Espécies frutíferas semeadas e conduzidas pelas PPL's no local do estudo



A Vara de Execução Penal da Comarca de Sapé, em parceria com a Secretaria de Estado da Administração Penitenciária, por meio da Gerência Executiva de Ressocialização, com parecer favorável do Ministério Público - PB, iniciaram uma abordagem inovadora na ressocialização de oito detentos através do cultivo de coentro, alface, cebolinha, rúcula, alho-poró, repolho, acelga, manjericão e alecrim em uma horta hidropônica vertical em apenas 30 metros quadrados, capaz de cultivar até 800 plantas/molhos por mês, beneficiando não apenas as unidades prisionais, mas escolas e creches com o fornecimento sustentável de hortaliças. Vale salientar, que as hortaliças cultivadas enriquecem a dieta da unidade e oferece aos reeducandos a oportunidade de aprender habilidades práticas e valiosas para o seu retorno ao convívio em sociedade (20).

Estudando o uso da tecnologia social "horta comunitária", Barbosa et al. (21), relatam que foi bem recebida pelos oito detentos do regime fechado e que os mesmos foram beneficiados com a remição de pena, apresentando um grau de satisfação alto em relação aos resultados alcançados, sendo reconhecidos os benefícios gerados com a pesquisa e que o fator remuneração, que não foi oferecido pelo projeto, para eles não foi limitante ao desenvolvimento das atividades.

Muitas são as pesquisas que afirmam ser as hortaliças e frutíferas vitais para a saúde humana, pois são fontes naturais de vitaminas (A e C por exemplo), sais minerais e fibras. Ainda possuem em suas composições substâncias funcionais que atuam na prevenção de doenças crônico-degenerativas como hipertensão, diabetes, arterioscleroses e câncer. Além disso, são considerados alimentos de baixo valor calórico, atuando na precaução e controle da obesidade. Na Figura 3 observamos uma das práticas mais eficientes na recuperação dos detentos de sistemas prisionais, pois pode fornecer uma sensação de liberdade nas tarefas diárias e uma renda mínima em caso em que os projetos venham a ser ampliados, com doações de estufas e financiados pelos vários órgãos públicos.

Figura 5- Alface, morango e couve-folha semeadas e conduzidas pelas PPL's no local do estudo



Segundo Freire (22), uma alternativa sustentável surgiu e mudou a rotina e os hábitos de um grupo de um grupo de 15 a 25 detentos do Presídio Professor Jacy de Assis, Uberlândia - MG, onde uma horta construída e cultivada com alface, repolho, rúcula, couve, pepino, brócolis, mostarda e também algumas ervas medicinais e mudas frutíferas produz mais de 400 caixas de hortaliças mensalmente, vem transformando a relação deles com a natureza e ainda garantindo uma fonte natural para a alimentação diária, irrigadas por uma estrutura para captação de águas pluviais.

Essa atividade é responsável por derrubar o índice de reincidência criminal para 1% entre as PPL's que participam do cultivo das hortaliças, tendo como como exemplo um jovem de 27 anos que afirmou gostar do trabalho "trabalhar aqui é bem melhor do que ficar

lá dentro na cela cheia de gente, gosto da horta e, depois que sair do presídio, não quero mais saber da vida no crime", finalizou o presidiário condenado por furto, que também recebe R$ 591,00 por mês pelo trabalho na horta, além de redução no tempo da pena. Assim como ocorre no Presídio Jacy de Assis, outros presídios têm aderido as hortas internas, como a Penitenciária Pimenta da Veiga, que produz alimentos para consumo próprio e também para doação a entidades filantrópicas. Cerca de 10% do que é produzido é enviado para instituições de caridade de Uberlândia e outras cidades próximas, assim como para famílias carentes que moram próximas aos presídios (22).

CONCLUSÕES

A implantação da horta socioeducativa mudou o olhar das PPL's em relação ao cultivo adequado de hortaliças, ao valor nutricional das hortaliças e frutíferas e da importância em conservar o meio ambiente. A introdução do manejo dos cultivares no dia a dia das PPL's foi de fundamental importância, pois a participação destes nessa atividade, além de garantir a redução da sua pena, proporciona uma maior vivência com a natureza, bem como a melhoria da alimentação, tornando-a atrativa e saudável. Não obstante, percebe-se a necessidade de concretização de parcerias de caráter contínuo, com o CCTA/UFCG para o desenvolvimento de pesquisas, por exemplo, ou com a Prefeitura Municipal de Pombal para a compra de mais sementes, ou ainda com instituições privadas e de fomento de crédito para a produção de frutos em um sentido mais amplo para toda a sociedade civil.

REFERÊNCIAS

1. Alves GFB, Rosas Neto JS. Hortas para a liberdade: uma proposta de ressocialização. In.: Cong. Nac. Edu., João Pessoa: Editora Realize, 2021. 1-8.

2. Melo IS, Sanches, AG. O sistema prisional no Brasil: uma análise do desafio e perspectivas de reforma. Ciênc. Soc. Apl. 2021; 28, 139.

3. Castro OG. A ressocialização de detentos da prisão provisória de Curitiba estimulada pela arte-educação: relato de experiência [Monografia]. Curitiba: Faculdade de Artes do Paraná, 2004.

4. Shecaira SS, Corrêa JA. Pena e Constituição. São Paulo: Rev. Trib., 1995.

5. Freire, P. Pedagogia do oprimido 29. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2005.

6. Ottoboni, M. Ninguém é irrecuperável: Apac: a revolução do sistema penitenciário. São Paulo: Cidade Nova, 2002.

7. Yin RK. Estudo de caso: planejamento e métodos. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.

8. Vygotsky LS. A formação social da mente. 8. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

9. Fernandes D. Avaliar para aprender: fundamentos, práticas e políticas. São Paulo: Editora UNESP, 2009.

10. Cruz AA. Educação do campo e agroecologia: processos educativos na experiência da Feira Agroecológica da Universidade do Estado da Bahia [Dissertação]. São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 2024.

11. Sousa LO. Gestão de risco alimentar: uma política tributária indutora da agroecologia. São Paulo: Editora Dialética, 2021.

12. Simões VCM. Essa PET é PANC: explorando o potencial das plantas alimentícias não convencionais na horta escolar para uma alimentação adequada e saudável nos anos iniciais do ensino fundamental [Dissertação]. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2023

13. Pinto DFN. (In) consciente: Promoção da Alimentação Saudável e Sustentável [Dissertação]. Porto Alegre: Instituto Politécnico de Porto Alegre, 2023.

14. Carvalho ACA; Reis GCC; Oliveira JGM. Lipídeos: estrutura, classificação, funções e metabolismo. In: Silva AIC; Fernandes CAL, Paiva CTC, Ferreira LA, Ribeiro IL (Org.). Bioquímica para o Ciclo Básico de Medicina. Belo Horizonte: Initia Via, 2023. 9:248-296.

15. Barbosa, RLS. Saberes de uma prisão incomum: o processo de trabalho de formadores em uma unidade da Associação de Proteção e Assistência aos Condenados-APAC[Dissertação]. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Educação, 2021.

16. BRASIL. Presidência da República. Lei n. 7.210, de julho de 1984. Institui a Lei de Execução Penal. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 122, n. 135, p. 11-18, 13 jul. 1984.

17. Cardoso, AII, Magro FL. (Org.). Hortas: sob um olhar que você nunca viu [online]. São Paulo: Editora UNESP, 2021.

18. Freitas PGN, Higuti ARO, Magro FO. Importância nutricional das hortaliças. In.: Cardoso AII, MagrO FO. (Org.). Hortas: sob um olhar que você nunca viu [online]. São Paulo: Editora UNESP, 2021, 1: 9-19.

19. Araújo TLA, Alexandre AR, Santos D. Hortas sócio-educativas para a cadeia pública do município de Alagoa Grande-PB. In.: Encontro De Extensão Universitária, 10., 2008, João Pessoa. Anais [...]. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 2008. 1-6.

20. TRIBUNAL DE JUSTIÇA DO ESTADO DA PARAÍBA (TJPB). “Hortas para a Liberdade” produz hortaliças através de hidroponia no Presídio de Sapé. 2024. [Acesso em: 1 ago. 2024]. Disponível em: https://www.tjpb.jus.br/noticia/hortas-para-a-liberdade-produz-hortali cas-atraves-de-hidroponia-no-presidio-de-sape

21.Barbosa LB, Araújo SSB, Lima EMAS, Raimundo EKM,Araújo AE, Silva Filho CRM. Hortas sócioeducativas e o trabalho de ressocialização na cadeia pública de Bananeiras, Paraíba. Cadernos de Agroecologia.2018; 13, 1.

22. FREIRE O. Horta em presídio produz 400 caixas de alimentos por mês. 2015. [Acesso em: 12 nov. 2024]. Disponível em:

ttps://www.pensamentoverde.com.br/sustentabilidade/horta-em-presidio-produz-400-caixas-de-alimentos-por-mes/

Capítulo 04

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-04

IMPLICAÇÕES PARA SEGURANÇA ALIMENTAR E USO BIOTECNOLÓGICO DO EXTRATO DO FRUTO DO *PILOSICEREUS CHRYSOSTELE* (FACHEIRO)

José Nildo Vieira Deodato*; Larissa da Silva Santos Pinheiro; Eryck Allan Alves Fernandes; Thais Ribeiro Luna de Melo; Francisco Bruno Ferreira de Freitas; Alfredina dos Santos Araújo; Gilcean Silva Alves

** José Nildo Vieira Deodato – Email: jnvdeodato@hotmail.com*

Resumo: O facheiro (*Pilosocereus pachycladus*) é uma espécie característica da Caatinga, predominantemente no Nordeste do Brasil, e possui potencial para ser utilizado como matéria-prima na indústria alimentícia. Farinha, picles, bolos, biscoitos sem glúten, bebidas e adoçantes naturais, além de sucos e geleias são algumas das opções que utilizam seus frutos e cladódios. Considerando esse potencial, é imprescindível analisar a segurança da utilização desses recursos vegetais, principalmente em relação aos riscos microbiológicos e toxicológicos. Neste estudo, foram examinados extratos do fruto de Pilosocereus chrysostele, concentrando-se na detecção de microrganismos indicativos de contaminação e na toxicidade em relação à bioensaio com Artemia salina Leach. Os resultados demonstraram uma toxicidade específica, com um DL50 de 100 µg/mL, um valor que está muito abaixo do limite de segurança estipulado (1000 µg/mL). Esses achados reforçam a necessidade de investigações complementares, incluindo testes in vivo, para identificar os compostos responsáveis pela letalidade e definir concentrações seguras de utilização. Apesar da toxicidade observada, o facheiro destaca-se como fonte natural de corantes extraídos por soluções hidroalcoólicas, com potencial para aplicações alimentícias e biotecnológicas. Além disso, os extratos hidroalcoólico 70%, alcoólico e aquoso apresentaram conformidade microbiológica, estando de acordo com os padrões legais e aptos ao processamento inicial. Assim, este capítulo ressalta que, além dos benefícios nutricionais e tecnológicos, é essencial considerar a segurança alimentar e o risco toxicológico no aproveitamento de frutos nativos da Caatinga, garantindo sua viabilidade no desenvolvimento de alimentos, cosméticos e fármacos.

Palavras–chave: *Artemia Salina*; caatinga; microbiologia de alimentos; *Pilosocereus chrysostele*; toxicidade

INTRODUÇÃO

As cactáceas produzem, em sua maioria, frutos carnosos do tipo baga, caracterizados por ampla diversidade morfológica e cromática no epicarpo, que pode variar entre tonalidades claras, como branco e amarelo, até cores mais intensas, como vermelho e azul. Esses frutos apresentam sabor adocicado, elevado teor de água e nutrientes, além de conterem numerosas sementes pequenas e escuras, dispersas na polpa. O facheiro

(*Pilosocereus pachycladus*), da família Cactaceae, é uma espécie característica da Caatinga, sendo encontrado principalmente no Nordeste brasileiro. Essa cactácea apresenta uma notável adaptação ao clima semiárido, mostrando uma alta resistência à falta de água e à forte exposição solar (1).

O facheiro desempenha um papel importante nas comunidades locais em várias perspectivas econômica, ecológica e cultural. Ele é usado como alimento para animais durante a estiagem, além de ser empregado na fabricação de doces e em práticas medicinais tradicionais, graças às propriedades funcionais que a população lhe atribui. Contudo, mesmo com sua relevância regional significativa, ainda existem poucas pesquisas científicas que investiguem sua composição química e valor nutricional, particularmente no que diz respeito a compostos bioativos, como os carotenoides (2).

Essas cactáceas são previstas como fontes relevantes de matéria-prima para a indústria alimentícia, sendo utilizadas na composição de diversos produtos, como bolos, bebidas, farinhas de cladódios, picles e biscoitos sem glúten. Pesquisas também indicam seu uso na criação de sucos, geleias, bebidas selecionadas e adoçantes naturais, bem como na utilização de farinhas ricas em fibras, cálcio e potássio (3).

A espécie *Pilosocereus pachycladus* demonstrasse que seus extratos apresentam significativas atividades antimicrobianas, capazes de inibir o crescimento de diversos microrganismos patogênicos, bem como propriedades antioxidantes, que contribuem para a neutralização de radicais livres e para a proteção celular contra danos oxidativos. Essas evidências reforçam o valor farmacológico da planta, destacando seu potencial como fonte natural de compostos bioativos com aplicações tanto na área médica quanto farmacêutica (1).

O objetivo desta pesquisa é avaliar a qualidade microbiológica e a toxicidade dos extratos obtidos do fruto de *Pilosocereus chrysostele* (facheiro), investigando a presença de microrganismos indicadores de contaminação e a letalidade frente ao bioensaio com *Artemia salina Leach*, como etapa preliminar para validação da segurança de uso desse recurso vegetal em aplicações alimentícias e biotecnológicas.

MATERIAL E MÉTODOS

Os frutos foram coletados em um acervo particular na fazenda Batentes pertencente ao município de Nova Palmeiras (PB), os mesmos foram acondicionados em caixas isotérmica e conduzidas para a pesquisa no Laboratório do CVT - campus CCTA – da UFCG. Os frutos foram sanitizados em solução de hipoclorito de sódio (NaClO) a 200 mg/L por 15 minutos, em seguida, foram lavados em água corrente, posteriormente os frutos foram cortados ao meio e removido a polpa da casca com o auxílio de utensilio apropriado (faca inox), após isso foi iniciada a pesquisa, onde foi feita a produção dos extratos e sua caracterização microbiológica, seguida da realização da análise toxicológica em *Artemia Salina Leach*.

PRODUÇÃO DOS EXTRATOS

Extrato aquoso

Foram utilizados aproximadamente 5 g da polpa do fruto de facheiro in natura, previamente triturado, posteriormente foram adicionadas 50 mL de água destilada como solvente, a solução permaneceu em repouso por um período 48 horas, em seguida o conteúdo foi filtrado em papel filtro e então armazenado em vidro âmbar e colocado sobre refrigeração a 4 ºC por 48 horas. Posteriormente os extratos foram submetidos ao processo de rotaevaporação a 49 °C por 4 horas. Os extratos rotaevaporados foram armazenados sobre refrigeração para as análises posteriores.

Extrato alcoólico

Foram utilizados aproximadamente 5 g da polpa do fruto de facheiro in natura, previamente triturado, posteriormente foram adicionadas 50 mL de álcool de cereal como solvente, a solução permaneceu em repouso por um período 48 horas, em seguida o conteúdo foi filtrado em papel filtro e então armazenado em vidro âmbar e colocado sobre refrigeração a 4 ºC por 48 horas. O álcool de cereal foi obtido no comércio local da cidade de Patos-PB. Posteriormente os extratos foram submetidos ao processo de rotaevaporação a 49 °C por 4 horas. Os extratos rotaevaporados foram armazenados sobre refrigeração para as análises posteriores.

Extrato hidroalcoólico 50%

Foram utilizados aproximadamente 5 g da polpa do fruto de facheiro in natura, previamente triturado, posteriormente foram adicionadas 70% de álcool etílico e 30% água destilada na proporção como solvente, a solução permaneceu em repouso por um período 48 horas, em seguida o conteúdo foi filtrado em papel filtro e então armazenado em vidro âmbar e colocado sobre refrigeração a 4 ºC por 48 horas. Posteriormente os extratos foram submetidos ao processo de rotaevaporação a 49 °C por 4 horas. Os extratos rotaevaporados foram armazenados sobre refrigeração para as análises posteriores.

Extrato hidroalcoólico 70%

Foram utilizados aproximadamente 5 g da polpa do fruto de facheiro in natura, previamente triturado, posteriormente foram adicionadas 70% de álcool etílico e 30% água destilada na proporção como solvente, a solução permaneceu em repouso por um período 48 horas, em seguida o conteúdo foi filtrado em papel filtro e então armazenado em vidro âmbar e colocado sobre refrigeração a 4 ºC por 48 horas. Posteriormente os extratos foram submetidos ao processo de rotaevaporação a 49 °C por 4 horas. Os extratos rotaevaporados foram armazenados sobre refrigeração para as análises posteriores.

CARACTERIZAÇÃO MICROBIOLÓGICA DOS EXTRATOS

Para a detecção e quantificação dos parâmetros microbiológicos dos extratos dos frutos do facheiro foram analisadas Coliformes a 35 °C, Coliformes a 45 °C, *Staphylococcus* Coagulase Positiva, Bolores e Leveduras e *Salmonella*/25g.

Teste presuntivo

Utilizou a técnica de tubos múltiplos, no qual se utiliza o meio caldo Lauril Triptose (KASVI), com período de incubação a 35±2 °C por 24 - 48 horas, conforme a metodologia descrita por Silva (4). Este teste não é confirmatório, mas permite uma estimativa preliminar da densidade do grupo bacteriano baseada no enriquecimento em meio minimamente restrito.

Coliformes a 35°C

Utilizou-se o meio de Caldo Verde Bile Brilhante, 2% (KASVI) com período de incubação a 35±2 °C de 24 - 48 horas, conforme a metodologia descrita por Silva (4).

Coliformes a 45°C

Para análise utilizou-se o meio caldo E.C., incubando a 45 °C por 24 - 48 horas, segundo a metodologia descrita por Silva (4).

Bolores e Leveduras

Para contagem de bolores e leveduras foram utilizados o método de plaqueamento direto em superfície, em meio Agar Batata Dextrose 36 (BDA) (KASVI) incubadas a 22 ºC por 5 dias, segundo a metodologia recomendada (4).

***Staphylococcus* Coagulase Positiva**

Para a determinação foram utilizados o método em superfície no meio de cultura Ágar Baid-Parker suplementado com solução de gema de ovo a 50% e telurito de potássio a 3,5%. As placas foram incubadas a 35 °C por 48 horas, segundo a metodologia recomendada (4).

***Salmonella*/25g**

Utilizou-se o método em superfície no meio de cultura *Salmonella* Diferencial Ágar HIMEDIA® incubando-se a temperatura de 35 ± 1 °C por 48 horas, segundo a metodologia recomendada (4).

PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS E ENSAIO DE LETALIDADE EM *ARTEMIA SALINA LECH*

O ensaio de letalidade em *Artemia salina Leach* foi realizado de acordo com a metodologia descrita por Meyer (5), com algumas modificações. A eclosão dos cistos de Artemia salina ocorreu em solução de água e cloreto de sódio (NaCl) uma concentração de

40 g/L. A solução salina (pH 8-9) foram adicionados 100 mg de cistos para a eclosão dos ovos, que se deu em temperatura ambiente e sob luz de 100 W por um período de 48 horas.

No preparo das soluções a serem testadas foram utilizados 40 mL de todas as amostras, os quais foram transferidos para balões de 50 mL e completados seu volume com água destilada. A partir da solução preparada anteriormente (40 $mg.mL^{-1}$) foram realizadas diluições para tubos de ensaio de 10 mL de forma a obter as seguintes concentrações: 1000 $\mu g\ mL^{-1}$, 500 $\mu g\ mL^{1}$ e 250 $\mu g\ mL^{-1}$. O controle negativo (0 $mg.mL^{-1}$) foi preparado utilizando apenas água salina. O teste foi realizado em triplicata. Após o preparo das soluções, 10 náuplios foram coletados com micropipeta e transferidos para os tubos nos quais estavam presentes os extratos e frações nas diferentes concentrações. Os tubos foram deixados em temperatura ambiente por 48 horas. Passado este período, estes foram analisados para registrar a quantidade de 37 larvas vivas. O número de larvas vivas em relação ao aumento da concentração dos extratos e frações foram utilizados para calcular os valores da CL50.

ANÁLISES ESTATISTICAS

A determinação da concentração letal média (CL50) dos extratos de plantas do sertão Paraibano foi obtida por regressão não-linear do número de náuplios viáveis para cada concentração dos extratos. O ensaio foi realizado em triplicata para cada concentração dos extratos. Todos os resultados foram expressos como média ± desvio padrão e analisados estatisticamente empregando-se o Teste-t, onde os valores de $p < 0,05$ foram considerados significantes e analisados pelo programa GraphPad Prism 8.4.3.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 encontram-se resultados das análises microbiológicas do fruto fresco e dos extratos do fruto do facheiro.

Tabela 1 - Caracterização microbiológica do fruto e dos extratos do facheiro (*Pilosocereus chrysostele*)

	Coliformes a 35° (NMP/mL)	**Coliformes a 45° (NMP/mL)**	***Salmonella*/25g (UFC/mL)**	***Sthaphylococcus* Coagulase positiva (UFC/mL)**
Fruto	<1100	200	Ausente	Ausente
Extrato 70%	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Extrato 50%	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Extrato Aquoso	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Extrato Cereal	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

Os resultados obtidos nas contagens de coliformes totais (35 ºC) e termotolerantes (45ºC) (Tabela 1), expressos como Número Mais Provável por grama/mililitro (NMP/g/mL), demonstraram que os extratos da polpa do fruto facheiro apresentaram ausência em todas as amostras analisadas, estando estas dentro dos padrões estabelecidos pelo regulamento técnico RDC nº 12, 69 de 02/01/2001 que preconiza valor máximo de 102 NMP/g (6), indicando que o produto foi elaborado utilizando-se as boas práticas de fabricação. Observa-se que o fruto fresco quando comparado aos extratos elaborados, apresentou altos níveis de contaminação microbiana, no entanto, há poucos estudos relacionados aos microrganismos existentes em locais de clima semiárido, mas vem crescendo o interesse por este tema nos últimos anos.

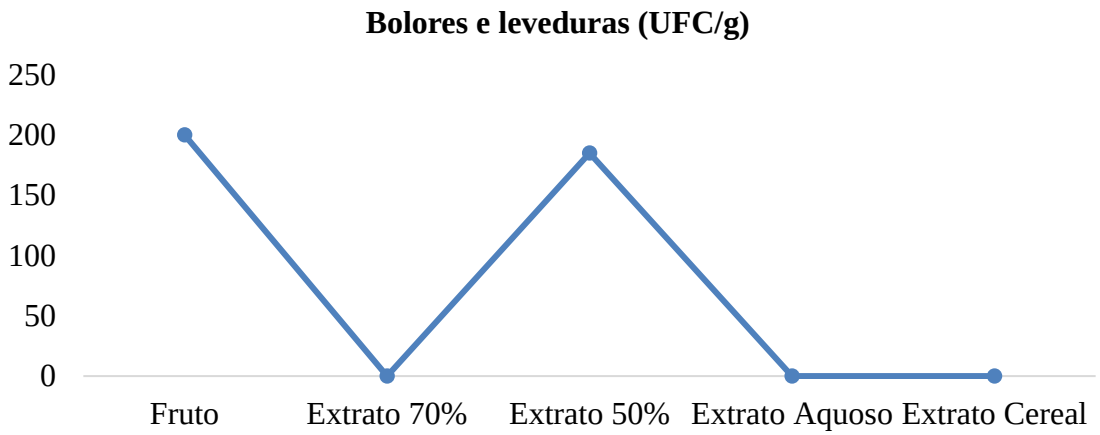
Analisando a tabela 1, observa-se que todas as amostras analisadas obtiveram ausência para *Salmonella* e *Staphylococcus*. Os extratos hidroalcóolicos e alcoólicos por apresentarem em sua composição uma porcentagem de álcool etanoico, contribuíram para o não aparecimento desses microrganismos contaminantes. O álcool, possuem propriedades que são eficazes contra microrganismos envolvidos em infecções e surtos alimentícios, como por exemplo *Salmonella* e *Staphylococcus* spp, sendo bastante utilizado na antissepsia de mãos. Logo os extratos que apresentaram em suas formulações álcool, não apresentaram nenhuma contagem para esses microrganismos.

A temperatura aplicada durante a rotaevaporação dos extratos, 49 °C, juntamente com a concentração alta de compostos bioativos capazes de eliminar ou de servirem como um antimicrobiano natural frente a esses microrganismos, também foram um fator determinante para a ausência de *Salmonella* e *Staphylococcus*, uma vez que essa temperatura e a alta concentração de compostos não é a adequada para o crescimento ou fase exponencial desses microrganismos indicadores, ocorrendo então a morte e diminuição desses contaminantes.

Os *Staphylococcus* são bactérias mesófilas, cuja temperatura de crescimento varia entre 7 ºC a 47,8 ºC, não possuindo resistência a tratamentos térmicos. Já a *Salmonella* possui uma temperatura de multiplicação que fica entre 5 ºC e 47 ºC sendo que a ideal é 35-37 ºC (7). O fruto por apresentar uma alta quantidade de compostos bioativos, foi capaz de deter a contaminação microbiológica que possivelmente poderia está exposto. Antes que o fruto passasse por qualquer procedimento ou extração, o mesmo foi lavado, sanitizado em solução clorada, ocorrendo esse processo para diminuir a carga microbiana presente no fruto.

Encontram na figura 1 os resultados obtidos nas análises microbiológicas de bolores e leveduras do fruto e dos extratos do fruto do facheiro.

Figura 1 - Unidades formadoras de colônias de bolores e leveduras por mL dos extratos



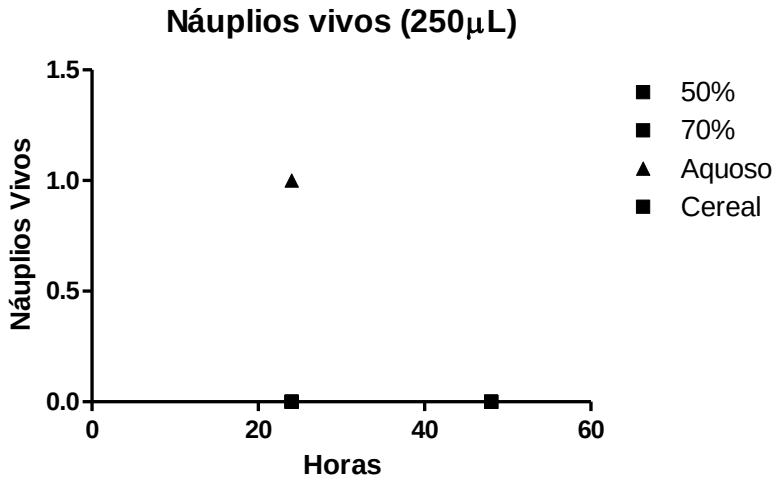
Frutos são amplamente contaminados por bolores e leveduras. Nota-se na figura 1 um teor elevado de bolores no fruto fresco e no extrato a 50%. Observa-se também que nos extratos de 70%, aquoso e de cereal, não foram encontradas contaminações dos mesmos. Foster (8), relata que bolores e leveduras são os principais causadores de deterioração de frutos, devido sua tolerância a elevados teores de acidez e a habilidade de muitas delas crescerem anaerobicamente, podendo justificar o elevado teor de contaminação do extrato a 50%, já que o mesmo apresentou menor porcentagem de acidez.

Averiguou-se a toxicidade dos extratos obtidos a partir das polpas do facheiro uma vez que são consumidos por algumas populações e não se verificou na literatura até a redação do presente estudo investigações ligadas a compostos com potencial atividade biológica presentes nestes. Dentre os ensaios disponíveis para verificar a toxicidade o teste com *Artemia Salina* é dos mais utilizados, considerado como um bioensaio preliminar que permite avaliar a toxicidade geral utiliza-se como ferramenta um minúsculo crustáceo, o camarão de água salgada e tem a vantagem de ser um teste simples não oneroso e de rápida realização (9 e 10).

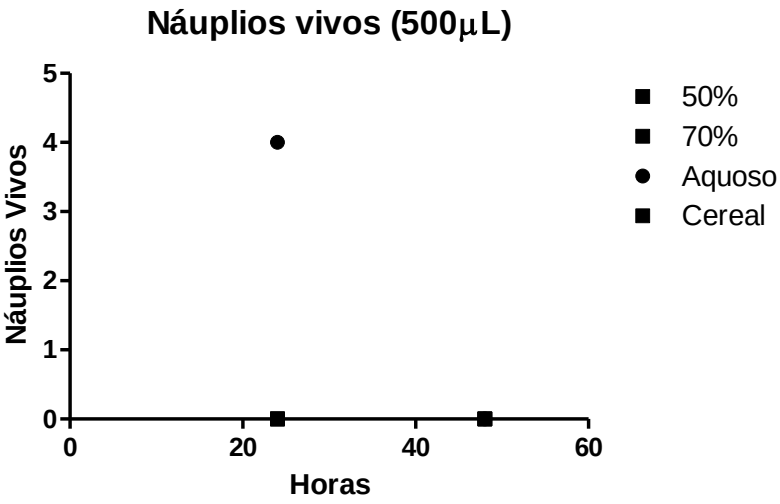
Os resultados para a quantidade de nauplios vivos nas concentrações testadas (250 µL, 500 µL e 1000 µL), nos tempos de 24 horas e 48 horas, para os extratos de facheiros a 50%, 70%, aquoso e de álcool de cerais, estão dispostos na figura 2.

Figura 2 - Quantidade de náuplios vivos nas concentrações de 250µL (A), 500 µL (B) e 1000 µL (C), nos tempos de 24 horas e 48 horas para os extratos de facheiros a 50%, 70%, aquoso e de álcool de cerais

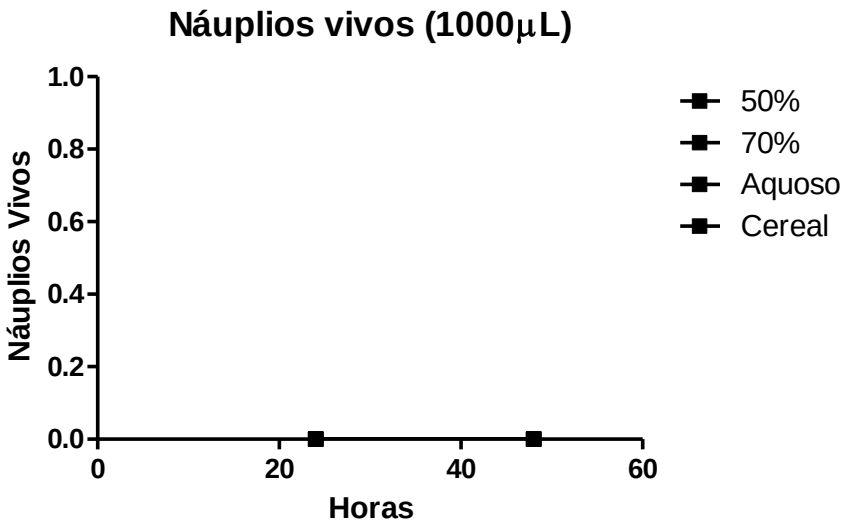
(A)


Náuplios vivos (250µL)
Náuplios Vivos
1.5
1.0
0.5
0.0
0
20
40
60
Horas
50%
70%
Aquoso
Cereal

(B)


Náuplios vivos (500µL)
Náuplios Vivos
5
4
3
2
1
0
0
20
40
60
Horas
50%
70%
Aquoso
Cereal

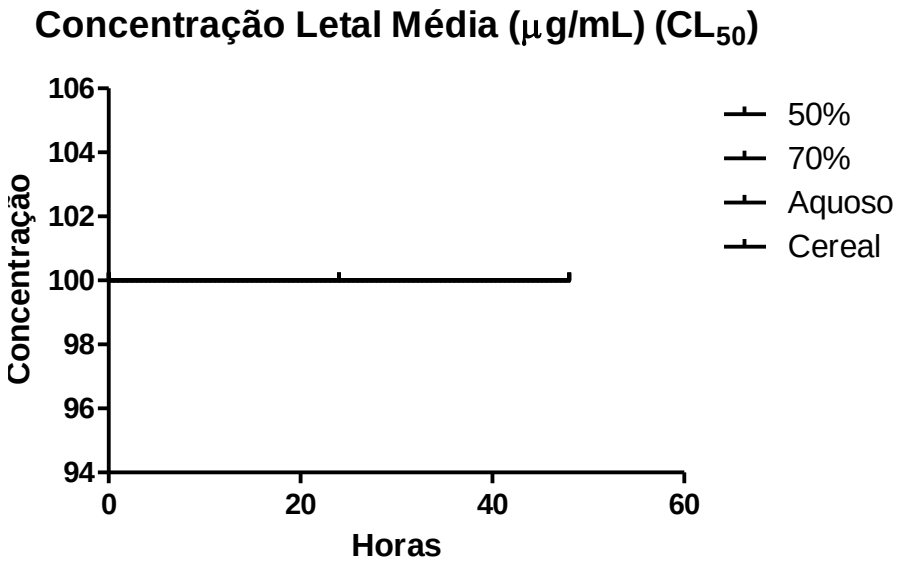
(C)



Para a concentração de 250 µL (A), observa-se que apenas um náuplio da *Artemia Salina* do extrato aquoso sobreviveu a concentração estudada, esse resultado pode ser explicado pela utilização do álcool na preparação dos extratos a 50%, 70% e de cereais, onde, mesmo sendo utilizado a rotaevaporação, possa ser que o álcool não tenha sido eliminado e evaporado por completo, fazendo com que os nauplios não resistam e venham a morte. Analisando o gráfico B, percebemos que na concentração de 500 µL, novamente apenas nauplios colocados sobre o extrato aquoso sobreviveram (4), e nenhum náuplio de *Artemia salina*, sobreviveu aos extratos de 50%, 70% e de cereais, podendo ser explicado pelo uso do álcool na produção dos extratos. Enquanto para a concentração de 1000 µL, nenhum náuplio disposto sobre os extratos, tanto para o aquoso, o de 50%, 70% e de cereais, sobreviveu a uma concentração considerada alta, logo, observa-se que os extratos mesmo sem álcool se tornaram tóxicos para as larvas.

Os resultados para a Concentração letal média (DL_{50}) nos tempos de 24 horas e 48 horas para os extratos de facheiros a 50%, 70%, aquoso e de álcool de cerais, encontram-se dispostos na figura 3.

Figura 3 - Concentração letal média (DL_{50}) nos tempos de 24 horas e 48 horas para os extratos de facheiros a 50%, 70%, aquoso e de álcool de cerais



De acordo com a figura 3, observa-se que a concentração letal média para todos os extratos de facheiro, foi de 100 µg/mL, concentração considerada toxica de acordo com a literatura. uma vez que Meyer et al., (10) estabeleceu o valor de referência para ser considerado atóxico quando a CL_{50} é maior que 1000 µg/mL. Essa concentração letal média se manteve tanto para os ensaios a 24 horas quanto para os ensaios a 48 horas. Porém mesmos os resultados apresentando os extratos como tóxicos, ocorre a necessidade de ocorrer testes *in vivo* para que seja comprovada a toxicidade dos extratos do facheiro.

Sousa (11), analisando em seu trabalho frutos de cactáceas da caatinga piauiense: potencial bioativo e tecnológico, realizando o teste de toxicidade com artemias no fruto do facheiro, encontrou para a CL_{50} valores maiores que 1000 µg/mL, sendo considerado o fruto um produto atóxico, resultado diferente do encontrado no presente trabalho. Vale a pena ressaltar que os extratos testados por Sousa (11), eram apenas aquosos, ou seja, no presente trabalho a utilização dos álcoois a 50 e 70% e o álcool de cereais, mesmo os de 50 e 70% tendo passado pelo processo de rotaevaporação e retirada do álcool, pode ocorrer que alguma parte do álcool não ter evaporado por completo, o que pode ocasionar a morte dos nauplios e consequentemente a diminuição da CL_{50} dos extratos de facheiro. Além de que os facheiros utilizados por Sousa (11), era de regiões e estados diferentes, logo o fruto pode conter substâncias e compostos em concentrações diferentes.

CONCLUSÕES

Os extratos obtidos a partir do fruto do facheiro, são consideradas tóxicas a partir dos ensaios de toxicidade em *Artemia Salina* que resultou em uma DL_{50} de 100 µg/mL, ou seja, valores bem abaixo do padrão considerado não toxico (1000 µg/mL). É necessário um maior estudo e aplicação desses extratos em testes *in vivo* para se ter a certeza em relação a sua toxicidade, a fim de elucidar os compostos responsáveis pela letalidade observada e definir níveis seguros de utilização, contudo, pode-se considerar que o facheiro é uma fonte natural de corantes naturais, podendo os mesmos ser obtidos a partir de soluções hidroalcóolicas. É importante ressaltar que os extratos hidroalcoólico 70%, alcoólico e aquoso apresentam segurança microbiológica adequada, podendo ser considerados aptos ao processamento inicial, por estar dentro dos padrões estabelecido pela legislação.

Assim, este capítulo reforça a importância de considerar não apenas os aspectos nutricionais e tecnológicos de frutos nativos, mas também parâmetros de segurança alimentar e risco toxicológico, que são determinantes para a futura aplicação de biocompostos naturais da Caatinga em alimentos, cosméticos e fármacos.

REFERÊNCIAS

1. Freitas, Juliana Gomes; GOMES, Vanessa Gabrielle Nóbrega; BATISTA, Fabiane Rabelo Da Costa. Frutos do Cactário Guimarães Duque. 2022.

2. Junior, Orlando Vilela et al. Determinação do teor de carotenoides em frutos de Facheiro (*Pilosocereus pachycladus*) em diferentes estágios de maturação. CRN. 2024.

3. Santiago, B. S. Cladódio de facheiro (*Pilosocereus pachycladus*): obtenção de farinha e elaboração de biscoitos tipo cookies [Trabalho de Conclusão de Curso] João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2025.

4. Silva, N.; Junqueira, V. C. A.; Silveira, N. F. A.; Taniwaki, M. H.; Santos, R.F. S.; Gomes, R. A. R. Manual de métodos de análises microbiológica de alimentos e água. 5ª edição. São Paulo: Livraria Varela, 2020.

5. Meyer, B. N.; Ferrigni N. R.; Putnam J. E.; Jacobsen L. B.; Nichols, D.; Mclaughlin, J. L. Brine Shrimp: a convenient general bioassay for active plant constituents. Planta Médica. 1982; 45: 31-34.

6. Brasil. RDC n.12 de 02 de janeiro de 2001. Regulamento Técnico sobre Padrões Microbiológicos para Alimentos. Brasília, DF: ANVISA, 2001.

7. Franco, B. D. G. de M. Microbiologia dos Alimentos. 2 ed. São Paulo: Atheneu; 2008.

8. Foster, T.; Vasavada, P. C. Beverage Quality and Safety. Institute of Food Technologists. [S.I.]: CRC Press, 2003; 248.

9. Araújo, M. G. F.; Cunha, W. R.; Veneziani, R. C. S. Estudo fitoquímico preliminar e bioensaio toxicológico frente a larvas de Artemia salina Leach. de extrato obtido de frutos de Solanum lycocarpum A. St.-Hill (Solanaceae). Revista de Ciencias Farmaceuticas Basica e Aplicada. 2010; 31: 205-209.

10. Meyer, B.N.; Ferrigni N.R.; Putnam J.E.; Jacobsen L.B.; Nichols, D.; Mclaughlin, J.L. Brine Shrimp: a convenient general bioassay for active plant constituents. Planta Médica. 1982; 45; 31-34.

11. Sousa, A. C. P. Frutos de cactáceas da caatinga piauiense: potencial bioativo e tecnológico. Dissertação [Mestrado em Alimentos e Nutrição]. Teresina: Universidade Federal do Piauí, 2017.

Capítulo 05

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-05

CAFERANA (*BUNCHOSIA GLANDULIFERA*): CARACTERIZAÇÃO BIOMÉTRICA, FÍSICO-QUÍMICA E POTENCIAL FUNCIONAL DE UM FRUTO NATIVO BRASILEIRO

Evelly Cristine de Jesus Santos; Laila Oliveira Dias; Ellen Godinho Pinto*; Wiaslan Figueiredo Martins; Dayana Silva Batista Soares; Ana Paula Stort Fernandes

**Ellen Godinho Pinto (Corresponding author) – Email: ellen.godinho@ifgoiano.edu.br*

Resumo: O Brasil, por sua ampla biodiversidade, abriga espécies ainda pouco estudadas, como a *Bunchosia glandulifera* (caferana), planta nativa que produz frutos vermelhos de elevado valor nutricional e ricos em compostos bioativos. Neste estudo, frutos maduros de caferana foram coletados em Morrinhos-GO e analisados quanto às características biométricas, físico-químicas, compostos bioativos e cor. Os frutos apresentaram peso médio de 5,65 g, predominância de sementes sobre a polpa e formato quase esférico. Na composição físico-química, observou-se umidade de 70,33%, pH de 5,40 e elevado teor de sólidos solúveis (23 °Brix), indicando sabor adocicado e potencial tecnológico. Nos compostos bioativos, registrou-se 203,62 mg de fenólicos totais, 37,20 mg/100 g de carotenoides e 30,40 mg/100 g de licopeno, valor quase dez vezes superior ao do tomate. A análise instrumental de cor evidenciou baixa luminosidade (L* = 5,83) e predominância de tonalidades vermelhas (a* = 7,89), confirmando a alta concentração de licopeno. Esses resultados destacam a caferana como fruto promissor para o consumo *in natura* e para o desenvolvimento de novos produtos agroindustriais, tanto pelo apelo nutricional quanto pelo potencial funcional.

Palavras–chave:carotenoides; cor; licopeno; biométria

INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta a maior biodiversidade de plantas do mundo, abrigando uma variedade impressionante de espécies distribuídas entre seus diferentes biomas, como Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Caatinga, Pantanal e Pampa. Essa diversidade, embora representativa de um grande potencial agrícola, nutricional e farmacológico, ainda é pouco explorada, e muitas espécies permanecem subestimadas ou insuficientemente estudadas em termos de composição química, propriedades funcionais e possibilidades de aproveitamento industrial (1).

Dentre essas espécies, destaca-se a *Bunchosia glandulifera* (caferana), uma planta nativa brasileira que produz pequenos frutos vermelhos altamente nutritivos, conhecidos pelo sabor adocicado e pelos potenciais efeitos benéficos à saúde. O consumo dos frutos in natura ou do pó obtido a partir de suas sementes tem sido tradicionalmente associado à

preservação e ao estímulo do vigor físico e mental, além de práticas populares de promoção do bem-estar e longevidade (1).

Os frutos da caferana possuem relevância econômica local, especialmente em agroindústrias familiares, sendo utilizados na produção de geleias, sucos, néctares e outros derivados. A composição química da polpa é rica em compostos bioativos com ação antioxidante, incluindo carotenoides, polifenóis, minerais e ácidos graxos poli-insaturados (PUFAs), conferindo-lhe propriedades funcionais e nutricionais significativas (2; 1). Estudos demonstram que a concentração de compostos bioativos pode variar conforme o estágio de maturação do fruto, o que impacta diretamente o valor nutricional e o potencial tecnológico de seu aproveitamento (3).

As sementes da caferana, volumosas e representando até 40% do peso total do fruto, também apresentam relevante conteúdo bioativo, incluindo cafeína, tocoferóis, minerais e compostos fenólicos, com comprovada atividade antioxidante (1; 4). Apesar de tradicionalmente serem descartadas ou utilizadas de forma artesanal após torra e moagem, as sementes oferecem um potencial ainda pouco explorado para o desenvolvimento de produtos funcionais e ingredientes nutracêuticos. Relatos populares indicam que o consumo das sementes torradas e moídas contribui para a melhoria do bem-estar físico e mental, reforçando o interesse científico no estudo desta espécie como fonte natural de compostos bioativos (1; 4).

O estudo da caferana não apenas valoriza uma espécie nativa brasileira com potencial nutricional e funcional, mas também contribui para a preservação da biodiversidade e para o desenvolvimento de produtos inovadores que podem fortalecer a economia local e promover hábitos alimentares mais saudáveis.

Objetivou-se com este trabalho a caracterização dos frutos de caferana, por meio da avaliação biométrica, físico-química, da composição de compostos bioativos e da análise instrumental de cor, visando fornecer informações sobre seu potencial nutricional e funcional.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram adquiridos os frutos de caferana nativos do município de Morrinhos, GO. Em seguida, os mesmos foram encaminhados para o Laboratório de Análises de Alimentos do Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos, para assim realizar a composição física e química dos frutos. Para a análise biométrica, 30 frutos maduros e *in natura* foram analisados aleatoriamente. Com o auxílio de balança semi analítica e paquímetro digital, as seguintes variáveis foram determinadas: diâmetros longitudinal e transversal (mm), massa do fruto (g) e da polpa (g). Sendo que, o rendimento de polpa foi determinado pela relação entre a massa da polpa e a massa do fruto, como pode ser observado na Equação 1:

Rendimento= $Peso\ total - Peso\ da\ semente$ Equação 1.



Figura 1. Fruto da caferana

Para a composição físico-química caferana as análises foram realizadas em triplicata: umidade determinada em estufa a 105 °C, até peso constante; pH pelo método potenciômetro previamente calibrado com solução padrão; o teor de sólidos solúveis totais (SST) °Brix foi realizado por medida direta em refratômetro manual. Todos os procedimentos citados acima seguem a metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (5). Para a determinação dos fenólicos totais seguiu a metodologia descrita por Swain & Hills (6). Onde adicionou-se em um balão volumétrico de 10 mL, 0,5 mL de cada amostra, em triplicata, dos extratos aquoso, 8 mL de água destilada e 0,5 mL do reagente de Follin Ciocalteau. A solução foi homogeneizada e, após 3 min, acrescentou-se 1 mL de solução saturada de carbonato de sódio anidro (NaCO3). A solução ficou em repouso por 1 hora e logo após foram realizadas as leituras de absorbâncias em espectrofotômetro a 720 nm. A leitura do branco foi realizada contendo os mesmos reagentes, menos a amostra. Utilizou-se como padrão a solução de ácido gálico, em concentrações variando de 0 a 100 mg/mL. O resultado do teor de fenólicos totais foi expresso em mg de ácido gálico/g de amostra. Para a determinação do teor de β carotenos e licopeno a amostra foi quantificada seguindo a metodologia descrita por Vinha et al. (7). Onde aproximadamente 0,5 g de amostra foi submetida a um processo de extração com uma mistura de acetona-hexano (4:6). Após homogeneização efetuou-se as leituras de absorbâncias em espectrofotômetro a diferentes comprimentos de onda (453 nm, 505 nm, 645 nm e a 663 nm), segundo a Equação 2 e 3:

β-Caroteno (mg/100 g) = 0,216A663 – 1,22A645 – 0,304A505 + 0,452A453 Equação 2.

Licopeno (mg/100 g) $= -0{,}0458A663 + 0{,}204A645 + 0{,}372A505 - 0{,}0806A453$ Equação 3.

Foi realizada análise de cor da caferana, em triplicata. O aparelho usado foi o colorímetro portátil, utilizando sistema CIE L* a* b*, em que L* indica a luminosidade e a* (vermelho-verde) e b* (amarelo-azul) sugerem as coordenadas de cromaticidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da composição biométrica da polpa, semente, diâmetros longitudinal e transversal da caferana.

Tabela 1. Composição biometrica dos frutos de caferana

	Média ± DP
Peso total (g)	5,65 ± 0,65
Peso da polpa (g)	2,53 ± 0,46

Peso da semente (g)	3,12 ± 0,77
Diâmetro Longitudinal (mm)	29,90 ± 0,54
Diâmetro Transversal (mm)	28,10 ± 0,54

A caracterização biométrica da *Bunchosia glandulifera* (caferana) evidencia um fruto de pequeno porte, com peso médio de 5,65 g, sendo a maior proporção representada pela semente (3,12 g), em comparação à polpa (2,53 g). Essa relação polpa/semente demonstra que, apesar do potencial de aproveitamento do fruto, o rendimento de polpa é relativamente baixo, fator que pode influenciar a viabilidade para consumo direto e para processamento industrial.

As medidas dimensionais mostram que o fruto apresenta formato quase esférico, com diâmetro longitudinal (29,90 mm) e transversal (28,10 mm) muito próximos. Essa característica sugere uniformidade morfológica, aspecto positivo para padronização em estudos agronômicos e tecnológicos.

De acordo com a Tabela 2. podemos observar a caracterização físico-química do fruto *in natura* da caferana.

Tabela 2. Caracterização Físico-Química do fruto *in natura* da caferana

	Média ± DP
Umidade (%)	70,33 ± 1,11
pH	5,40 ± 0,06
Sólidos Soluveis totais (°Brix)	23,00 ± 2,22

O fruto de *Bunchosia glandulifera* apresentou umidade de 70,33%, valor considerado elevado e típico de frutas, conforme a faixa de 65 a 95% descrita por Cecchi (8). Esse resultado foi ligeiramente superior ao reportado por Lima et al. (9), que encontraram 68,74%e por Borguini et al. (10) que encontraram 65% de umidade para a caferana. A determinação da umidade é um parâmetro fundamental na análise de frutas, uma vez que o teor de água influencia diretamente etapas como processamento, estocagem e definição das condições de embalagem, impactando a conservação e a qualidade final do produto.

Em relação ao pH, a caferana apresentou valor de 5,40, próximo ao observado por Lima et al. (9), que relataram pH de 5,70. Esse resultado indica baixa acidez, o que favorece a aceitação sensorial do fruto, mas ao mesmo tempo pode reduzir sua estabilidade microbiológica, exigindo maior atenção nos processos de conservação e processamento.

O teor de sólidos solúveis totais (SST) foi de 23 °Brix, valor considerado elevado quando comparado a outros frutos nativos e superior ao descrito por Lima et al. (9). Essa característica está associada ao maior conteúdo de açúcares, conferindo ao fruto sabor adocicado e agradável, o que aumenta sua atratividade para o consumo *in natura*. Além disso, elevados teores de SST representam uma vantagem tecnológica, pois reduzem a necessidade de adição de açúcares em produtos derivados, como sucos, geleias, néctares e bebidas fermentadas, agregando valor comercial e nutricional. Dessa forma, o alto valor de SST da caferana constitui um diferencial importante, tanto para o consumo direto quanto para o desenvolvimento de novos produtos agroindustriais.

Na Tabela 3. encontra-se os valores dos compostos bioativos, teores de fenólicos totais, carotenoides totais e licopeno.

Tabela 3. Teores de fenólicos, carotenoides e licopeno no fruto *in natura* da caferana

	Média ± DP

Fenólicos Totais (mg de AGE /100g de polpa)	203,62 ± 5,58
Carotenoides (mg/100g)	37,20 ± 0,08
Licopeno (mg/100g)	30,40 ± 0,45

O teor de fenólicos totais obtido neste estudo apresentou-se inferior ao reportado por Bellaver et al. (10), que observaram valores de 802,00. Por outro lado, o teor de carotenoides foi semelhante ao descrito por Bellaver et al. (10) para frutos de caferana maduros (vermelhos), porém inferior ao encontrado por Borguini et al. (10), que relataram 40 mg/100 g, dos quais 81,72% correspondem ao licopeno (30,40 mg/100 g).

Dessa forma, os resultados evidenciam que a caferana é uma fonte expressiva de licopeno, apresentando concentrações quase dez vezes superiores às do tomate (3,5 mg/100 g), considerado um dos principais alimentos ricos nesse carotenoide (11).

Os resultados da análise instrumental de cor do fruto *in natura* da caferana estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Análise instrumental de fruto *in natura* da caferana

	Média ± DP
L*	5,83 ±1,12
a*	7,89 ±0,89
b*	3,22 ± 0,17

A análise instrumental de cor demonstrou valores médios de L* de 5,83, indicando baixa luminosidade e confirmando a característica visual do fruto, que apresenta coloração mais escura e intensa. O parâmetro a* apresentou valor positivo (7,89), evidenciando predominância de tons avermelhados, enquanto o valor de b* (3,22) também positivo, embora em menor intensidade, indica a presença de tonalidades amareladas.

Esses resultados revelam que a caferana possui coloração fortemente direcionada para o vermelho, característica relacionada à elevada concentração de carotenoides, principalmente o licopeno, como observado nos teores determinados neste estudo. Esse perfil cromático é relevante, pois a intensidade da cor está diretamente associada ao apelo sensorial do fruto e pode ser utilizada como indicador indireto do conteúdo de compostos bioativos, sobretudo antioxidantes.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos evidenciam que a *Bunchosia glandulifera* (caferana) é um fruto de pequeno porte, com baixo rendimento de polpa, mas com elevado valor nutricional. Destaca-se pelo alto teor de sólidos solúveis, sabor adocicado e, principalmente, pela expressiva concentração de carotenoides, em especial o licopeno, em níveis superiores aos encontrados em frutos tradicionalmente reconhecidos como fontes desse composto, como o tomate. Além disso, sua coloração avermelhada intensa confirma a presença desses bioativos, reforçando o potencial da caferana tanto para o consumo *in natura* quanto para aplicações agroindustriais e funcionais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos, pelo suporte institucional, infraestrutura disponibilizada e incentivo à pesquisa, que foram fundamentais para o desenvolvimento deste estudo.

REFERÊNCIAS

1. Fraga Silva SS. Obtenção de extratos de sementes de caferana (*Bunchosia glandulifera*) com tecnologias supercrítica e subcrítica. [Tese de doutorado]. [S.l.]; 2020.

2. Blank DE, Fraga S, Bellaver M, Santos CEI, Dias JF, Costa LAMA, Neusa. Proximate Composition, Nutrient Mineral and Fatty Acid of the *Bunchosia glandulifera* Fruit. *Journal of Food and Nutrition Research*. 2017;5(8):575–578. doi:10.12691/jfnr-5-8-7.

3. Fraga S, et al. Extração sequencial de alta pressão de cafeína e compostos bioativos de sementes de caferana (*Bunchosia glandulifera*). *The Journal of Supercritical Fluids*. 2020;165:104958.

4. Blank DE, Justen D, Fraga S, Peixoto CR, de Moura NF. Composição química e atividade antioxidante do fruto de *Bunchosia glandulifera* em diferentes estádios de maturação. *Ciências da Alimentação e Nutrição*. 2018;9(10):1147–1159.

5. Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. Zenebon O, Pascuet NS, Tiglea P, coordenadores. 4ª ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz; 2008. 1ª ed. digital.

6. Swain T, Hills WE. The phenolic constituents of Prunus domestica. I. Quantitative analysis of phenolic constituents. J Sci Food Agric. 1959;19(1):63-8.

7. Vinha AF, Alves RC, Barreira SV, Castro A, Costa AS, Oliveira MBP. Effect of peel and seed removal on the nutritional value and antioxidant activity of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruits. *LWT - Food Science and Technology*. 2014;55(1):197–202.

8. Cecchi HM. Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos. Campinas: Unicamp; 1999. 212 p.

9. Lima NP, Tempo DWCB, Silva AM, Lopes ACCB. *Prática e pesquisa em ciência e tecnologia de alimentos 4*. Ponta Grossa (PR): Atena; 2020. Study of the fruit sphere Café-do-Amazonas (*Bunchosia glandulifera*): physical-chemical characterization and technological proposals for use.

10. Bellaver M, Fraga S, Koch DT, Carvalho DG, Blank DE, Peixoto CRM, Moura NF. Efeito dos estádios de maturação nos compostos bioativos da fruta *Bunchosia glandulifera*. In: XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos; 2016; Gramad0, RS.

11. Borguini RG, Pacheco S, Santiago MCP de A, Jesus MSC, Silva LHS, Godoy RLO. Nutritional composition of caferana (*Bunchosia armeniaca*) fruit: a rich source of lycopene. *Diversitas Journal*. 2022;7(4):2297–2304.

Capítulo 06

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-06

INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO CERVEJEIRO EM HAMBÚRGUERES DE FRANGO: CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

Yanara Gomes de Oliveira*; Kenia Alves Pereira ;Francisco Bruno Ferreira de Freitas; Thalison Gustavo da Costa Antunes; Deborah Margarida Pereira Januário; José Nildo Vieira Deodato; Alfredina dos Santos Araújo

**yanaragoliveira@gmail.com*

Resumo: O presente estudo avaliou o desenvolvimento de hambúrgueres de frango enriquecidos com farinha de resíduo cervejeiro, principal resíduo do setor cervejeiro, como alternativa para agregar valor nutricional e promover sustentabilidade. O objetivo foi investigar o efeito da substituição parcial de carne e gordura por diferentes níveis de farinha (0%, 3%, 6% e 9%) sobre as características físico-químicas do produto durante 120 dias de armazenamento congelado. O resíduo foi coletado em cervejaria local, processado em farinha e incorporado às formulações, analisadas quanto a pH, acidez, umidade, cinzas, proteínas, lipídios e fibras, com dados submetidos a ANOVA e teste de Tukey ($p < 0,05$). Os hambúrgueres com farinha apresentaram redução gradual do pH e aumento de acidez ao longo do tempo, mas mantiveram valores adequados para estabilidade. Houve um aumento significativo de fibras e minerais, redução de lipídios e maior retenção de umidade, resultando em perfis nutricionais mais saudáveis. O teor proteico permaneceu acima do mínimo legal, com destaque para a formulação de 6% (HF6), que apresentou melhor equilíbrio entre enriquecimento e manutenção da qualidade. Conclui-se que a utilização de resíduo cervejeiro em hambúrgueres de frango é uma estratégia viável, sustentável e promissora para a indústria de alimentos, favorecendo inovação, redução de impactos ambientais e valorização de coprodutos.

Palavras–chave: bagaço de malte; fibras alimentares; produtos cárneos; sustentabilidade

INTRODUÇÃO

A busca por alimentos que unam conveniência, qualidade nutricional e menor impacto ambiental tem impulsionado a adoção de práticas sustentáveis na indústria de alimentos. Nesse cenário, a valorização de resíduos agroindustriais tem ganhado destaque como estratégia para reduzir impactos ambientais e agregar valor a novos produtos (1,2). O reaproveitamento de subprodutos, quando realizado de forma tecnicamente adequada, possibilita não apenas a redução do descarte, mas também a criação de alimentos com maior apelo funcional e mercadológico (3).

No setor cervejeiro, o resíduo sólido mais abundante é o bagaço de malte (*brewer's spent grain* – BSG), gerado durante a mosturação. Estima-se que o Brasil produza milhões

de toneladas anuais desse coproduto, sendo a maior parte destinada à alimentação animal ou ao descarte inadequado (4,5). Sua composição rica em fibras insolúveis, proteínas e minerais o torna um ingrediente promissor para formulações alimentícias mais nutritivas e sustentáveis (6). Nos últimos anos, diferentes pesquisas têm explorado a aplicação do resíduo cervejeiro em formulações inovadoras, como pães, barras de cereais e produtos cárneos processados, confirmando seu potencial tecnológico e nutricional (7,8).

Além do aspecto ambiental, a utilização de resíduos como ingredientes alimentícios dialoga diretamente com os princípios da economia circular, na qual coprodutos retornam à cadeia produtiva em forma de novos insumos. Essa prática contribui para a redução do desperdício, otimiza recursos e amplia a competitividade das indústrias que investem em soluções inovadoras. Nesse contexto, o BSG surge como alternativa estratégica, pois alia disponibilidade em larga escala, baixo custo e benefícios nutricionais capazes de atender às demandas de consumidores cada vez mais atentos à origem e aos impactos dos alimentos que consomem (9).

As tendências atuais de mercado também apontam para um crescimento significativo na procura por alimentos funcionais e com alegações de saúde, especialmente aqueles que oferecem benefícios como maior teor de fibras, redução de gordura e presença de compostos bioativos. Produtos cárneos reformulados, como hambúrgueres enriquecidos com ingredientes alternativos, têm recebido destaque por aliar praticidade de consumo com melhorias nutricionais. Nesse cenário, a incorporação do resíduo cervejeiro em hambúrgueres de frango não apenas promove ganhos tecnológicos e nutricionais, mas também fortalece o apelo sustentável junto ao consumidor, que tende a valorizar produtos com menor impacto ambiental (10,11).

Os produtos cárneos reestruturados, como os hambúrgueres, representam uma matriz viável para a incorporação de novos ingredientes. A incorporação do resíduo cervejeiro tem demonstrado resultados positivos tanto na melhoria do perfil nutricional, especialmente em fibras e minerais, quanto na redução de lipídios e na percepção de sustentabilidade pelo consumidor (12–14). Paralelamente, a carne de frango destaca-se como uma das proteínas mais consumidas no Brasil, com produção superior a 14 milhões de toneladas em 2024 e presença em cerca de 64% destinada ao mercado interno. Essa relevância consolida o frango como matéria-prima estratégica para o desenvolvimento de produtos inovadores e de amplo alcance de consumo (15–17).

Dessa forma, a utilização de farinha de resíduo cervejeiro em hambúrgueres de frango representa uma oportunidade de aliar inovação tecnológica, ganhos nutricionais e redução de impactos ambientais. Este estudo teve como objetivo desenvolver hambúrgueres de frango enriquecidos com farinha de bagaço de malte, avaliando suas características físico-químicas durante o armazenamento, a fim de verificar sua viabilidade como produto inovador e sustentável.

MATERIAL E MÉTODOS

MATÉRIAS-PRIMAS E OBTENÇÃO DA FARINHA

O resíduo cervejeiro do tipo pilsen foi coletado em cervejaria local, lavado, seco em estufa de circulação de ar a 65 °C por 24 h e moído em moinho de facas para obtenção da farinha. A carne utilizada foi peito de frango (sem pele e osso), adquirida de fornecedores locais, transportada sob refrigeração e mantida a 4 °C até o processamento. Foram utilizados cerca de 2 kg de carne por ensaio, divididos em porções menores para facilitar a manipulação

e reduzir riscos de contaminação. Todos os utensílios e equipamentos foram higienizados com solução de hipoclorito de sódio a 200 mg/L (18).

FORMULAÇÕES DOS HAMBÚRGUERES

Foram elaboradas quatro formulações (HF0, HF3, HF6 e HF9), contendo 0%, 3%, 6% e 9% de farinha de resíduo cervejeiro (Tabela 1), respectivamente, em substituição parcial à carne de frango e à gordura suína, seguindo a metodologia adaptada de Melo e Clerici (19). As formulações foram padronizadas quanto aos condimentos, moldadas em porções de 100 g e armazenadas a –18 °C até as análises (Figura 1). A formulação sem adição de farinha (HF0) foi utilizada como controle.

Tabela 1 - Formulações dos hambúrgueres elaborados com diferentes concentrações de farinha de resíduo cervejeiro

Matéria-prima e ingredientes	**Formulações (%)**			
	HF0	**HF3**	**HF6**	**HF9**
Carne de frango	65,5	58,0	50,0	42,0
Gordura suína	20,0	17,0	14,0	11,0
Farinha do resíduo cervejeiro	0	3	6	9
Sal refinado	1,6	1,6	1,6	1,6
Cebola batida *in natura*	1,6	1,6	1,6	1,6
Alho batido *in natura*	1,5	1,5	1,5	1,5
Alecrim desidratado	0,10	0,10	0,10	0,10
Pimenta do reino em pó	0,10	0,10	0,10	0,10
Orégano desidratado	0,10	0,10	0,10	0,10
Água gelada	9,5	17,0	25,0	33,0
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

As amostras cruas foram avaliadas em triplicata quanto a:

- Potencial hidrogeniônico (pH)

Determinado através do pHmetro de bancada, seguindo o método 017/IV do Instituto Adolfo Lutz (20).

- Acidez total titulável

Análises realizadas por titulometria de neutralização, seguindo o método 016/IV do Instituto Adolfo Lutz (20).

- Teor de umidade

Determinado através do método de secagem em estufa a 105 °C, de acordo com a metodologia 012/IV do Instituto Adolfo Lutz (20).

- Teor de cinzas

Determinado segundo o método 018/IV do Instituto Adolfo Lutz (20).

- Proteínas

Determinado através do método Kjeldahl, 036/IV descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (20).

- Lipídios

Determinado por extrator de Soxhlet, seguindo o método descrito 033/IV do Instituto Adolfo Lutz (20).

- Fibras

Determinado pela digestão ácido-base descrito pela AOAC (21), com modificações feitas por Pontes Júnior (22).

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey, considerando nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

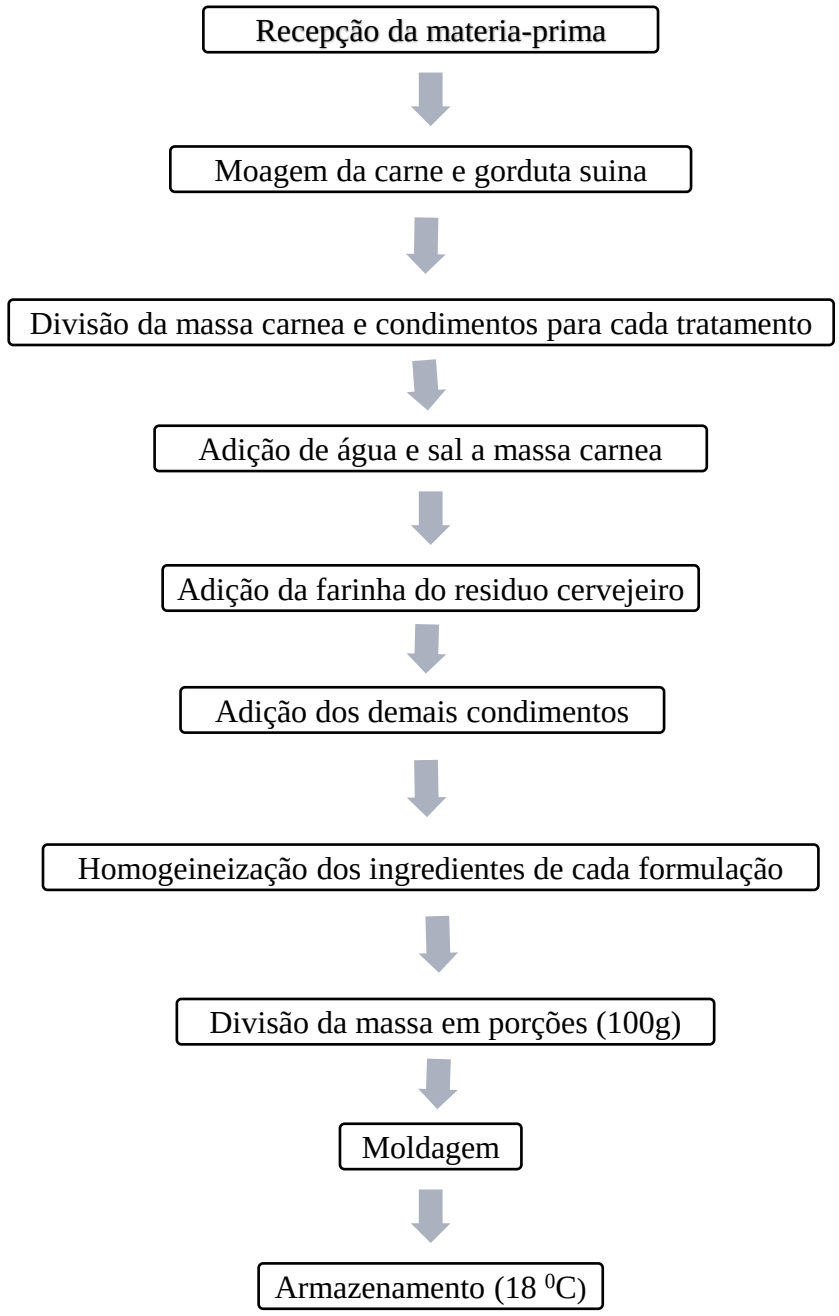


Figura 1- Fluxograma da produção dos hamburgueres de frango adicionado de farinha obtida do resíduo cervejeiro

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização físico-química das formulações de hambúrgueres de frango permitiu avaliar os efeitos da adição de farinha de resíduo cervejeiro na composição e estabilidade do produto. Os resultados obtidos para pH, acidez, umidade, cinzas, proteínas, lipídios e fibras, sendo discutidos em função dos diferentes níveis de substituição (0%, 3%, 6% e 9%) e do tempo de armazenamento.

Tabela 2 - Resultados para o parâmetro de pH dos hambúrgueres de frango adicionado de farinha de resíduo cervejeiro

Formulação	HFC	HF3	HF6	HF9
T0	$6,33^{aA}\pm0,11$	$6,26^{aA}\pm0,11$	$6,36^{aA}\pm0,30$	$6,60^{cA}\pm0,01$
T30	$6,26^{abAB}\pm0,11$	$5,96^{abB}\pm0,28$	$6,20^{dA}\pm0,22$	$6,43^{aA}\pm0,35$
T60	$5,93^{bcA}\pm0,04$	$5,86^{bcA}\pm0,11$	$6,03^{abA}\pm0,05$	$6,03^{bA}\pm0,05$
T90	$5,67^{cA}\pm0,08$	$5,53^{cA}\pm0,22$	$5,70^{bcA}\pm0,02$	$5,53^{cA}\pm0,05$
T120	$5,30^{dA}\pm0,25$	$5,52^{cA}\pm0,04$	$5,59^{cA}\pm0,03$	$5,43^{cA}\pm0,09$

Valores seguidos pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e letras minúsculas na vertical não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% ($p<0,05$) de probabilidade.

Os valores de pH apresentaram declínio progressivo durante o armazenamento (Tabela 2). No tempo inicial (T0), as formulações mostraram valores semelhantes, mas após 120 dias (T120), a amostra HF6 manteve o maior pH, enquanto HF3 aproximou-se do ponto isoelétrico das proteínas miofibrilares (5,2–5,3). Resultados similares foram descritos em produtos cárneos, com valores entre 5,76 e 5,90 (11). Valores acima do ponto isoelétrico favorecem a capacidade de retenção de água (CRA), reduzindo perdas durante o descongelamento. A queda observada ao longo do tempo pode estar associada à degradação de carboidratos fermentáveis presentes na farinha do resíduo cervejeiro, resultando na formação de ácidos orgânicos, como o lático e o acético (23). Além disso, a presença de microrganismos residuais do processo cervejeiro, ainda que inativos inicialmente, pode ser reativada em condições favoráveis de umidade e armazenamento, contribuindo para a queda do pH. Ainda assim, todas as formulações mantiveram-se dentro da faixa ideal (5,3–5,5), considerada adequada para estabilidade microbiológica e propriedades tecnológicas (24).

Tabela 3 - Resultados para o parâmetro de acidez dos hamburgueres de frango adicionado de farinha de resíduo cervejeiro

Formulação	HFC	HF3	HF6	HF9
T0	$2,20^{dA}\pm0,01$	$2,13^{dB}\pm0,17$	$2,20^{bA}\pm0,03$	$2,10^{dB}\pm0,30$
T30	$2,46^{cdA}\pm0,05$	$2,26^{cdA}\pm0,20$	$2,50^{aA}\pm0,02$	$2,40^{aB}\pm0,05$
T60	$2,50^{bcA}\pm0,01$	$2,50^{bcA}\pm0,01$	$2,53^{aA}\pm0,05$	$2,40^{aA}\pm0,09$
T90	$2,76^{bA}\pm0,25$	$2,60^{abA}\pm0,11$	$2,60^{aA}\pm0,30$	$2,30^{abAB}\pm0,01$
T120	$3,10^{aA}\pm0,10$	$2,86^{aA}\pm0,23$	$2,60^{aB}\pm0,20$	$2,50^{aA}\pm0,05$

Valores seguidos pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e letras minúsculas na vertical não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% ($p<0,05$) de probabilidade.

Ao longo do armazenamento, foi observado um aumento progressivo da acidez em todas as formulações de hambúrgueres de frango (Tabela 3), comportamento esperado em produtos cárneos devido à degradação de carboidratos e consequente formação de ácidos orgânicos. As formulações com maior teor de farinha de resíduo cervejeiro apresentaram acréscimos mais expressivos, o que pode estar relacionado à presença de açúcares fermentáveis no resíduo cervejeiro. Segundo Jay *et al*. (25), o aumento da acidez contribui para a estabilidade microbiológica, embora valores elevados possam comprometer características sensoriais. Verificou-se uma correlação inversa e significativa entre os valores de pH (Tabela 2) e o teor de acidez: à medida que o pH diminuiu, a acidez aumentou, conforme o esperado. Contudo, a formulação controle (sem adição de resíduo) apresentou os maiores teores de acidez ao final do armazenamento. Este resultado pode ser atribuído à alta capacidade de retenção de água da farinha de resíduo cervejeiro, que dilui os ácidos formados, reduzindo sua percepção – mesmo em condições de pH reduzido. Na formulação controle, a menor retenção hídrica resultou em maior concentração de ácidos, refletindo em acidez mais elevada.

Tabela 4 - Resultados para o parâmetro de umidade dos hamburgueres de frango adicionado de farinha de resíduo cervejeiro

Formulação	HFC	HF3	HF6	HF9
T0	$58,73^{aD}\pm0,32$	$63,49^{aC}\pm0,17$	$67,23^{aB}\pm0,67$	$69,84^{aA}\pm2,45$
T30	$61,97^{aD}\pm0,39$	$63,96^{aC}\pm0,54$	$68,06^{aB}\pm0,34$	$70,49^{aA}\pm1,96$
T60	$61,69^{aD}\pm0,59$	$65,36^{aC}\pm0,25$	$68,58^{aB}\pm0,30$	$71,69^{aA}\pm0,85$
T90	$61,34^{aD}\pm2,37$	$65,74^{aC}\pm0,40$	$68,90^{aB}\pm0,08$	$71,97^{aA}\pm0,50$
T120	$62,86^{aD}\pm0,25$	$64,02^{aC}\pm1,26$	$68,94^{aB}\pm0,70$	$72,45^{aA}\pm0,13$

Valores seguidos pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e letras minúsculas na vertical não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% ($p<0,05$) de probabilidade.

Os resultados de umidade (Tabela 4) demonstraram uma redução gradual durante o armazenamento, reflexo natural da perda de água livre. No entanto, as formulações com adição de farinha de resíduo cervejeiro (HF3, HF6 e HF9) apresentaram maior retenção de umidade em comparação ao controle, o que é atribuído à capacidade higroscópica das fibras presentes no resíduo. Esse efeito é positivo, pois contribui para uma textura mais macia e menor perda de peso após o descongelamento, conforme observado em estudos anteriores (26). Conforme esperado, o teor de umidade aumentou proporcionalmente à concentração de farinha adicionada, uma vez que a quantidade de água incorporada foi maior em cada formulação. Foi observada diferença significativa ($p < 0,05$) entre as formulações, mas não ao longo do tempo para uma mesma formulação, indicando que a umidade se manteve estável até os 90 dias de armazenamento. Isso sugere que a umidade não foi um parâmetro significativamente afetado pelo tempo de armazenamento neste produto, graças à capacidade da farinha de resíduo cervejeiro de absorver e reter a água adicionada, mesmo após o descongelamento. Embora o congelamento reduza significativamente a velocidade das reações químicas, ele também pode induzir alterações na composição centesimal do produto (27). No presente estudo, no entanto, a adição do resíduo cervejeiro mostrou-se eficaz na manutenção da estabilidade da umidade, contribuindo para a qualidade do hambúrguer durante o armazenamento congelado.

Tabela 5 - Resultados para o parâmetro de cinzas dos hamburgueres de frango adicionado de farinha de resíduo cervejeiro

Formulação	HFC	HF3	HF6	HF9
T0	$2,79^{aA}\pm0,02$	$2,73^{aA}\pm0,08$	$2,83^{aA}\pm0,09$	$2,75^{aA}\pm0,11$
T30	$2,73^{aA}\pm0,05$	$2,64^{aA}\pm0,01$	$2,75^{aA}\pm0,08$	$2,74^{aA}\pm0,04$
T60	$2,62^{abA}\pm0,16$	$2,57^{aA}\pm0,04$	$2,72^{abA}\pm0,03$	$2,60^{abA}\pm0,09$
T90	$2,42^{bAB}\pm0,04$	$2,55^{aA}\pm0,22$	$2,63^{abA}\pm0,14$	$2,39^{bcAB}\pm0,05$
T120	$2,07^{cB}\pm0,11$	$2,26^{bB}\pm0,04$	$2,47^{bA}\pm0,09$	$2,15^{cB}\pm0,32$

Valores seguidos pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e letras minúsculas na vertical não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% ($p<0,05$) de probabilidade.

O teor de cinzas, indicador do conteúdo mineral, apresentou variação conforme o nível de substituição pela farinha de resíduo cervejeiro (Tabela 5). Como esperado, os valores foram superiores nas formulações enriquecidas, refletindo diretamente o aporte mineral proporcionado pelo resíduo, rico em elementos como cálcio, fósforo e magnésio (28). No tempo inicial (dia 0), não foram observadas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as formulações, mas constatou-se um aumento claro e proporcional do teor de cinzas com a concentração de farinha adicionada. Ao longo do armazenamento, registrou-se uma redução gradual nos teores de cinzas em todas as formulações. Este comportamento pode ser atribuído ao concomitante aumento da umidade (Tabela 4), que promove a diluição dos componentes sólidos, incluindo os minerais. Apesar dessa redução, ao final do período de estudo, a formulação com 9% de farinha (HF9) ainda apresentou teor de cinzas significativamente superior ao da formulação controle (HFC). Este resultado demonstra que, mesmo com o efeito de diluição, a adição do resíduo foi capaz de elevar o conteúdo mineral final do produto. Os dados obtidos assemelham-se aos de Jorge *et al*. (29), que observaram aumento proporcional de cinzas com a adição de farinha de pequi em hambúrgueres de frango, e diferem dos relatados por Sousa *et al*. (30) em sistema de substituição de gordura por farinha de cajá. Os resultados confirmam que a farinha de resíduo cervejeiro é um ingrediente eficaz para o enriquecimento mineral de hambúrgueres, sem comprometer a estabilidade do produto durante o armazenamento.

Tabela 6 - Resultados para o parâmetro de proteína dos hamburgueres de frango adicionado de farinha de resíduo cervejeiro

Formulação	HFC	HF3	HF6	HF9
T0	$40,51^{aA}\pm0,01$	$43,33^{aB}\pm3,23$	$41,33^{aA}\pm2,70$	$37,91^{aC}\pm0,72$
T30	$40,30^{aAB}\pm0,98$	$43,23^{aA}\pm0,91$	$40,76^{bA}\pm0,73$	$34,95^{abC}\pm0,01$
T60	$39,93^{aBC}\pm2,50$	$42,25^{aA}\pm0,03$	$40,20^{bcA}\pm0,27$	$31,42^{bcB}\pm0,05$
T90	$35,71^{bB}\pm0,81$	$41,23^{aA}\pm0.45$	$37,00^{bcB}\pm0,88$	$27,62^{cC}\pm0,14$
T120	$34,22^{bB}\pm0,63$	$35,18^{bB}\pm0,19$	$36,69^{cBC}\pm0,53$	$29,92^{cC}\pm0,17$

Valores seguidos pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e letras minúsculas na vertical não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% ($p<0,05$) de probabilidade.

O teor de proteínas variou entre as formulações ao longo do armazenamento (Tabela 6), todas acima do limite de 15% exigido pelo Padrão de Identidade e Qualidade (PIQ). Embora se esperasse aumento proporcional com a adição da farinha de resíduo cervejeiro, a HF3 apresentou o maior valor inicial, enquanto a HF9 registrou o menor, em função do maior acréscimo de água nas formulações com mais farinha. Após 120 dias, destacou-se a HF6, com teor proteico superior ao controle, indicando melhor equilíbrio entre adição do

ingrediente e manutenção do valor nutricional. Todas as formulações apresentaram declínio no teor de proteínas ao longo do tempo, atribuído à redução do pH, que favorece a oxidação e desestabilização das proteínas miofibrilares, além de possíveis processos de hidrólise proteica. Esses achados corroboram parcialmente a literatura (31) e confirmam o potencial da farinha de resíduo cervejeiro, sobretudo na concentração de 6%, como alternativa viável para enriquecer nutricionalmente hambúrgueres de frango sem comprometer os padrões de identidade e qualidade.

Tabela 7 - Resultados para parâmetro de lipídeos dos hambúrgueres de frango adicionado de farinha de resíduo cervejeiro

Formulação	HFC	HF3	HF6	HF9
T0	$14,03^{aA}\pm4,98$	$11,95^{aA}\pm0,96$	$5,06^{aB}\pm1,06$	$6,30^{aB}\pm1,56$
T30	$12,33^{aA}\pm0,43$	$11,95^{aA}\pm0,96$	$4,24^{aB}\pm0,18$	$4,46^{abA}\pm0,47$
T60	$7,49^{bA}\pm1,50$	$6,60^{bA}\pm0,15$	$4,81^{aA}\pm0,62$	$2,92^{abB}\pm1,62$
T90	$3,99^{bA}\pm0,28$	$2,66^{bA}\pm0,66$	$2,18^{aA}\pm0,03$	$2,13^{abA}\pm0,84$
T120	$3,36^{bA}\pm1,43$	$2,66^{bA}\pm2,41$	$1,76^{aA}\pm1,74$	$1,16^{bA}\pm0,69$

Valores seguidos pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e letras minúsculas na vertical não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% ($p<0,05$) de probabilidade.

O teor de lipídios reduziu-se proporcionalmente ao aumento da substituição de gordura suína pela farinha de resíduo cervejeiro (Tabela 7). A formulação HF9 apresentou o menor valor, confirmando o potencial do ingrediente para obtenção de hambúrgueres com perfil lipídico mais saudável. No tempo inicial, os teores variaram de 14% no controle para 6% em HF9, chegando ao final do armazenamento a 3% e 1,16%, respectivamente. Todas as formulações permaneceram abaixo do limite máximo de 25% estabelecido pela legislação (32). A análise estatística indicou diferença significativa entre o controle e as formulações HF6 e HF9 ($p < 0,05$), evidenciando que o efeito de redução é dose-dependente. Apesar dos desafios tecnológicos associados à menor presença de gordura, como impacto na textura, suculência e vida útil, a incorporação da farinha mostrou-se promissora para desenvolver hambúrgueres de frango mais alinhados às tendências de consumo saudável, sem comprometer a conformidade legal.

Tabela 8 - Resultados para o parâmetro de fibras dos hamburgueres de frango adicionado de farinha de resíduo cervejeiro

Formulação	HFC	HF3	HF6	HF9
T0	$12,49^{Aa}\pm2,06$	$16,21^{Aa}\pm0,70$	$16,29^{Aa}\pm0,35$	$16,77^{Aa}\pm0,03$
T30	$10,21^{Ab}\pm1,33$	$15,86^{Aab}\pm0,72$	$15,95^{Aa}\pm0,92$	$15,36^{Aa}\pm0,04$
T60	$5,40^{Bb}\pm0,86$	$15,13^{Aa}\pm1,82$	$15,32^{Aa}\pm0,27$	$15,03^{Ab}\pm0,20$
T90	$3,62^{Cb}\pm0,64$	$13,36^{Ac}\pm0,10$	$13,76^{Aa}\pm1,05$	$13,34^{ABab}\pm2,46$
T120	$3,57^{Bc}\pm0,31$	$9,55^{Bb}\pm2,22$	$9,61^{Ba}\pm0,52$	$9,51^{Bb}\pm1,03$

Valores seguidos pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e letras minúsculas na vertical não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% ($p<0,05$) de probabilidade.

A adição de farinha de resíduo cervejeiro elevou significativamente o teor de fibras dos hambúrgueres (Tabela 8), com destaque para a formulação HF9, que atingiu valores compatíveis com a alegação de “alto teor de fibra alimentar” (32). No tempo inicial, todas as formulações enriquecidas já atendiam à alegação de “alto teor de fibras” (≥5%), sem

diferenças significativas ($p < 0,05$). Embora tenha ocorrido redução gradual ao longo do armazenamento, todas permaneceram classificadas como "fonte de fibras" (≥2,5%) ao final do período. Os valores obtidos foram superiores aos relatados em outros estudos que utilizaram resíduo cervejeiro, como o de Capellezo *et al*. (33), que encontrou 2,19% em barras de cereal, e Kuiavski *et al*. (7), que observaram 5,17% em pães enriquecidos. Essa diferença pode ser atribuída ao elevado teor de fibras (14,07%) da farinha utilizada neste estudo. As fibras influenciaram positivamente a capacidade de retenção de água (CRA), como evidenciado pelos maiores valores de umidade nas formulações com maior adição de farinha. Esse efeito está relacionado à natureza higroscópica da fibra e à sua capacidade estrutural de absorver líquidos (35). A redução observada durante o armazenamento pode ser explicada por alterações estruturais decorrentes de ciclos de congelamento/descongelamento (36), hidrólise enzimática (como a ação de celulase) e excesso de umidade, fatores que tornam as fibras mais suscetíveis à degradação (37). Portanto, a farinha de resíduo cervejeiro elevou significativamente o teor de fibras dos hambúrgueres de frango, garantindo benefícios nutricionais e tecnológicos, mesmo com a redução observada ao longo do armazenamento.

CONCLUSÕES

O desenvolvimento de hambúrgueres de frango com adição de farinha obtida de resíduo cervejeiro demonstrou ser uma alternativa viável e sustentável para o aproveitamento desse subproduto agroindustrial. As análises físico-químicas evidenciaram que a incorporação da farinha influenciou positivamente o perfil nutricional das formulações, com destaque para o aumento do teor de fibras e cinzas e para a redução do teor de lipídios, atendendo às demandas de consumidores por alimentos mais saudáveis. A formulação com 6% de farinha (HF6) apresentou o melhor equilíbrio entre enriquecimento nutricional e manutenção da qualidade proteica, além de estabilidade adequada durante o armazenamento. Apesar de algumas reduções observadas ao longo do tempo, todos os parâmetros permaneceram dentro dos padrões legais, assegurando conformidade com o Padrão de Identidade e Qualidade para hambúrgueres.

Dessa forma, a utilização da farinha de resíduo cervejeiro em produtos cárneos reestruturados se mostra promissora tanto do ponto de vista tecnológico quanto ambiental, promovendo inovação na indústria de alimentos, redução de impactos ambientais e valorização de coprodutos. Estudos futuros devem contemplar análises sensoriais e de aceitação do consumidor, a fim de validar a viabilidade comercial dessa aplicação.

REFERÊNCIAS

1. Capobianco Uriarte MDLM, Cravero RA, Alfredo Regodesebes Urrutia A, Grabois M, Casado Belmonte MDP. Research trends and innovation perspectives about sustainability and agri-food 4.0. Agri-Food 4.0: Innovations, Challenges and Strategies; 2022.

2. Lordelos ADSDB, Bertacco EAM, Souza HFPS, Filippi HO, Costa LR, Mota MJD, Uliana MR. Segurança Alimentar E Sustentabilidade: Inovação E Desafios Para Sistemas De Produção Sustentável. Editora Científica Digital; 2025.

3. Galanakis CM, Cvejic J, Verardo V, Segura-Carretero A. Food use for social innovation by optimizing food waste recovery strategies. Academic Press; 2022.

4. Chetrariu A, Dabija A. Brewer's spent grains: Possibilities of valorization, a review. Applied Sciences. 2020;10(16):5619.

5. Puligundla P, Mok C. Recent advances in biotechnological valorization of brewers' spent grain. Food science and biotechnology. 2021;30(3):341-353.

6. Tombini C, de Vargas PF, Feltes MMC, Lajús CR, de Mello JMM, Dalcanton F. Centesimal, physico-chemical, bioactive and microbiological characterization of pilsen-type malt bagasse. Revista De Gestão Social E Ambiental. 2024;18(1):1-17A.

7. Kuiavski MP, Bezerra JRMV, Teixeira ÂM, Rigo M. Elaboração de pães com adição de farinha do bagaço de malte. **Brazilian Journal of Development**. 2020;6(7):53208-53221.

8. Eche V, Emenike CU, Rupasinghe HV. Nutritional Value of Brewer's Spent Grain and Consumer Acceptance of Its Value-Added Food Products. Foods. 2025;14(16):2900.

9. D'Alessandro M, Giordani B, Gottardi D, Amadei S, Parolin C, Siroli L, Lanciotti R. From by-products to functional food ingredients through fermentation: sustainable valorization of grape pomace and brewer's spent grains. Available at SSRN 5407723. 2025.

10. Talbert M. The Effect of Brewer's Spent Grain on Antioxidant Capacity and Bread Quality [Dissertação]. North Carolina: North Carolina Agricultural and Technical State University. 2023.

11. Chepurna O, Shtonda O. Application of brewer's spent grain in the technology of protein texturates for the meat processing industry. Scientific Journal'Animal Science & Food Technologies. 2024;15(4).

12. Curutchet A, Arcia P, Prisco F, Tarrega A. Brewer's spent grain used in fiber-enriched burgers—Influence of sustainability information on consumer responses. Sustainability. 2023;15(5):3873.

13. Naibaho J, Korzeniowska M, Sitanggang AB, Lu Y, Julianti E. Brewers' spent grain as a food ingredient: Techno-processing properties, nutrition, acceptability, and market. Trends in Food Science & Technology. 2024;152-104685.

14. Carlsson F, Kataria M, Lampi E. Sustainable food: Can information from food labels make consumers switch to meat substitutes?. Ecological Economics. 2022;201-107567.

15. Cócaro ES. Desenvolvimento de produto tipo hambúrguer de frango adicionado de linhaça dourada [Tese]. Seropédica:Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro; 2019.

16. Anual, AR. Associação Brasileira De Proteína Animal – ABPA [Internet]. São Paulo: 2025. Disponível em: https://abpa-br.org. Acesso em: 02 set. 2025.

17. Leite ERM. Explorando as tendências de consumo de carne: uma análise abrangente das dinâmicas no brasil e globalmente [Trabalho de Conclusão de Curso]. Goiânia: Pontifícia Universidade Católica de Goiá; 2024.

18. Arantes RS. Sistemas de Gestão da Segurança de Alimentos: efeitos nas condições higiênico-sanitárias de uma unidade de alimentação e nutrição [Dissertação]. Rio Pomba: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais; 2020.

19. De Melo LSM; Da Silva Clerici MTP. Desenvolvimento e avaliação tecnológica, sensorial e físicoquímica de produto cárneo, tipo hambúrguer, com substituição de gordura por farinha desengordurada de gergelim. Brazilian Journal of Food & Nutrition/Alimentos e Nutrição. 2013;24(4).

20. LUTZ IA. Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos-4ª Edição, 1ª Edição Digital. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz: 2008.

21. AOAC. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 16th ed. Arlington: AOAC International; 1997.

22. Pontes Júnior VA. Potencial genético e estabilidade de famílias de feijoeiro comum obtidas por diferentes métodos de melhoramento [Dissertação]. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2012.

23. Da Silva Nascimento MH, Silva VRO, Silva MHL, Júnior AAB, Da Rocha Campos AN, Da Cunha SDFV. Elaboração e Avaliação da Composição Centesimal de Produto Cárneo Bovino Adicionado de Farinha de Bagaço de Malte. Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. 2021;2(8):1-15.

24. Feiner G. Meat products handbook: Practical science and technology. Elsevier, 2006.

25. Jay JM, Loessner MJ, Golde DA. Modern food microbiology. Boston, MA: Springer US, 2005.

26. Manassi CF. Tendências em produtos cárneos funcionais e suas implicações na saúde humana [Trabalho de Conclusão de Curso] Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina; 2021.

27. Colla LM, Prentice-Hernández C. Congelamento e descongelamento–sua influência sobre os alimentos. Vetor-Revista de Ciências Exatas e Engenharias. 2003;13:53-66.

28. Mussatto SI, Dragone G, Roberto IC. Brewers' spent grain: generation, characteristics and potential applications. Journal of cereal science. 2006;43(1):1-14.

29. Jorge JKS, Schmiele M, Verde KV, Gonçalves BNA, Cardoso GP, Andrade MPD. Caracterização de hambúrguer de frango elaborado com farinha de pequi. Research, Society and Development. 2022;11(3).

30. Santos JRSDS, Sousa R. Aspectos de qualidade de hambúrgues de frango com substituição parcial de gordura por farelo do resíduo de cajá (SPONDIAS MOMBIN L.). Revista Brasileira de Agrotecnologia. 2018;8(3).

31. Santos EDN. Incorporação de extrato de resíduo agroindustrial de acerola em embalagem biodegradável e seu efeito sobre a qualidade de hambúrguer bovino [Dissertação]. Bananeiras: Universidade Federal da Paraíba: 2020.

32. Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução RDC nº 54, de 12 de novembro de 2012. Regulamento Técnico sobre Informação Nutricional Complementar. Diário Oficial da União. 2012 nov 12; Seção 1.

33. Capelezzo L, Agnol JD, Tombini C, Godoy JS, Onofre SB, Junior FRDSM, Dalcanton F. Elaboração e avaliação físico-química de uma barra de cereal utilizando resíduo cervejeiro. Brazilian Journal of Health Review. 2020;3(3):5107-5121.

34. Ozyurt VH, Ötles S. Effect of food processing on the physicochemical properties of dietary fibre. Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria. 2016;15(3):233-245.

35. Cheng H, Jung EY, Song S, Kim GD. Effect of freezing raw meat on the physicochemical characteristics of beef jerky. Meat Science. 2023;197:109082.

36. Ma Q, Ma Z, Wang W, Mu J, Liu Y, Wang J, Sun J. The effects of enzymatic modification on the functional ingredient-Dietary fiber extracted from potato residue. Lwt. 2022;153:112511.

Capítulo 07

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-07

O FOGO NO CERRADO GOIANO: REVISÃO DOS IMPACTOS ECOLÓGICOS E ESTRATÉGIAS DE MANEJO INTEGRADO

Lidiane Machado Dionizio*; Valeska Cristina de Sousa Silva de Assis; Matheus Carneiro Heinzelmann; Natália Veleda Duailibe; Renato Dusmon Vieira; Flivia Fernandes de Jesus Souza; Ademilson Coneglian

**Autor correspondente (Corresponding author) – Email: lidiane.dionizio@aluno.ueg.br*

Resumo: O fogo é um fator ecológico intrínseco à formação e manutenção do Cerrado, atuando como um agente de seleção natural que moldou a biodiversidade do bioma ao longo de milênios. No entanto, mudanças no regime de fogo, principalmente devido à ação antrópica, têm alterado sua função, transformando-o de fator ecológico em agente de degradação. Esta revisão de literatura tem como objetivo sintetizar os conhecimentos científicos sobre os efeitos do fogo nos componentes bióticos e abióticos do Cerrado goiano. A análise da literatura demonstra que a resposta do ecossistema é fortemente influenciada pela frequência, intensidade e sazonalidade das queimadas. Enquanto o fogo prescrito em regimes adequados pode manter a aberta das fitofisionomias e estimular a rebrota e floração de diversas espécies, incêndios frequentes e de alta intensidade na estação seca promovem a simplificação da vegetação, perda de biodiversidade, alterações negativas nas propriedades do solo e ameaçam os recursos hídricos, especialmente nas veredas. Conclui-se que a implementação do Manejo Integrado do Fogo (MIF) emerge como uma estratégia crucial para a conservação do Cerrado em Goiás, necessitando, contudo, de mais pesquisas de longa duração para aprimorar suas práticas no contexto estadual.

Palavras–chave: degradação ambiental; goiás; manejo integrado do fogo; queima prescrita; regime de incêndios

INTRODUÇÃO

O bioma Cerrado, que ocupa cerca de 22% do território nacional, é reconhecido como a savana tropical mais biodiversa do mundo e um *hotspot* de biodiversidade global (1). Sua importância ecológica transcende as fronteiras brasileiras, desempenhando funções cruciais na regulação do clima continental, na manutenção de vastos reservatórios de águas subterrâneas que abastecem importantes bacias hidrográficas - como as do Araguaia-Tocantins, São Francisco e Paraná-Paraguai - e na conservação de um patrimônio genético incalculável, com elevado grau de endemismo (2). No coração deste bioma, o estado de Goiás constitui uma das porções mais significativas e representativas do Domínio do Cerrado, abrigando em seus mais de 340 mil km² de extensão um mosaico complexo de fitofisionomias, que variam desde formações abertas como campos limpos e sujos, passando pelo cerrado *stricto sensu*, até formações florestais como matas de galeria e matas secas, intercaladas por veredas - estes últimos, ambientes que funcionam como verdadeiros oásis e corredores ecológicos na paisagem savânica (3).

A relevância do Cerrado goiano não se restringe à sua dimensão ecológica, mas estende-se à esfera socioeconômica. O bioma sustenta uma das atividades agropecuárias mais relevantes do país, sendo simultaneamente palco de tensões entre a conservação ambiental e a expansão do agronegócio (4). Esta dinâmica tem resultado em uma acelerada fragmentação de habitats, isolando remanescentes de vegetação nativa e tornando-os mais vulneráveis a distúrbios antrópicos, entre os quais se destacam os incêndios florestais (5). Neste contexto, compreender os fatores que moldam a resiliência e a estabilidade desse ecossistema torna-se necessário não apenas para a conservação da biodiversidade, mas também para a sustentabilidade das atividades humanas que dele dependem (6).

Intrinsecamente associado à evolução, à estrutura e ao funcionamento desse ecossistema, o fogo emerge como um fator ecológico fundamental e paradoxal. Por um lado, evidências paleoecológicas e biogeográficas indicam que o fogo, seja de origem natural (como raios) ou manejado por povos indígenas há milênios, foi um agente de seleção natural que moldou a fisionomia, a composição de espécies e os processos ecológicos do Cerrado (7). A flora nativa desenvolveu um notável arsenal de adaptações a este distúrbio, incluindo espessamentos suberosos no caule, sistemas radiculares profundos e massivos (xilopódios), gemas de rebrota localizadas abaixo da superfície do solo, serotinia (liberação de sementes induzida pelo calor) e até mesmo *pirophily* (estímulo à floração pós-fogo) (8). Estas adaptações não apenas permitem a sobrevivência e a rápida recuperação após a passagem do fogo, mas, em muitos casos, demonstram uma dependência direta dele para a quebra de dormência de sementes, liberação de nutrientes e controle de competidores. O regime de fogo natural historicamente predominante é caracterizado por queimadas de baixa intensidade que ocorrem predominantemente no fim da estação seca, frequentemente precedidas por chuvas esparsas que umedecem o ambiente e impedem que o fogo assuma proporções catastróficas (9).

Por outro lado, as profundas transformações antrópicas impostas à paisagem do Cerrado, especialmente nas últimas cinco décadas, têm alterado drasticamente este regime natural. A substituição da vegetação nativa por extensos monocultivos e pastagens, a construção de rodovias e o aumento da densidade populacional fragmentaram a paisagem e introduziram novas fontes de ignição, muitas vezes de origem negligente ou criminosa (10). Concomitantemente, a política de supressão total do fogo, outrora vigente, paradoxalmente contribuiu para o acúmulo excessivo de biomassa combustível em remanescentes preservados (11). A conjunção destes fatores resultou na substituição do regime de fogo natural por um novo regime, marcado por incêndios frequentes, extensos, de alta intensidade e concentrados no pico da estação seca, quando a vegetação se encontra mais vulnerável. Esta transformação converte o fogo, de um fator ecológico necessário e benéfico, em um agente de degradação, capaz de provocar perdas irreparáveis de biodiversidade, alterações negativas nas propriedades do solo, assoreamento de corpos d'água e a degradação de ecossistemas sensíveis, como as veredas (12).

É precisamente nesta interface complexa entre o fogo como força ecológica moldadora e o fogo como vetor de degradação antrópica que se insere esta revisão de literatura. Seu objetivo central é sintetizar e analisar criticamente o conhecimento científico existente sobre os efeitos do fogo no Cerrado goiano, investigando seus impactos multidimensionais e contrastantes nos componentes bióticos (vegetação e fauna) e abióticos (solo, água e atmosfera) do ecossistema.

O problema dos incêndios florestais é uma questão crítica em todo o território nacional, embora sua distribuição seja heterogênea entre os diferentes biomas. Dados recentes do programa TerraBrasilis/INPE (2025) mostram que, no período de 01 de janeiro

a 18 de setembro de 2025 (13), o bioma Cerrado foi responsável por 49.8% de todos os focos de calor detectados no país, liderando esse triste ranking e destacando a urgência de estudos e políticas de manejo específicas para esta região (Figura 1). Este trabalho concentra-se justamente na porção goiana deste bioma, que constitui uma de suas áreas nucleares mais significativas e pressionadas.

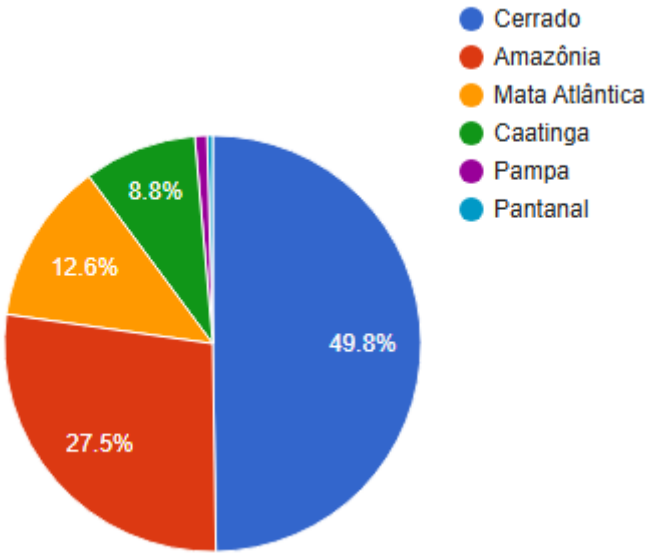


Figura 1. Distribuição percentual dos focos de calor por bioma no Brasil no período de 01/01/2025 a 18/09/2025. Fonte: TerraBrasilis/INPE (2025).

No contexto científico, esta revisão justifica-se pela necessidade de compilar, organizar e analisar criticamente as evidências específicas para a porção goiana do Cerrado. As respostas ecológicas ao fogo não são universais; elas variam regionalmente em função de diferenças edafoclimáticas, históricas de uso do solo e da composição específica de cada comunidade (14). Portanto, generalizações baseadas em estudos de outras regiões do bioma podem ser imprecisas ou mesmo enganosas. Um panorama detalhado do estado da arte para Goiás é fundamental para identificar lacunas de conhecimento, direcionar futuras pesquisas e evitar a transferência acrítica de modelos de manejo desenvolvidos em contextos ecológicos e socioeconômicos distintos.

Tecnológica e ambientalmente, este trabalho adquire relevância prática ao aspirar a fornecer subsídios fundamentais e baseados em evidências científicas sólidas para a elaboração de políticas públicas, planos de manejo de Unidades de Conservação, protocolos de prevenção e combate a incêndios, e programas de restauração ecológica. A adoção de práticas de manejo do fogo, notadamente o MIF, deixa de ser uma opção e transforma-se numa necessidade urgente frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas, que projetam um futuro com estações secas mais prolongadas e severas, potencializando o risco de incêndios incontroláveis (15). Assim, esta revisão posiciona-se como uma ferramenta crucial para informar decisões que visem à conservação efetiva e ao uso sustentável deste patrimônio natural goiano e brasileiro, garantindo a perpetuidade de seus serviços ecossistêmicos essenciais para as presentes e futuras gerações.

O CERRADO GOIANO: CARACTERIZAÇÃO E PRESSÕES

O estado de Goiás situa-se integralmente no domínio do bioma Cerrado, abrigando aproximadamente 97% de seu território recoberto por esta formação savânica, considerada a mais biodiversa do mundo em sua categoria (1). Esta unidade federativa constitui um dos principais núcleos de diversidade biológica e concentração de espécies endêmicas do bioma, posicionando-se como área prioritária para estratégias de conservação (2).

O território goiano apresenta um complexo mosaico de fitofisionomias, seguindo um gradiente edáfico e topográfico que varia desde formações campestres abertas (campos limpos e sujos), passando pelas savânicas típicas (cerrado stricto sensu), até as florestais (matas de galeria, matas secas e matas ciliares), todas intrincadamente conectadas por veredas, ambientes palmáceos úmidos dominados por *Mauritia flexuosa* L. f., que funcionam como corredores ecológicos essenciais e reservatórios de água para a manutenção da biodiversidade regional (3, 17).

A notável heterogeneidade ambiental goiana sustenta uma extraordinária diversidade florística, estimando-se a ocorrência de mais de 3.000 espécies de plantas vasculares, das quais aproximadamente 15% são endêmicas do bioma (18). A fauna igualmente se destaca pela riqueza, com registros de mais de 200 espécies de mamíferos, 800 espécies de aves e 300 espécies de peixes, muitas delas dependentes exclusivamente dos ambientes de vereda para sua sobrevivência (19, 20).

Esta notável riqueza ecológica, no entanto, enfrenta pressões antrópicas sem precedentes. A expansão acelerada do agronegócio, notadamente da soja, do milho e da pecuária extensiva, tem sido o principal motor de transformação da paisagem natural (4). Dados recentes do Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES) indicam que Goiás perdeu aproximadamente 28% de sua cobertura vegetal nativa nas últimas três décadas, com taxas anuais de desmatamento variando entre 0,8% e 1,2% (21).

Este processo de transformação territorial resulta em uma intensa fragmentação de habitats, onde os remanescentes de vegetação nativa são convertidos em ilhas isoladas em um mar de monoculturas e pastagens (5). Estudos de sensoriamento remoto demonstram que mais de 60% dos fragmentos remanescentes possuem área inferior a 50 hectares e distam mais de 500 metros de outros fragmentos, configurando um cenário crítico de isolamento (22). Este padrão de fragmentação torna as unidades de conservação particularmente vulneráveis aos efeitos de borda, à perda de diversidade genética e, crucialmente, a incêndios de grande proporção (6).

O acúmulo de biomassa seca no interior dos fragmentos isolados, associado à sua exposição a fontes de ignição provenientes das atividades agropecuárias vizinhas (como queima de lixo e de resíduos agrícolas), cria um cenário de alto risco (10). Análises temporais de séries históricas de incêndios demonstram que a frequência de ocorrência de queimadas em fragmentos menores que 100 hectares é três vezes superior à observada em áreas contínuas (22). Adicionalmente, a conectividade entre as matrizes agrícolas altamente inflamáveis durante o período seco facilita a propagação rápida do fogo, transformando incêndios pontuais em eventos catastróficos de grandes proporções (23).

A sinergia entre fragmentação habitat e mudanças climáticas globais amplifica ainda mais esta vulnerabilidade. Modelos climáticos projetam para a região centro-oeste um aumento na temperatura média de 2-3°C e uma redução de 15-20% na precipitação anual até 2050, condições que potencializam o risco de incêndios severos e frequentes (15). Este cenário coloca em risco não apenas a biodiversidade, mas também os serviços

ecossistêmicos essenciais prestados pelo Cerrado goiano, incluindo a regulação hídrica de bacias críticas como a do Araguaia-Tocantins e a manutenção de estoques de carbono equivalentes a mais de 30 bilhões de toneladas (24, 25).

O FOGO COMO FATOR ECOLÓGICO

A flora do Cerrado apresenta adaptações ecológicas especializadas ao regime de fogo, que vão além das já mencionadas cascas grossas e suberosas, sistemas radiculares profundos e gemas de rebrota localizadas abaixo do solo (xilopódios). Essas adaptações incluem:

- **Bancos de gemas subterrâneas (*below-ground bud banks*)**, que abrigam gemas protegidas no solo ou em órgãos radiculares especializados, com reservas de carboidratos que permitem rebrota rápida após danos causados pelo fogo. Estudos com espécies de Fabaceae do Cerrado mostram que os xilopódios e outros órgãos subterrâneos acumulam substâncias de reserva e têm importância funcional crítica para a regeneração pós-fogo (26).

- **Proteção das gemas e estruturas aéreas**: além de gemas subterrâneas, muitas espécies possuem gemas protegidas por casca espessa, tricomas ou pelos que cobrem brotações vulneráveis, o que diminui o dano térmico durante o evento de fogo (27).
-
- **Crescimento rápido e escape do "*fire trap*"**: árvores ou arbustos que crescem mais rapidamente conseguem atingir alturas ou diâmetros nos quais suas partes vitais ficam acima da zona de chama intensa, favorecendo sua sobrevivência (28).

- **Estrutura da casca (espessura e propriedades isolantes)**: cascas espessas e densas atuam como isolamento térmico que protege tecidos do calor e as gemas do dano direto (29).

A notável resiliência da flora do Cerrado ao fogo é resultado de um longo processo evolutivo, que selecionou um diversificado arsenal de adaptações morfológicas, fisiológicas e reprodutivas. Estas características permitem não apenas a sobrevivência individual à passagem das chamas, mas também a rápida recuperação da comunidade vegetal e a manutenção dos processos ecológicos. A tabela a seguir sintetiza os principais tipos de adaptações ao fogo identificadas na vegetação do Cerrado, ilustrando a sofisticação deste mecanismo de coevolução entre planta e distúrbio.

Tabela 1. Principais adaptações da flora do Cerrado goiano ao regime de fogo natural.

Tipo de Adaptação	Descrição	Exemplo de Espécie
Proteção de Gemas	Gemas localizadas abaixo do solo (xilopódios) ou protegidas por casca espessa	Espécies de *Fabaceae*
Isolamento Térmico	Casca espessa e suberosa que protege os tecidos vitais do calor	*Caryocar brasiliense* A.St.-Hil. (Pequi) *Tachigali paniculata* Aubl. (carvoeiro)

		Cecropia pachystachya Trécul (embaúba)
Estímulo Reprodutivo	Floração ou liberação de sementes induzida pelo calor (serotinia/pirofilia)	*Anadenanthera peregrina* L. Speg. (Angico)
Rebrota Rápida	Bancos de gemas subterrâneas com reservas de carboidratos	Gramíneas nativas

O conjunto de adaptações apresentado evidencia que o fogo é um agente seletivo intrínseco à história evolutiva do Cerrado. No entanto, é crucial destacar que a eficácia destas estratégias de sobrevivência está intrinsecamente ligada a um regime de fogo específico, caracterizado por baixa intensidade e intervalos espaçados. Quando este regime natural é alterado para incêndios frequentes e de alta intensidade, mesmo essas notáveis adaptações podem ser sobrepujadas, levando à mortalidade de plantas e à degradação do ecossistema, como detalhado na seção anterior. Portanto, a existência de espécies piroadaptadas não justifica a passividade perante os incêndios descontrolados, mas sim reforça a necessidade de um manejo que respeite a ecologia do fogo para o qual estas espécies foram selecionadas.

REGIME NATURAL DE FOGO NO CERRADO

O regime de fogo natural no Cerrado, antes da intensa intervenção humana, é caracterizado por queimadas de baixa a moderada intensidade, que ocorrem tipicamente no fim da estação seca ou nas transições seca-chuvas, e que são desencadeadas muitas vezes por raios (30). Esse regime inclui:

- Intervalos de retorno relativamente espaçados, normalmente de 3 a 8 anos para formações abertas do Cerrado, embora haja variação dependendo da vegetação, topografia e clima local (31).
- Ocorrência sazonal: os incêndios naturais tendem a se dar no fim da estação seca, quando há grande acúmulo de material combustível (gramíneas secas, matéria orgânica morta), mas ainda alguma umidade residual, reduzindo o risco de chamas muito intensas (30).
- Influência climática: a severidade do fogo aumenta quando a umidade residual do solo e da vegetação é muito baixa, especialmente no auge da estação seca (32).

COEVOLUÇÃO E IMPORTÂNCIA ECOLÓGICA

Essas adaptações apontam para uma coevolução entre plantas do Cerrado e o distúrbio incêndio ao longo de milhões de anos. Várias linhagens distintas do Cerrado desenvolveram independentemente adaptações como xilopódios, cascas espessas, formas geoxílicas e brotação a partir de gemas protegidas, indicando forte pressão seletiva imposta pelo fogo (33).

Do ponto de vista ecológico, o fogo natural desempenha múltiplas funções:

1. **Manutenção da biodiversidade**: queimadas regulares impedem o fechamento das copas, mantêm espaços para gramíneas e herbáceas e favorecem espécies adaptadas ao fogo (34).
2. **Controle de encobrimento florestal**: impede que arbustos e árvores dominantes tomem conta de formações de savana, garantindo o mosaico típico Cerrado-veredas-cerradão (35).

3. **Ciclagem de nutrientes**: o fogo altera a dinâmica do solo e da matéria orgânica, influenciando disponibilidade de fósforo, nitrogênio e outros elementos.

ALTERAÇÕES NO REGIME DE FOGO E CONSEQUÊNCIAS

Nas últimas décadas, o regime de fogo natural do Cerrado tem sido alterado por ações humanas, com:

- **Aumento da frequência de queimadas** em algumas regiões, especialmente pela prática de fogo tardio na estação seca, o que pode elevar a intensidade das chamas e aumentar a mortalidade de árvores (7, 11).
- **Queimadas fora da época natural**, especialmente no fim da seca, quando os combustíveis estão extremamente secos, elevando o risco de incêndios mais severos (36).
- **Políticas de exclusão do fogo ("zero-fire")** que, embora bem intencionadas, em muitos casos têm levado ao acúmulo de material combustível, resultando em incêndios extremos quando ocorrem (6).

Essas mudanças implicam riscos de perda de resiliência dos ecossistemas, diminuição de espécies adaptadas ao regime histórico de fogo, aumento de espécies invasoras, alterações no ciclo de nutrientes e possível promoção de transições de formação vegetal.

EFEITOS DO REGIME DE FOGO NA VEGETAÇÃO DO CERRADO

Estudos ecológicos de longa duração realizados em Unidades de Conservação goianas, como o Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, demonstram que a resposta estrutural e funcional da vegetação é diretamente e complexamente influenciada pela história de fogo do local, compreendida a partir de seu regime de fogo (frequência, intensidade, época e extensão) (10). A relação entre o fogo e a flora do Cerrado é dialética: enquanto muitas espécies evoluíram com adaptações para suportar e até depender do fogo (pirofitismo), o regime imposto pela atividade humana frequentemente difere daquele sob o qual estas espécies se adaptaram, podendo levar a alterações profundas e potencialmente degradantes no ecossistema (8, 11).

De um lado, o uso do fogo como ferramenta de manejo, na forma de queimadas prescritas realizadas em intervalos plurianuais (por exemplo, a cada 3 a 5 anos), tende a mimetizar os regimes naturais históricos. Essa prática é reconhecida por favorecer a diversidade de espécies herbáceas e subarbustivas, além de manter a fisionomia aberta típica dos cerrados *stricto sensu*. O fogo de baixa intensidade e baixa frequência remove a matéria orgânica morta, recicla nutrientes e cria clareiras que permitem a germinação de sementes e a rebrota de diversas espécies, promovendo assim a heterogeneidade ambiental e a biodiversidade (14, 37).

Em contrapartida, incêndios anuais ou bianuais, comuns em áreas de interface com zonas agrícolas onde o fogo é utilizado para limpeza de pastagens ou restolhos de lavoura, representam um regime de distúrbio frequente e de alta intensidade. Este cenário leva a uma drástica simplificação da comunidade vegetal. A seleção contínua favorece a dominância de poucas espécies pirófitas altamente especializadas, como algumas gramíneas do gênero *Melinis* e *Urochloa*, que formam um denso tapete inflamável e positivo para o fogo, criando um ciclo vicioso de queimadas (10, 6). Ecologicamente, esse regime resulta na redução crítica da biomassa aérea, na depleção dos bancos de sementes do solo e na alteração dos ciclos biogeoquímicos.

Um dos impactos mais severos é a impedição da reprodução e do recrutamento de espécies arbóreas de crescimento lento, que são a base estrutural das fisionomias mais florestais do bioma, como o cerradão. Espécies como o pequi (*Caryocar brasiliense*), símbolo do Cerrado e de imensa importância socioeconômica e cultural para o estado de Goiás, além de outras como *Tachigali paniculata* (carvoeiro) e *Cecropia pachystachya* (embaúba), são particularmente vulneráveis. Essas espécies, com suas cascas grossas, são adaptadas a resistir a fogos ocasionais, mas seu sucesso reprodutivo é comprometido por incêndios frequentes, que consomem suas plântulas e jovens antes que estas atinjam um tamanho resistente ao fogo (38), (56). A perda de tais espécies não só empobrece a biodiversidade, mas também impacta diretamente a fauna que delas depende e as comunidades humanas que utilizam seus frutos para subsistência e geração de renda.

Portanto, a gestão do fogo em áreas protegidas do Cerrado deve ser pautada pelo entendimento científico de que o fogo não é inerentemente bom ou mau, mas um agente ecológico cujos efeitos são determinados pelo seu regime. A implementação de programas de Queima Prescrita, baseados em pesquisas locais, surge como a estratégia mais adequada para conciliar a conservação da biodiversidade característica das savanas com a necessidade de se evitar grandes incêndios catastróficos (14, 11).

A resposta do ecossistema do Cerrado ao fogo não é uniforme, mas profundamente influenciada pelo regime de incêndios um conceito que engloba a frequência, a intensidade e a sazonalidade com que o fogo ocorre. Como demonstrado ao longo desta revisão, a mesma força ecológica que mantém a biodiversidade e a estrutura da savana sob parâmetros naturais pode se tornar um agente de degradação quando esse regime é alterado pela ação antrópica. Para sintetizar e contrastar claramente esses efeitos antagônicos, a Tabela 1 apresenta um comparativo sistemático dos impactos gerados por um regime de fogo prescrito, de baixa intensidade, frente aos danos causados por incêndios frequentes e de alta intensidade.

Tabela 2. Dualidade do fogo no Cerrado: impactos contrastantes do manejo prescrito versus incêndios frequentes.

Característica	Fogo Prescrito (Baixa Intensidade, Baixa Frequência)	Incêndios Frequentes (Alta Intensidade)
Efeito na Biodiversidade	Mantém ou aumenta a diversidade de herbáceas e subarbustos	Simplifica a comunidade, favorece gramíneas pirófitas
Estrutura da Vegetação	Mantém a fisionomia aberta típica do Cerrado	Promove a degradação, impede recrutamento de árvores
Ciclagem de Nutrientes	Recicla nutrientes de forma equilibrada	Volatiliza nutrientes (N, S), empobrece o solo
Impacto no Solo	Menor impacto erosivo	Exposão do solo, selamento superficial, erosão
Resposta da Fauna	Cria mosaicos de habitat, menos mortalidade direta	Alta mortalidade direta e perda de habitat

Como fica evidente na Tabela 1, a dicotomia entre os regimes de fogo é absoluta. Enquanto o manejo prescrito, ao mimetizar os parâmetros naturais, sustenta a integridade ecológica e a resiliência do bioma, os incêndios frequentes e de alta intensidade desencadeiam um ciclo vicioso de degradação. Este ciclo se caracteriza pela perda de biodiversidade, empobrecimento do solo e aumento progressivo da inflamabilidade da

paisagem. Portanto, a escolha da estratégia de manejo não é meramente operacional, mas sim uma decisão fundamental que define se o fogo atuará como um force restaurador ou como um agente de destruição no Cerrado. Essa compreensão é crucial para embasar as políticas públicas e as práticas de conservação abordadas na sequência deste trabalho.

IMPACTOS DO FOGO NA FAUNA SILVESTRE DO CERRADO

Os impactos do fogo sobre a fauna silvestre do Cerrado goiano são complexos, heterogêneos e variam significativamente conforme o grupo taxonômico, o regime de fogo (frequência, intensidade, época e extensão) e a escala da paisagem (39, 40). A resposta da fauna à passagem do fogo pode ser entendida em um continuum que vai desde a mortalidade direta e a perda de habitat até a criação de oportunidades ecológicas para espécies generalistas e oportunistas.

Em curto prazo, incêndios de alta intensidade e extensão territorial representam uma catástrofe ecológica para a maioria das espécies. Podem causar mortalidade direta de indivíduos, especialmente daquelas com menor mobilidade ou que empregam estratégias de criprose (permanecem imóveis para se camuflar). Este é o caso de muitos anfíbios, répteis, filhotes de aves em ninhos no chão (como a codorna *Nothura maculosa*) e mamíferos de pequeno porte (41, 42, 43). A fuga para tocas subterrâneas ou para microhabitats úmidos, como cursos d'água, é uma estratégia de sobrevivência crucial, mas sua eficácia depende da velocidade de propagação e da intensidade do calor liberado pelo fogo (44).

Os impactos indiretos, porém, são frequentemente mais duradouros e igualmente severos. A perda abrupta da cobertura vegetal elimina abrigos essenciais contra predadores e intempéries, expondo a fauna a um estresse fisiológico e a um risco de predação exponencialmente maior (45).

A grande maioria das espécies, especialmente aquelas mais especializadas e com requerimentos de habitat mais específicos, os efeitos são profundamente negativos. Para mamíferos de médio e grande porte, como o tamanduá-bandeira (*Myrmecophaga tridactyla*) e o lobo-guará (*Chrysocyon brachyurus*), a passagem do fogo fragmenta ainda mais seus já extensos territórios (42). Estes animais podem ficar isolados em pequenas manchas remanescentes de habitat não-queimado, o que impacta diretamente sua capacidade de forrageamento, dispersão, busca por parceiros reprodutivos e, consequentemente, sua viabilidade populacional em longo prazo. A perda da vegetação do sub-bosque, por exemplo, reduz drasticamente a disponibilidade de cupinzeiros e formigueiros, principal fonte de alimento do tamanduá-bandeira (42).

A entomofauna (fauna de insetos) é um grupo particularmente afetado, sofrendo altas taxas de mortalidade direta. Incêndios frequentes levam a uma simplificação da comunidade de artrópodes, reduzindo a abundância e a diversidade de polinizadores (abelhas, borboletas) e decompositores, o que tem efeitos em cascata sobre a regeneração da vegetação e a produtividade do ecossistema (45). Portanto, a gestão do fogo em paisagens do Cerrado deve considerar não apenas a vegetação, mas também a manutenção de refúgios permanentes (como matas de galeria e capões de mata não passíveis de queima) que permitam a sobrevivência da fauna durante e após os eventos de fogo, assegurando a conservação da biodiversidade animal em sua totalidade.

ALTERAÇÕES NO SOLO E RECURSOS HÍDRICOS

O fogo, especialmente os incêndios de alta intensidade e frequência elevada, atua como um agente de transformação radical das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, com consequências diretas e indiretas para os recursos hídricos do Cerrado. As

alterações são imediatas e podem perdurar por longos períodos, comprometendo a funcionalidade do ecossistema.

Quimicamente, a combustão da serapilheira e da matéria orgânica do solo (MOS) provoca a volatilização de nutrientes, com destaque para o Nitrogênio (N) e o Enxofre (S), que são perdidos para a atmosfera (46, 47). Embora haja um aumento de curto prazo na disponibilidade de outros nutrientes, como Cálcio, Magnésio e Potássio, que ficam temporariamente na forma de cinzas, este efeito é fugaz. As cinzas são altamente susceptíveis à remoção pela água da chuva ou pelo vento, podendo levar, paradoxalmente, a um empobrecimento químico do solo em médio e longo prazo (48).

Fisicamente, a destruição da cobertura vegetal e da camada de serapilheira deixa o solo diretamente exposto aos agentes erosivos. A chuva impacta a superfície do solo desprotegido, causando o selamento superficial (formação de uma crosta) que reduz a infiltração de água. Este processo amplifica o escoamento superficial, acelerando a erosão hídrica e a lixiviação dos poucos nutrientes remanescentes (49). O assoreamento de corpos d'água é uma consequência direta, levando ao rebaixamento do nível dos rios, ao aumento da turbidez da água e à degradação de habitats aquáticos.

Biologicamente, o calor intenso altera drasticamente a microbiota do solo. Comunidades de fungos micorrízicos e bactérias decompositoras, essenciais para a ciclagem de nutrientes e a saúde das plantas, são severamente reduzidas, alterando a dinâmica de decomposição e a disponibilidade de nutrientes para a vegetação em rebrota (50).

O impacto é exponencialmente mais crítico e frequentemente irreversível nos ecossistemas úmidos, notadamente nas veredas. Estas fitofisionomias, caracterizadas pelo solo turfoso (orgânico) e pelo lençol freático superficial, evoluíram sob regime de fogo naturalmente raro. Incêndios que atingem essas áreas consomem a palha de buriti (*Mauritia flexuosa*) e a matéria orgânica do solo, que é o próprio substrato da vereda (3). A combustão dessa matéria orgânica seca o solo turfoso, causa um rebaixamento do lençol freático e pode, literalmente, cavar buracos no solo (pipocas), degradando irreversivelmente as nascentes (51). A recuperação desses ambientes é extremamente lenta, quando possível, representando uma perda crítica de serviços ecossistêmicos, especialmente a regulação hídrica e a provisão de água para as bacias hidrográficas da região (51).

MANEJO INTEGRADO DO FOGO (MIF): UMA ALTERNATIVA BASEADA NA ECOLOGIA

Diante do desafio crescente de conciliar a ecologia do fogo do Cerrado, um bioma evolutivamente adaptado às queimadas, com a prevenção de incêndios catastróficos de grandes proporções, o paradigma de combate puro e simples tem se mostrado insuficiente e, por vezes, contraproducente. Neste contexto, o Manejo Integrado do Fogo (MIF) surge como uma estratégia inovadora e robusta, fundamentada na sinergia entre o conhecimento ecológico tradicional (especialmente de povos e comunidades tradicionais) e o conhecimento científico mais recente (11).

Diferentemente da política de "fogo zero", o MIF reconhece o fogo como um processo ecológico essencial e busca utilizá-lo de forma planejada e estratégica como uma ferramenta de gestão territorial. O cerne da estratégia consiste na execução de queimas prescritas no início da estação seca (geralmente entre maio e junho), quando a vegetação ainda apresenta umidade relativa e as condições meteorológicas são mais amenas (52). Estas queimas são conduzidas com parâmetros rigorosamente controlados (umidade do combustível, velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar) para garantir que o fogo seja de baixa intensidade e se comporte de forma previsível (53).

Os objetivos primários são: 1) reduzir de forma estratégica a carga de combustível fino (biomassa herbácea e serapilheira) que é o principal propulsor de incêndios de alta intensidade; e 2) criar uma rede de aceiros naturais ou áreas queimadas que fragmentam a paisagem combustível, funcionando como barreiras que impedem ou dificultam a propagação de grandes incêndios no período crítico, mais seco e quente, da estação seca (julho a setembro) (12).

Para o estado de Goiás, a implementação e ampliação do MIF são urgentes e estratégicas. Isso requer a capacitação de brigadas especializadas, a criação de um marco legal estadual que apoie e regulamente a prática, e o fortalecimento de acordos de cooperação entre gestores de UCs, órgãos ambientais, bombeiros, universidades, proprietários rurais e comunidades tradicionais (54). A adoção do MIF representa uma transição de um modelo puramente reativo de combate a incêndios para um modelo proativo de gestão do fogo, essencial para a conservação do Cerrado goiano frente às mudanças climáticas.

DISCUSSÃO

A literatura revisada evidencia cabalmente a dualidade intrínseca do fogo no Cerrado goiano: um elemento ecológico necessário e benéfico sob um regime controlado de baixa frequência e intensidade, mas um agente de devastação e degradação sob o regime atual de incêndios frequentes, extensos e de alta intensidade (10). O consenso científico atual aponta que a maior ameaça à integridade do bioma não é o fogo em si, mas a alteração antropogênica de seu regime natural, substituindo o ciclo natural de queimadas por um ciclo de incêndios destrutivos (11).

Os dados compilados demonstram que esta mudança no regime de fogo desencadeia uma cascata de impactos negativos interconectados. A degradação da vegetação (Capítulo 2.3), com a simplificação da comunidade e a supressão de espécies-chave como o pequi, está diretamente ligada à perda de habitat e ao declínio da fauna (Capítulo 2.4), que perde abrigo e recursos alimentares. Por sua vez, a perda da cobertura vegetal é o fator desencadeante imediato para a degradação do solo e a alteração do regime hidrológico (Capítulo 2.5), criando um ciclo vicioso de empobrecimento ecológico onde ecossistemas mais degradados se tornam ainda mais inflamáveis (55).

A interação entre o fogo e a vegetação do Cerrado pode ser compreendida como um sistema dinâmico que opera a partir de dois ciclos feedback opostos. Estes ciclos, um virtuoso e outro vicioso, ilustram de maneira clara como as práticas de manejo influenciam diretamente a estabilidade ecológica do bioma. A Figura 1 abaixo representa graficamente esses dois caminhos, sintetizando a relação crítica entre a intervenção humana e o comportamento do fogo na paisagem.

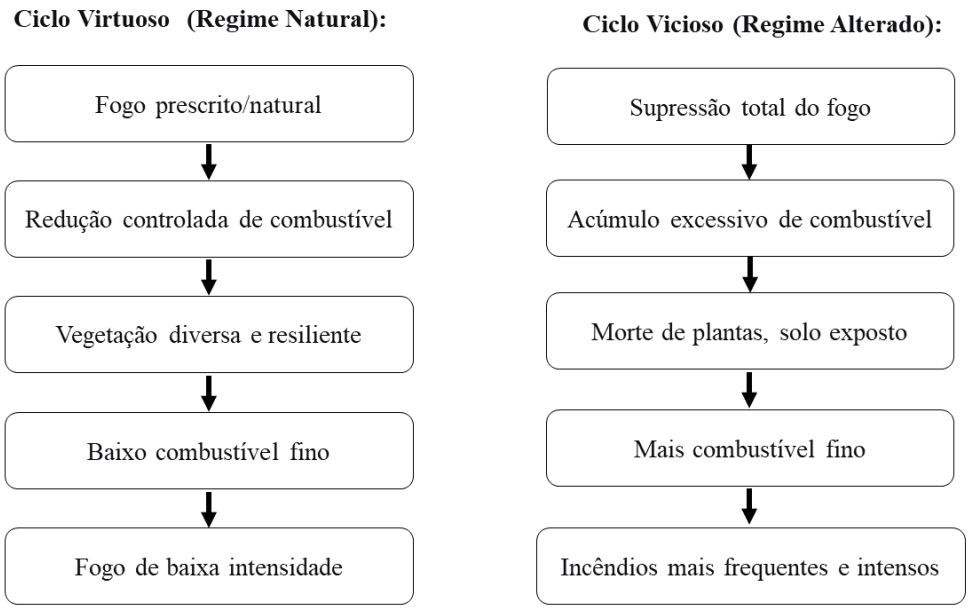


Figura 1. Representação esquemática dos ciclos de feedback do fogo no Cerrado: o ciclo virtuoso do regime natural/prescrito e o ciclo vicioso resultante da supressão total do fogo e dos incêndios frequentes.

Como demonstrado no diagrama, a supressão total do fogo, uma estratégia aparentemente intuitiva, desencadeia um processo autossustentado de degradação. A acumulação de biomassa combustível cria as condições ideais para incêndios de alta intensidade, que, por sua vez, causam mortalidade generalizada da vegetação nativa e expõem o solo. Este cenário favorece a colonização por gramíneas invasoras altamente inflamáveis, que formam um tapete contínuo de combustível fino, fechando o ciclo vicioso e aumentando ainda mais a frequência e a severidade dos incêndios. Romper este ciclo negativo exige uma mudança de paradigma: a adoção do Manejo Integrado do Fogo (MIF), que busca intervir de forma estratégica no sistema para restabelecer o ciclo virtuoso, utilizando o fogo controlado como uma ferramenta ecológica a serviço da conservação.

Neste contexto, a estratégia do Manejo Integrado do Fogo (MIF), detalhada no Capítulo 2.6, apresenta-se não como uma mera alternativa operacional, mas como uma necessidade paradigmática para a conservação. Ela representa a transição de uma visão simplista de supressão total do fogo para uma abordagem ecologicamente fundamentada de gestão do território, utilizando o fogo como uma ferramenta a serviço da manutenção da biodiversidade e da prevenção de catástrofes (ELOY et al., 2019). As experiências bem-sucedidas em outras regiões do Cerrado fornecem um modelo validado que precisa ser urgentemente adaptado e implementado nas paisagens goianas.

Contudo, a implementação eficaz do MIF e o avanço do conhecimento sobre a ecologia do fogo esbarram em lacunas de conhecimento críticas. Primeiramente, há uma escassez significativa de estudos de longa duração (long-term) que monitorem a recuperação ecológica pós-fogo em diferentes contextos goianos (ex.: cerrado *stricto sensu*, cerradão, veredas) e sob diferentes regimes de queima prescrita. Esses estudos são essenciais para calibrar os protocolos de manejo, definindo com maior precisão os intervalos ideais entre queimas para cada fitofisionomia (3).

Em segundo lugar, é premente investigar os efeitos sinérgicos do fogo com outras ameaças globais, um campo de pesquisa ainda incipiente. Como as mudanças climáticas, com o aumento da temperatura e a alteração dos padrões de chuva, irão influenciar a

inflamabilidade e a recuperação da vegetação do Cerrado? De que forma a invasão de gramíneas exóticas, como *Urochloa* spp. e *Melinis minutiflora*, que criam um combustível fino e contínuo, intensifica a severidade dos incêndios e dificulta a regeneração da flora nativa? (10), (6). Responder a estas questões é fundamental para desenvolver estratégias de manejo adaptativo, capazes de enfrentar os desafios futuros e garantir a resiliência do Cerrado goiano.

CONCLUSÃO

Conclui-se que os efeitos do fogo no Cerrado goiano são profundos e multifacetados, exigindo uma abordagem de manejo sofisticada que vá além da simples supressão. A proibição total do fogo mostrou-se uma estratégia falha, pois leva ao acúmulo de biomassa combustível e a incêndios subsequentemente mais destrutivos. Portanto, a adoção do MIF, aliada a políticas públicas robustas, monitoramento científico contínuo e envolvimento das comunidades locais, é o caminho mais promissor para garantir a perpetuidade da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos prestados pelo Cerrado em Goiás. Pesquisas futuras devem focar em gerar parâmetros específicos para o manejo do fogo nas diferentes fitofisionomias e contextos socioecológicos do estado.

AGRADECIMENTOS

Universidade Estadual de Goiás- Campus Sul Unidade Universitária Ipameri.

REFERÊNCIAS

1. MYERS N, MITTERMEIER RA, MITTERMEIER CG, DA FONSECA GAB, KENT J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature. 2000;403(6772):853-8.
2. KLINK CA, MACHADO RB. Conservation of the Brazilian Cerrado. Conserv Biol. 2005;19(3):707-13.
3. RIBEIRO JF, WALTER BMT. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO SM, ALMEIDA SP, RIBEIRO JF, editores. Cerrado: ecologia e flora. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; 2008. p. 151-212.
4. SPERA SA, COHN AS, VANWEY LK, MUSTARD JF, RUDORFF BF, RISSO J, et al. Recent cropping frequency, expansion, and abandonment in Mato Grosso, Brazil had selective land characteristics. Environ Res Lett. 2014;9(6):064010.
5. SILVA JMC, BATES JM. Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: a tropical savanna hotspot. Bioscience. 2002;52(3):225-34.
6. DURIGAN G, RATTER JA. The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. J Appl Ecol. 2016;53(1):11-5.
7. COUTINHO LM. Fire in the ecology of the Brazilian cerrado. In: GOLDAMMER JG, editor. Fire in the tropical biota. Berlin: Springer; 1990. p. 82-105.
8. SIMON MF, GRETHER R, DE QUEIROZ LP, SKEMA C, PENNINGTON RT, HUGHES CE. Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. Proc Natl Acad Sci U S A. 2009;106(48):20359-64.
9. MIRANDA HS, SATO MN, NETO WN, AIRES FS. Fires in the cerrado, the Brazilian savanna. In: COCHRANE MA, editor. Tropical fire ecology: climate change, land use, and ecosystem dynamics. Heidelberg: Springer-Praxis; 2009. p. 427-50.

10. PIVELLO VR. The use of fire in the Cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: past and present. Fire Ecol. 2011;7(1):24-39.
11. SCHMIDT IB, ELOY L, PEREIRA AA, SANTOS PA, SANTOS RM, SANTOS RO, et al. Fire management in the Brazilian savanna: first steps and the way forward. J Appl Ecol. 2018;55(5):2094-101.
12. ELOY L, BILBAO BA, MISTRY J, SCHMIDT IB. From fire suppression to fire management: advances and resistances to changes in fire policy in the savannas of Brazil and Venezuela. Geogr J. 2019;185(1):10-22.
13. FIDELIS A, ZIRONDA E. How does the fire regime change after creating a protected area in the Brazilian Cerrado? J Nat Conserv. 2021;64:126068.
14. TerraBrasilis. Plataforma de análise de dados São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); c2024 [citado 2025 Set 19]. Disponível em: Programa Queimadas • INPE
15. MARENGO JA, TORRES RR, ALVES LM. Drought in Northeast Brazil: past, present, and future. Theor Appl Climatol. 2017;129(3-4):1189-200.
16. OLIVEIRA-FILHO AT, RATTER JA. Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado biome. In: OLIVEIRA PS, MARQUIS RJ, editors. The Cerrados of Brazil: Ecology and natural history of a neotropical savanna. New York: Columbia University Press; 2002. p. 91-120.
17. MENDONÇA RC, FELFILI JM, WALTER BMT, SILVA JÚNIOR MC, REZENDE AV, FILGUEIRAS TS, et al. Flora vascular do bioma Cerrado: checklist com 12.356 espécies. In: SANO SM, ALMEIDA SP, RIBEIRO JF, editores. Cerrado: ecologia e flora. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; 2008. p. 421-1279.
18. MARINHO-FILHO J, RODRIGUES FHG, JUAREZ KM. The Cerrado mammals: diversity, ecology, and natural history. In: OLIVEIRA PS, MARQUIS RJ, editors. The Cerrados of Brazil: Ecology and natural history of a neotropical savanna. New York: Columbia University Press; 2002. p. 266-84.
19. SILVA JMC. Birds of the Cerrado region, South America. Steenstrupia. 1995;21:69-92.
20. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Relatório Anual do Desmatamento no Cerrado 2020-2021. Brasília: MMA; 2021.
21. BRANNSTROM C, JOHANNS W, LEI RM, OLIVEIRA W, BROWN JC. Land change in the Brazilian Savanna (Cerrado), 1986-2002: Comparative analysis and implications for land-use policy. Land Use Policy. 2008;25(4):579-95.
22. FRANÇA H, RAMOS-NETO MB, SETZER A. O fogo no Parque Nacional das Emas: primeiro ano de monitoramento. In: MIRANDA HS, organizador. Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidades de cerrado: resultados do Projeto Fogo. Brasília: IBAMA; 2010. p. 44-53.
23. HOFFMANN WA, ADASME R, HARIDASAN M, DE CARVALHO MT, GEIGER EL, PEREIRA MAB, et al. Tree topkill, not mortality, governs the dynamics of savanna-forest boundaries under frequent fire in central Brazil. Ecology. 2009;90(5):1326-37.
24. BUSTAMANTE MMC, NOBRE CA, SMERALDI R, AGUIAR APD, BARIONI LG, FERREIRA LG, et al. Estimating greenhouse gas emissions from cattle raising in Brazil. Clim Change. 2012;115(3-4):559-77.
25. BUSTAMANTE MMC, ROITMAN I, AIDE TM, ALENCAR A, ANDERSON LO, ARAGÃO L, et al. Toward an integrated monitoring framework to assess the effects

of tropical forest degradation and recovery on carbon stocks and biodiversity. Glob Chang Biol. 2016;22(1):92-109.
26. LEAL AS, OLIVEIRA DM, CARVALHO TS, PEREIRA EG, FIGUEIREDO CC. Belowground systems in tropical savanna: Fabaceae morphoanatomical traits and their relation to fire. Plant Biol (Stuttg). 2024;26(7):1118-30.
27. CHIMINAZZO MA, ALVARADO ST, TAMASHIRO JY, BORGES FLG, BARROS MF, FRANCO AC. Your best buds are worth protecting: variation in bud protection in a fire-prone cerrado system. Funct Ecol. 2021;35(11):2424-34.
28. CLARKE PJ, LAWDES MD, DOWNEY PO, FIRE AND PLANT INVASIONS. Resprouting as a key functional trait: how buds, protection and resources drive persistence after fire. New Phytol. 2013;197(1):19-35.
29. DE CASTRO MM, KUSTER VC. Estrutura da casca de espécies do Cerrado e sua relação com o fogo. In: Resumos do 61º Congresso Nacional de Botânica; 2010; Manaus, AM. Manaus: Sociedade Botânica do Brasil; 2010.
30. SCHMIDT IB. Aprendendo a conviver com o fogo: o Manejo Integrado do Fogo (MIF) no Brasil. Biodiversidade Bras. 2018;8(1):51-9.
31. RAMOS-NETO MB, PIVELLO VR. Lightning fires in a Brazilian savanna national park: rethinking management strategies. Environ Manage. 2000;26(6):675-84.
32. GOVENDER N, TROLLOPE WSW, VAN WILGEN BW. The effect of fire season, fire frequency, rainfall and management on fire intensity in savanna vegetation in South Africa. J Appl Ecol. 2006;43(4):748-58.
33. SIMON MF, PENNINGTON T. Evidence for adaptation to fire regimes in the tropical savannas of the Brazilian Cerrado. Int J Plant Sci. 2012;173(6):711-23.
34. HOFFMANN WA, FRANCO AC. Comparative growth analysis of tropical forest and savanna woody plants using phylogenetically independent contrasts. J Ecol. 2003;91(3):475-84.
35. OLIVEIRA PS, MARQUIS RJ, editors. The Cerrados of Brazil: Ecology and natural history of a neotropical savanna. New York: Columbia University Press; 2002.
36. NEPSTAD DC, MOREIRA AG, ALENCAR AA. Flames in the rain forest: origins, impacts and alternatives to Amazonian fire. Brasília: The World Bank; 2004.
37. FIDELIS A, PIVELLO VR. Deve-se usar o fogo como instrumento de manejo no Cerrado e Campos Sulinos? Biodiversidade Bras. 2011;1(2):12-25.
38. FRANÇOSO RD, HAIDAR RF, MACHADO RB. Tree species of South America central savanna: endemism, marginal areas and the relationship with other biomes. Acta Bot Bras. 2016;30(1):78-86.
39. GOMES BF. Efeitos diretos e indiretos do fogo sobre pequenos vertebrados de áreas campestres [tese]. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2024.
40. NETO RJT. Manejo de pastagem com o uso do fogo em unidade de conservação de uso sustentável no Cerrado: estudo comparativo entre a RDS Veredas do Acari (MG) e a APA Nascentes do Rio Vermelho (GO) [dissertação]. Goiânia: Universidade Federal de Goiás; 2014.
41. BATISTA EKL, BAUMANN J, BRISCHADT F, FRIZZO TLM, MENDONÇA AF, RIBEIRO BR, et al. Em caso de incêndio, fuga ou morte: uma abordagem baseada em características para identificar espécies animais ameaçadas pelo fogo. Fogo. 2023;6(6):242.
42. MACHADO RB, AGUIAR LMS, LOURIVAL R, FONSECA GAB. Impact of wildfires on the megafauna of Emas National Park, central Brazil. Oryx. 2020;54(2):232-9.

43. REIS MG, FIEKER CZ, DIAS MM. The influence of fire on the assemblage structure of foraging birds in grasslands of the Serra da Canastra National Park, Brazil. An Acad Bras Cienc. 2016;88(2):891-901.
44. RIBEIRO ACC, SILVA DP, DINIZ FILHO JAF, MACEDO RH, BASTOS RP, VIEIRA L, et al. The effect of catastrophic fire on the structure of animal metacommunities in a Cerrado landscape: a 10-year survey of anurans, birds and moth assemblages. Birds and Moth Assemblages. 2024; [preprint].
45. DINIZ ALR, MORAIS HC. Efeito do fogo na abundância de insetos do Cerrado: o que sabemos? Heringeriana. 2016;2(1):39-46.
46. CERTINI G. Effects of fire on properties of forest soils: a review. Oecologia. 2005;143(1):1-10.
47. AGBESHIE AA, ABUGA R, TETTEH EN, ADJEI R. Uma revisão dos efeitos do incêndio florestal nas propriedades do solo. J For Res. 2022;33(5):1419-41.
48. SILVA EC, CARVALHO AM, FIGUEIREDO CC, COSER TR, REIN TA, SILVA MR, et al. Temporal evaluation of soil chemical attributes after slash-and-burn agriculture in the Western Brazilian Amazon. Acta Sci Agron. 2019;41:e42609.
49. KLINK CA, MACHADO RB, SILVA JMC, WATER AND FIRE IN THE CERRADO. The role of vegetation on the dynamics of water and fire in the cerrado ecosystems: implications for management and conservation. Plants (Basel). 2020;9(12):1803.
50. DE SOUZA LC, PROCÓPIO LC. As adaptações das comunidades microbianas do solo da savana durante um período de incêndios florestais, após as primeiras chuvas e durante a estação chuvosa. Environ Sci Pollut Res Int. 2022;29(10):14070-82.
51. BORGES SL, SCHMIDT IB, ELIAS RCS, MEDEIROS MB, SATO MN, LIMA GS, et al. Manejo do fogo em veredas: novas perspectivas sobre os sistemas agrícolas tradicionais no Jalapão, Brasil. Ambient Soc. 2016;19:269-94.
52. SANTOS FLM, ARAÚJO FM, FERREIRA D, SILVA JMC, SCHMIDT IB. A queima prescrita reduz incêndios florestais grandes e de alta intensidade e emissões no Cerrado brasileiro. Fogo. 2021;4(3):56.
53. COLAÇO C, MOLINA D. Aprendizagem e treinamento sobre o uso de técnicas de queima prescritas. In: Rumo aos resultados da gestão integrada do fogo do paradoxo do incêndio do projeto europeu. p. 161.
54. DURIGAN G, BERMANN C. Construindo políticas de fogo no Cerrado: a experiência do Manejo Integrado do Fogo no Brasil. Biodiversidade Bras. 2022;12(1):4-21.
55. FIGUEIREDO CC, SILVA JMC. Fogo e degradação do solo no Cerrado: mecanismos e consequências. In: FALEIRO FG, NETO ALF, editores. Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. 2a ed. Planaltina: Embrapa Cerrados; 2020. p. 567-89.
56. CONEGLIAN, A et al. Tempo de letalidade do câmbio de duas espécies arbóreas do cerrado a 60ºC. Revista do Instituto Florestal, v. 34, n. 2, p. 182-187, 2022.

Capítulo 08

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-08

USO DE ADITIVOS PROTEICOS EM SILAGEM DE CAPIM: REVISÃO DE LITERATURA

Andréia Cezário Santos https://orcid.org/0000-0002-9909-2763; Vitória Bárbara Oliveira Barros https://orcid.org/0009-0008-7237-1819; Carlos Gabriel Alves Santos https://orcid.org/0009-0004-7393-1583; Wallacy Barbacena Rosa dos Santos https://orcid.org/0000-0003-4063-7228; Eliandra Maria Bianchini Oliveira https://orcid.org/0000-0003-1791-3482; Jeferson Corrêa Ribeiro https://orcid.org/0000-0002-7628-8317; Wiaslan Figueiredo Martins https://orcid.org/0000-0002-7475-2382;

Andréia Cezário Santos – Email: andreia.cezario@ifgoiano.edu.br

RESUMO

Nesta revisão, vamos discutir a utilização de aditivos proteicos como estratégia para obter silagens de capim com melhor valor nutricional e processos fermentativos mais estáveis. O potencial de produção animal cresce num ritmo acelerado e a produção de alimentos está sempre sendo desafiada a suprir essa necessidade tanto no contexto nutricional quanto econômico. As plantas forrageiras constituem a base da dieta dos ruminantes na grande maioria dos sistemas de produção das regiões tropicais. A disponibilidade de forragem é variável durante o ano, dependendo de condições climáticas. Isto gera a necessidade de se ter forragem conservada sendo a silagem a forma mais utilizada de culturas tradicionais podendo ser utilizada o excedente produzido na época das águas. No entanto, o processo fermentativo pode ser alterado por alguns fatores, dificultando a confecção de silagens de boa qualidade, havendo assim a necessidade do uso de aditivos como meio de melhora da qualidade nutricional e fermentativa desses tipos de silagens. Os aditivos proteicos em silagem têm papel importante na elevação do teor de proteína bruta e na redução das perdas de nitrogênio durante a fermentação. Fontes de nitrogênio não proteico, como a ureia, aumentam a disponibilidade de nitrogênio para microrganismos ruminais, mas exigem dosagem precisa para evitar excesso de amônia. Ingredientes proteicos de origem vegetal, como farelos de soja, parte aérea da mandioca e ora-pro-nóbis, além de melhorar o valor nutritivo, atuam também como sequestrantes de umidade, auxiliando na correção da matéria seca de forragens excessivamente úmidas e contribuindo para uma fermentação mais estável.

Palavras-chave: conservada; fermentação; forragem; ruminantes

INTRODUÇÃO

A técnica de confecção de silagem foi muito difundida como estratégia de armazenar forragem para os períodos de escassez de pastagens em decorrência da

estacionalidade produtiva das forrageiras nos sistemas extensivos de produção ou em virtude de intempéries climáticas. Atualmente, é uma prática comum na maioria das propriedades, tanto em sistemas produtivos extensivos como nos sistemas produtivos mais intensivos e tecnificados, que exigem o fornecimento de forragem conservada ao longo do ano (FASOLO & CARVALHO, 2021).

Para produzir silagem de qualidade é necessário que o processo fermentativo do material ocorra da maneira mais eficiente possível, minimizando perdas de matéria seca e energia, e preservando o valor nutritivo (McDONALD et al., 1991; TOMICH et al., 2012). Falhas no processo fermentativo podem resultar em perdas de matéria seca e de princípios nutritivos e, consequentemente, em silagens de baixa qualidade nutricional (SILVA et al., 2017). A fim de evitar ou reduzir a ocorrência dessas perdas pode ser realizado o uso de aditivos (NEUMANN et al., 2010).

São denominados aditivos produtos que podem ser adicionados às forrageiras durante o processo de ensilagem com objetivo de melhorar a fermentação, impedir fermentações secundárias, prevenir a produção de ácido butírico, reduzir perdas de matéria seca, melhorar a recuperação de energia e a estabilidade da silagem e contribuir com a preservação de nutrientes durante ou após a fermentação (KUNG JR. et al., 2003; YITBAREK & TAMIR, 2014).

Estudos têm sido feitos com o objetivo de encontrar alternativas para aumentar o teor de matéria seca e o aporte de carboidratos solúveis no material a ser ensilado através do uso de aditivos, que proporcionam a silagem de melhor qualidade. Sabe-se que estes reduzem os riscos do processo de ensilagem e melhoram o valor nutritivo da silagem. Através da redução do teor de água na forragem, ocorre a concentração dos carboidratos solúveis, diminuição de fermentações clostrídicas, diminuição mais efetiva do pH e da produção de efluentes. Esse processo pode ser favorecido pela aplicação de sequestrantes de umidade, ou seja, aditivos proteicos, seja vegetal ou não, o que é prática usual no Brasil, principalmente na ensilagem de gramíneas tropicais. Além de corrigir a MS, alguns materiais fornecem carboidratos solúveis e estimulam a fermentação, alguns exemplos destes são: uréia, parte aérea da mandioca, farelo de soja ou ora-pro-nóbis.

Em resumo, busca-se manter as características do material ensilado do início ao fim do processo fermentativo, com o mínimo de perda de nutrientes possível. Objetivou-se com essa revisão, discutir a utilização de aditivos proteicos como estratégia para obter silagens de alta qualidade.

METODOLOGIA

Este trabalho trata-se de uma revisão de literatura sobre o uso de aditivos proteicos em silagens. Para a construção do material, foram realizadas buscas de artigos científicos. A pesquisa foi realizada em periódicos e sites como a CAPES e SciELO. O intuito é abordar sobre silagens com a utilização de aditivos proteicos para a melhoria da qualidade fermentativa e incremento do valor nutricional.

REVISÃO DE LITERATURA

HISTÓRICO DA UTILIZAÇÃO DE SILAGEM NO BRASIL

A prática da ensilagem no Brasil teve seu início no final do século 19. Porém, a partir de 1920, onde houve a importação de máquinas e tratores criou força no país à técnica se difundiu ao longo dos anos, inicialmente com milho e após, com o sorgo e o capim-

elefante na década de 60 (Daniel et al., 2019). Durante esse período, a silagem ainda era restrita a pequenas propriedades e principalmente à alimentação de rebanhos leiteiros em regiões Sudeste e Sul do país. O avanço da mecanização agrícola, aliado à criação de centros de pesquisa como a ESALQ/USP e a EMBRAPA, possibilitou estudos voltados à adaptação das técnicas de ensilagem às condições tropicais e subtropicais brasileiras, promovendo maior eficiência na conservação de forragens (Oliveira et al., 2019).

Nas décadas seguintes, o crescimento da pecuária de corte e leiteira estimulou a expansão da silagem em larga escala, sobretudo na Região Centro-Oeste, onde o clima favorecia a produção contínua de milho e sorgo. Com o tempo, a prática passou a abranger outras forrageiras tropicais, incluindo plantas de alto valor proteico, como a parte aérea da mandioca e o ora-pro-nóbis, objetivando aumentar o conteúdo de proteína das silagens e reduzir perdas durante a fermentação (Ma et al., 2023). Atualmente, a ensilagem se consolidou como uma ferramenta essencial para a produção animal no Brasil, garantindo oferta de volumosos em períodos de escassez, contribuindo para o desempenho nutricional do rebanho e permitindo maior sustentabilidade nos sistemas de produção (Fioravanti et al., 2020).

ADITIVOS PROTEICOS

A incorporação de aditivos proteicos na silagem tem como objetivo melhorar o valor nutricional e a estabilidade fermentativa. A ureia é amplamente utilizada como fonte de nitrogênio não proteico (NNP), promovendo aumento do teor de proteína bruta e melhorando a digestibilidade da silagem.

Além da ureia, ingredientes vegetais como farelo de soja, parte aérea da mandioca e ora-pro-nóbis têm sido investigados como aditivos proteicos alternativos. O ora-pro-nóbis apresenta folhas com até 22% de proteína bruta na matéria seca, configurando-se como uma importante fonte proteica para a alimentação animal (NEIDE DE OLIVEIRA et al., 2018). A parte aérea da mandioca é um alimento volumoso que demonstra bom valor nutritivo para animais ruminantes (SENA et al., 2014). De acordo com Almeida e Ferreira Filho (2005), a parte aérea da mandioca é um produto rico em vitaminas, especialmente A, C e do complexo B; o conteúdo de minerais é relativamente alto, especialmente cálcio e ferro. Além disso, apresenta um potencial proteico de muita importância, tendo em torno de 18 a 20% de proteína bruta. O farelo de soja é amplamente recomendado devido ao seu elevado conteúdo de proteína e digestibilidade, favorecendo o desempenho animal quando inserido de forma balanceada na mistura ensilada.

URÉIA

Nos sistemas de produção de bovinos a pasto, especialmente durante o período seco, a lenta degradação da fração fibrosa das forragens limita o desempenho produtivo e reprodutivo dos animais, tornando necessária a suplementação proteica e energética para estimular a digestibilidade e a taxa de passagem da fração indigestível (Moraes et al., 2006). Nesse contexto, a ureia tem se destacado como fonte de nitrogênio não proteico (NNP), de baixo custo, utilizada tanto em suplementos quanto como aditivo em silagens, com o objetivo de substituir parcialmente a proteína verdadeira de origem vegetal e disponibilizar nitrogênio para a microbiota ruminal (Rennó et al., 2005; Paixão et al., 2006).

A aplicação da ureia em silagens pode elevar o teor de proteína bruta e melhorar a estabilidade aeróbica, além de favorecer a síntese de proteína microbiana, desde que haja adequada disponibilidade de energia para seu aproveitamento (Moscardini et al., 1998;

Abarghuei et al., 2018).

A uréia no processo de ensilagem sofre ação da enzima urease, sendo esta convertida a amônia, que, ao se ligar à água existente no meio forma o hidróxido de amônia, capaz de solubilizar os componentes da parede celular, principalmente a hemicelulose, reduzindo o teor de FDN do material ensilado, refletindo de forma positiva na digestibilidade dos constituintes celulares da forragem (LOPES et al., 2007), podendo melhorar o valor nutritivo da silagem e o desempenho animal, devido a aumento do teor de nitrogênio e digestibilidade.

A ureia produz picos de concentração de nitrogênio amoniacal no rúmen, como amônia ou amônio, possuindo uma inter-relação pH dependente, quanto mais baixo o pH maior a concentração de amônio e vice-versa. O amônio é considerado menos absorvível quando comparada à amônia. Portanto, a sua utilização deve ser criteriosa, pois níveis excessivos podem resultar em acúmulo de amônia e comprometer a fermentação e a aceitabilidade da silagem, além do risco de intoxicação. A utilização de ureia como aditivo proteico em silagens representa uma alternativa economicamente viável, mas exige formulação precisa, homogeneidade na mistura e balanceamento energético da dieta para maximizar a eficiência de utilização do nitrogênio e a produtividade animal (Khampa et al., 2016; Abarghuei et al., 2018).

FARELO DE SOJA

O farelo de soja é considerado o principal ingrediente proteico utilizado na nutrição de ruminantes no Brasil, devido ao seu elevado teor de proteína bruta (em torno de 44 a 48%), alto valor biológico e boa digestibilidade ruminal (Valadares Filho et al., 2016). Quando utilizado como aditivo em silagens, o farelo de soja pode enriquecer o teor proteico, melhorar o balanço entre energia e proteína na dieta e favorecer a microbiota ruminal e a síntese de proteína microbiana (OLIVEIRA et al., 2019).

Do ponto de vista fermentativo, o farelo de soja atua não apenas como fonte de proteína verdadeira, mas também como corretor de umidade, auxiliando no ajuste da matéria seca em silagens com elevado teor de água. Esse efeito físico contribui para uma fermentação mais estável e para menor produção de efluentes.

Garcez et al. (2023), trabalhando com silagem de Tifton 85, afirmaram que a inclusão de farelo de soja melhorou o valor nutricional das silagens e pode ser utilizado em dietas de ruminantes, no entanto esses autores observaram que as silagens de Tifton 85 adicionado de farelos de soja apresentaram quebra da estabilidade aeróbia devido ao aumento do pH após 144 horas de exposição, requerendo maiores cuidados na descarga do silo e no fornecimento aos animais para evitar a sua deterioração.

Porém, o elevado custo do farelo de soja pode limitar seu uso em larga escala, principalmente em propriedades de menor poder aquisitivo. Ainda assim, pela sua disponibilidade e perfil nutricional, o farelo de soja permanece como padrão de referência na avaliação de outros aditivos proteicos em silagem.

PARTE AÉREA DA MANDIOCA

A mandioca (*Manihot esculenta*) é uma importante fonte de alimento no mundo, sendo cultivada na Ásia, Oceania, África e América Latina, alimentando mais de 800 milhões de pessoas (IYER et al., 2010). No Brasil é cultivada em praticamente todo o território nacional, caracterizando-se por sua rusticidade e baixa exigência quanto às condições do solo, sendo muito apreciada pelos animais. Tanto a raiz quanto a parte aérea da mandioca apresentam bom valor nutritivo e podem ser utilizadas de diversas formas na alimentação de ruminantes. A parte aérea, composta por ramas e folhas, possui alto valor

nutritivo, podendo conter até 16% de proteína bruta e apresentar teor relativamente baixo de fibra em comparação com outras forrageiras tropicais.

Quando a parte aérea da mandioca é usada como silagem, ela funciona como um aditivo proteico. Isso aumenta o teor de proteína da forragem e ajuda a diminuir a perda de nitrogênio durante a fermentação.

Em um estudo de 2021, Nogueira et al. mostrou que a silagem feita 100% de folhas de mandioca tinha um teor médio de 23,87% de proteína bruta. Esse valor é elevado e demonstra que a mandioca é uma matéria-prima altamente proteica para a produção de silagem, especialmente quando comparada à silagem de capim oferecida a ruminantes.

Outra característica importante no feno da parte aérea adicionando a silagem de capim é que devido seu alto teor MS pode contribuir no sequestro de umidade, auxiliando na correção da matéria seca de silagens excessivamente úmidas e promovendo fermentação mais estável, com menor produção de efluentes e maior conservação de nutrientes essenciais para os animais. Dessa forma, a inclusão da parte aérea da mandioca em silagens constitui uma alternativa sustentável e econômica, especialmente em sistemas de produção em regiões tropicais, permitindo diversificação da dieta e melhora do desempenho de bovinos de corte e leite.

ORA-PRO-NÓBIS

O ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata*) é uma planta forrageira de origem brasileira que se destaca pelo elevado teor de proteína de suas folhas, podendo atingir até 22% de proteína bruta na matéria seca, além de apresentar boa digestibilidade e perfil nutricional equilibrado. Assim como a parte aérea da mandioca, o ora-pro-nóbis pode ser utilizado como aditivo proteico em silagens, contribuindo para o aumento do teor de proteína da forragem conservada e para a redução das perdas de nitrogênio durante o processo fermentativo. Sua inclusão também favorece o crescimento da microbiota ruminal e a síntese de proteína microbiana, promovendo maior eficiência digestiva e aproveitamento da forragem pelos ruminantes. Além disso, o ora-pro-nóbis atua como sequestrante de umidade, auxiliando na correção da matéria seca de silagens excessivamente úmidas e garantindo maior estabilidade fermentativa, com menor produção de efluentes. Entretanto, o manejo do ora-pro-nóbis apresenta desafios devido à presença de espinhos em suas hastes e folhas mais velhas, o que pode dificultar a colheita manual e exigir cuidados adicionais durante o processamento para silagem. Apesar dessas dificuldades, o uso de variedades com menor espessura de espinhos ou técnicas de corte adequadas permite aproveitar plenamente o potencial nutricional da planta, tornando-a uma alternativa sustentável e de baixo custo para suplementação proteica em sistemas de produção de bovinos, especialmente em regiões tropicais, promovendo diversificação da dieta e melhoria do desempenho animal em períodos de escassez de forragem.

O uso desses aditivos vegetais não só enriquece o perfil nutricional da silagem, mas também atua como sequestrante de umidade, auxiliando na correção da matéria seca e na estabilidade da fermentação (REVISTAS.UNIPAM, 2023). Entretanto, é fundamental considerar a dosagem e a combinação adequada desses aditivos para otimizar os benefícios e evitar efeitos adversos na qualidade da silagem e no desempenho animal (MUCK, 2018; MA et al., 2023).

Na Tabela 1 observam-se os teores de MS na silagem de ora-pro-nóbis com adição em níveis de 0, 5 e 10% estão bem abaixo dos valores tidos como ideal para um correto processo fermentativo, esse teor ideal de MS varia de 30% a 35% da matéria natural (Rezende et al., 2008), sendo que apenas a silagem com adição de 10% apresentou maior

valor médio de MS (21,09%), diferindo estatisticamente ($p < 0,05$) dos tratamentos com 0% (13,29%) e 5% (13,98%), que não diferiram entre si, porém não atingiu o esperado.

Na Tabela 2 observam-se os valores de pH da silagem de capiaçu com adição de *ora-pro-nóbis* em níveis de 0, 5 e 10%. Verifica-se que apenas a silagem sem adição (0%) apresentou valor médio de pH dentro da faixa considerada adequada para uma boa fermentação (≤ 4,2), com média de 3,92, diferindo estatisticamente ($p < 0,05$) dos tratamentos com 5% (5,00) e 10% (4,92), os quais não diferiram entre si.

Valores de pH inferiores a 4,2 são fundamentais para inibir o crescimento de microrganismos indesejáveis, como enterobactérias e clostrídios, assegurando maior estabilidade e qualidade da silagem (McDonald et al. 1991). Assim, observa-se que a inclusão de *ora-pro-nóbis (Pereskia aculeata)* elevou o pH para valores acima do recomendado, o que pode comprometer o processo fermentativo e a conservação do material ensilado.

Tabela 1 - Teores de matéria seca (MS) na silagem de Capiaçu com adição de ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata*)

Tratamento	**Repetição 01**	**Repetição 02**	**Repetição 03**	**Médias ± DP**
0%	13,4	13,67	12,79	13,29 ± 0,45
5%	12,57	13,53	15,84	13,98 ± 1,66
10%	21,6	19,09	22,6	21,09 ± 1,78

Fonte: Barros et al. 2025

Tabela 2 – Teores de pH na silagem de Capiaçu com adição de ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata*)

Tratamento	**Repetição 01**	**Repetição 02**	**Repetição 03**	**Médias ± DP**
0%	3,9	3,91	3,96	3,92 ± 0,03
5%	4,83	5,03	5,16	5,00 ± 0,17
10%	5,01	4,83	4,92	4,92 ± 0,09

Fonte: Barros et al. 2025

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos evidenciam que a inclusão de aditivos proteicos, interfere diretamente nas características fermentativas da silagem de capiaçu, com reflexo sobre a matéria seca e o pH. Embora a adição tenha promovido incremento nos teores de MS em relação ao tratamento controle, os valores ainda permaneceram abaixo da faixa considerada ideal (30–35%), o que pode limitar a eficiência do processo fermentativo. Além disso, observou-se elevação do pH para níveis superiores a 4,2, indicando fermentação menos eficiente e potencial risco à estabilidade do material ensilado. Nesse contexto, a utilização de aditivos proteicos, como ureia, farelo de soja e parte aérea da mandioca, surge como alternativa estratégica a ser avaliada, uma vez que podem contribuir não apenas para elevar o teor de matéria seca, mas também para melhorar o perfil fermentativo e a qualidade bromatológica.

REFERÊNCIAS

1. FASOLO, P. J.; CARVALHO, A. P. de. *Desidratação de forragem de aveia branca para alimentação animal*. Universidade Estadual de Londrina, 2021.

2. McDONALD, P.; HENDERSON, A. R.; HERON, S. J. E. *The biochemistry of silage*. 2. ed. Marlow: Chalcombe Publications, 1991.

3. TOMICH, T. R.; CAVALCANTI, E. A.; FONSECA, M. A. de S.; SILVA, A. R. da; ALMEIDA, R. G. de. *Produção e qualidade de silagens de milheto e capim-paiaguás em monocultivo e consórcio em diferentes sistemas de forrageamento*. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 13, n. 3, p. 456–468, 2012.

4. SILVA, A. R. da; ALMEIDA, R. G. de; CAVALCANTI, E. A.; FONSECA, M. A. de S.; TOMICH, T. R.; SILVA, A. R. da. Perfil fermentativo, valor nutricional e estabilidade aeróbia de silagens de cana-de-açúcar com diferentes fontes de proteína. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 46, n. 11, p. 1017–1026, 2017.

5. NEUMANN, M.; RIBEIRO, K. G.; PEREIRA, O. G.; SILVA, A. R. da; FONSECA, M. A. de S.; TOMICH, T. R. Aditivos na ensilagem de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, n. 11, p. 2389–2396, 2010.

6. KUNG JR., L.; RANJIT, N. K.; HILL, D. S.; MCDONALD, P. Silage additives. In: MCDONALD, P.; EDWARDS, R. A.; GREENHALGH, J. F. D.; MORRIS, C. (Ed.). *Animal nutrition*. 6. ed. London: Longman Scientific & Technical, 2003. p. 342–359.

7. YITBAREK, M.; TAMIR, B. Silage additives: Review. *Open Journal of Applied Sciences*, v. 4, p. 258–274, 2014.

8. DANIEL, R. M.; SOUZA, L. M.; PEREIRA, J. C. Histórico da utilização de silagem no Brasil e impactos na produção animal. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 48, e20180314, 2019.

9. OLIVEIRA, A. J. V.; PEREIRA, O. G.; SILVA, D. J.; OLIVEIRA, L. S.; PEREIRA, M. A. Efeito da inclusão de farelo de soja na silagem de milho sobre o perfil fermentativo, valor nutritivo e microbiota ruminal. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 48, n. 3, p. e20180003, 2019.

10. MA, J., et al. Silage additives improve fermentation quality, aerobic stability and rumen degradation of mixed silage. *Frontiers in Plant Science*, v. 14, 112345, 2023.

11. FIORAVANTI, M. C. S., et al. Uso de silagem na pecuária brasileira: histórico e tendências. *Revista Ciência Animal Brasileira*, v. 21, n. 1, p. 12–28, 2020.

12. OLIVEIRA, Neide Judith de. Mesmo desidratado, ora-pro-nóbis mantém elevado teor de proteína. *Universidade Federal de Minas Gerais*, 31 ago. 2018.

13. SENA, L. S.; ROCHA JÚNIOR, V. R.; REIS, S. T. dos; MATOS E OLIVEIRA, L.; MARQUES, K. M. S.; TOMICH, T. R. Degradabilidade das silagens de diferentes frações da parte aérea de quatro cultivares de mandioca. Ciência Animal Brasileira, Goiânia, v. 15, n. 3, p. 249-258, jul. 2014.

14. ALMEIDA, J.; FERREIRA FILHO, J. R. Mandioca: uma boa alternativa para alimentação animal. Bahia Agrícola, Salvador, v. 7, n. 1, p. 50-56, set. 2005.

15. MORAES, E. H. B. K.; PAULINO, M. F.; ZERVOUDAKIS, J. T.; VALADARES FILHO, S. C.; CABRAL, L. S.; DETMANN, E.; VALADARES, R. F. D.; MORAES, K. A. K. Associação de diferentes fontes energéticas e protéicas em suplementos múltiplos na recria de novilhos mestiços sob pastejo no período da seca. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 914–920, 2006.

16. RENNÓ, L. N.; VALADARES FILHO, S. C.; PAULINO, M. F.; DETMANN, E.; VALADARES, R. F. D.; CAMPOS, J. M. S.; OLIVEIRA, A. S. Níveis de uréia na ração de novilhos de quatro grupos genéticos. Consumo e digestibilidades. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 34, n. 2, p. 617–628, 2005.

17. PAIXÃO, M. L.; VALADARES FILHO, S. C.; DETMANN, E.; VALADARES, R. F. D.; SOUZA, N. K. P.; PINA, D. S. Níveis de uréia na ração de

novilhos de quatro grupos genéticos. Digestibilidade aparente dos nutrientes, pH e concentração de amônia ruminal. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 35, n. 6, p. 2451–2460, 2006.

18. MOSCARDINI, L. F.; CAMPOS, J. M. S.; NUSSIO, L. G.; NUSSIO, C. M. B.; RODRIGUES, P. H. M. Avaliação da adição de uréia, inoculante microbiano e farelo de soja na ensilagem de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 27, n. 5, p. 987–993, 1998.

19. ABARGHUEI, M. J.; YAN, T.; SHINDE, A.; BEAUCHEMIN, K. A. Effects of urea supplementation on nutrient digestibility, rumen fermentation, nitrogen metabolism and microbial protein synthesis in dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, v. 239, p. 10–18, 2018.

20. LOPES, J; EVANGELISTA, A. R; ROCHA, G. P. Valor nutricional da silagem de cana - de - açúcar acrescida de uréia e aditivos absorventes de umidade. Revista Brasileira de Zootecnia, v.36, n.4, p.1155-1161, 2007.

21. KHAMPA, S.; WANAPAT, M.; INPIM, W.; RAKKHEAW, W. Supplementation of urea–calcium mixture in total mixed ration silage on rumen fermentation efficiency and nutrient digestibility in dairy steers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, v. 29, n. 11, p. 1600–1607, 2016.

22. ABARGHUEI, M. J.; YANG, W. Z.; ZEBELI, Q. Effects of partial substitution of soybean meal with urea or molasses-urea block on feed intake, digestibility, ruminal fermentation and blood metabolites in growing lambs. *Animal Feed Science and Technology*, v. 239, p. 41–52, 2018.

23. ALADARES FILHO, S. C.; VALADARES, R. F. D.; SILVA, S. L.; PEREIRA, J. C.; SANTOS, C. A.; SANTOS, C. R. *Nutrição de ruminantes*. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2016. 416 p.

24. Oliveira, A. J. V.; Pereira, O. G.; Silva, D. J.; Oliveira, L. S.; Pereira, M. A. *Efeito da inclusão de farelo de soja na silagem de milho sobre o perfil fermentativo, valor nutritivo e microbiota ruminal*. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 48, n. 3, p. e20180003, 2019.

25. Garcez, Kelli Flores; Schneider, Cibele Regina; Bragança, Lueli Fernandes; Neres, Marcela Abbado; Krolow, Rodrigo Holz; Azevedo, Eduardo Bohrer de. Adição de farelos de milho, soja e arroz melhoram a conservação e valor nutricional de silagens de Tifton. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, Curitiba, v.6, n.2, p. 1773-1790, abr./jun., 2023. DOI: 10.34188/bjaerv6n2-066.

26. IYER, S.; MATTINSON, D. S.; FELLMAN, J. K. Study of the early events leading to cassava root postharvest deterioration. Tropical Plant Biology, v. 3,n. 3, p. 151-165, 2010.

27. Nogueira, Marie Bento; Beber, Paulo Márcio, da Silva, Laine Oliveira, Diniz, JeffersonViana Alves; Peixoto, Renato Mesquita; Silveira, Éderson Silva; Rosa, Bruna Laurindo; Schumacher Andrade Bezerra[2]. COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE SILAGEM DA PARTEAÉREA E RESÍDUOS DO PROCESSAMENTO DA MANDIOCA. Revista Conexão na Amazônia, ISSN 2763-7921, v. 2, n. 2, ano 2021 Página 142-155.

28. SILVA, J. F.; OLIVEIRA, A. S.; COSTA, R. Qualidade de silagem da parte aérea da mandioca com adição de diferentes concentrações de milho moído. *Revistas UNIPAM*, v. 12, n. 3, p. 1–12, 2023.

29. MUCK, R. E. Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. *Journal of Dairy Science*, v. 101, n. 5, p. 3980–4000, 2018.

30. MA, J.; LI, Y.; ZHANG, X.; WANG, Q.; LI, F. Silage additives improve fermentation quality, aerobic stability and rumen degradation of mixed silage. *Frontiers in Plant Science*, v. 14, p. 112345, 2023.

31. MCDONALD, P.; EDWARDS, R. A.; GREENHALGH, J. F. D.; MORRIS, R. A. *Animal Nutrition*. 5. ed. Essex: Longman Scientific & Technical, 1991. 607 p.

Capítulo 09

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-09

PROPOSIÇÃO DE UMA ROTINA DE BOAS PRÁTICAS PARA O SETOR DE RECICLAGEM ANIMAL

Bruna de Sousa Silva

**Autor correspondente – Email: bruna.sosuasv@gmail.com*

Resumo: A reciclagem animal, voltada ao aproveitamento de subprodutos de origem animal, contribui para a redução de impactos ambientais, preservação dos recursos naturais e prevenção de doenças, desde que siga requisitos sanitários que assegurem a qualidade e segurança dos produtos. Apesar de ser uma solução para resíduos de abatedouros e frigoríficos, o setor pode gerar conflitos de vizinhança, como odores e ruídos, além de problemas ambientais, como a geração de efluentes. Por isso, é essencial a adoção de boas práticas que aperfeiçoem os processos industriais. Foi realizada a proposição de rotina de boas práticas com base em informações coletadas junto à população de Brazlândia e a representantes de indústrias de reciclagem animal. O primeiro levantamento indicou que a indústria localizada a 11,9 km da cidade emite odores desagradáveis. Já no contato com empresas do setor, verificou-se que há dificuldades em resolver problemas desse processo, embora algumas práticas sejam utilizadas, ainda sem documentação.
Diante disso, destaca-se a necessidade de padronização das boas práticas para o setor, garantindo responsabilidade social e ambiental sem comprometer o meio ambiente ou a comunidade vizinha. Entre as medidas propostas estão: reaproveitamento da água residuária, uso de caldeira de biomassa, desmineralização da água, tratamento e destinação do lodo para centrais de biogás, utilização de filtros de gases e isolamento acústico de equipamentos e edificações.

Palavras–chave: Boas Práticas; Graxarias; Reciclagem Animal

INTRODUÇÃO

O setor de Reciclagem Animal é um segmento da economia ligado à cadeia produtiva animal, cuja função é recolher e processar os resíduos provenientes do abate animal, transformando-os em ingredientes que serão utilizados na fabricação de diversos produtos. Este processo, que transforma resíduos de abatedouros e frigoríficos em farinhas e gorduras, evita que o subproduto do abate se torne um resíduo e contribua para o aumento dos resíduos urbanos no país. A atividade da reciclagem animal é fundamental, pois oferece variados benefícios ambientais, como a contribuição para a minimização dos impactos ambientais, a preservação dos recursos naturais e a prevenção de doenças.

No Brasil, essa atividade tem potencial significativo, visto que o potencial de reciclagem dos resíduos de abate animal pode ser equivalente a 100% do material residual coletado. A reciclagem animal é citada como uma solução para os resíduos gerados em frigoríficos e abatedouros, e é reconhecida pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como "atividade de interesse público". Sem a atuação deste setor, resíduos orgânicos, que são

facilmente degradáveis e possuem alta perecibilidade e umidade, seriam descartados de forma inadequada, podendo causar odores desagradáveis e atuar como vetores de doenças. A ausência do setor de Reciclagem Animal poderia ocasionar danos ambientais sérios, incluindo a contaminação do solo, ar e água, além de reduzir a capacidade de aterros sanitários e elevar os riscos de doenças.

Contudo, apesar de gerar benefícios ambientais, o setor de Reciclagem Animal pode gerar impactos ambientais negativos, como efluentes líquidos e gasosos, resíduos sólidos, ruído e odores desagradáveis. Tais problemas, como ruídos e odores, podem inclusive gerar conflitos de vizinhança e afetar a qualidade de vida da população situada próximo aos empreendimentos. Observa-se, portanto, a necessidade de aprimoramentos no que diz respeito à incorporação da gestão ambiental nas indústrias que compõem este tipo de produção.

O objeto de estudo desta pesquisa é, assim, uma proposição de uma rotina de boas práticas para o setor de reciclagem animal, analisando os impactos ambientais negativos e as ações que podem minimizar ou impedir a ocorrência desses efeitos.

O objetivo geral é analisar as perspectivas para a incorporação da gestão ambiental no setor de Reciclagem Animal e estruturar uma proposta de rotina de boas práticas ambientais que auxiliem no aprimoramento do desempenho ambiental das indústrias.

No contexto científico e tecnológico, a proposta desenvolvida busca padronizar as indústrias do setor, garantindo a responsabilidade social e ambiental no local de operação, sem impactar o meio ambiente ou a população circunvizinha. A proposição de rotinas de boas práticas pode ser implementada para garantir o aperfeiçoamento da gestão ambiental e, posteriormente, auxiliar na obtenção de certificações como a ISO 14001.

As boas práticas propostas envolvem alternativas tecnológicas e de manejo que otimizam os processos e colaboram com a preservação do ecossistema.

Em termos de contribuição para o avanço do conhecimento, este trabalho demonstrou a possibilidade de inserir práticas ambientais sustentáveis e pode ser considerado um marco de atualização para estruturar a adoção de práticas sustentáveis nesse tipo de indústria. A pesquisa ainda ressalta a importância do setor no cumprimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que prioriza a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e destinação ambientalmente adequada dos resíduos.

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia adotada para o desenvolvimento deste trabalho foi organizada em etapas sistemáticas de levantamento e análise de informações, com o objetivo de propor uma rotina de boas práticas ambientais para o setor de reciclagem animal.

O processo metodológico foi dividido em duas fases principais. A primeira consistiu no levantamento de dados, tanto secundários quanto primários. Os dados secundários foram obtidos por meio de revisão bibliográfica e análise de literatura técnica, incluindo documentos da Associação Brasileira de Reciclagem Animal (ABRA), a norma ISO 14001, que define requisitos para sistemas de gestão ambiental, e a ISO 19001, voltada às diretrizes de auditoria em sistemas de gestão da qualidade e ambiental.

Já a coleta de dados primários envolveu dois públicos distintos, por meio de formulários online. O primeiro grupo foi a população residente nas proximidades da indústria de reciclagem animal em Brazlândia-DF. O objetivo foi identificar percepções

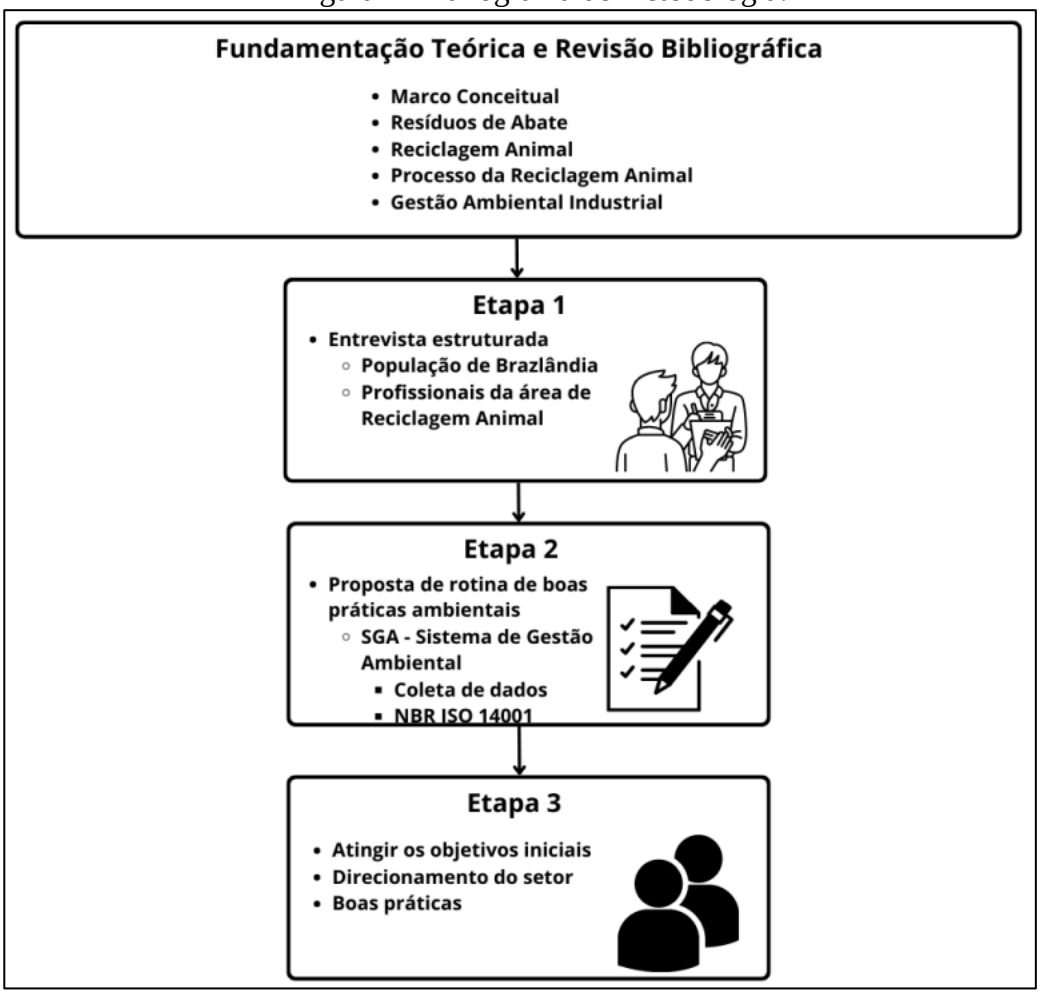
sobre responsabilidade social e ambiental, com ênfase em odores e ruídos, impactos frequentemente apontados como os mais incômodos no cotidiano. O formulário contemplou questões de caracterização do entrevistado, identificação de problemas e espaço para relatos abertos.

O segundo público foi formado por profissionais e representantes do setor, alcançados em parceria com a ABRA. A coleta buscou mapear práticas já utilizadas, identificar dificuldades e documentar boas práticas em andamento. As questões abordaram certificações ambientais, principais problemas enfrentados (como odor, ruído, efluentes, resíduos sólidos, consumo de água e energia) e práticas implementadas, permitindo inclusive o envio de documentos e relatórios complementares.

Na segunda fase da metodologia foi elaborada a proposta de rotina de boas práticas ambientais. Fundamentada nos requisitos da NBR ISO 14001 e orientada pelos dados coletados nas entrevistas, essa etapa estruturou orientações aplicáveis ao setor de reciclagem animal, com o propósito de otimizar sua gestão ambiental e reduzir impactos negativos.

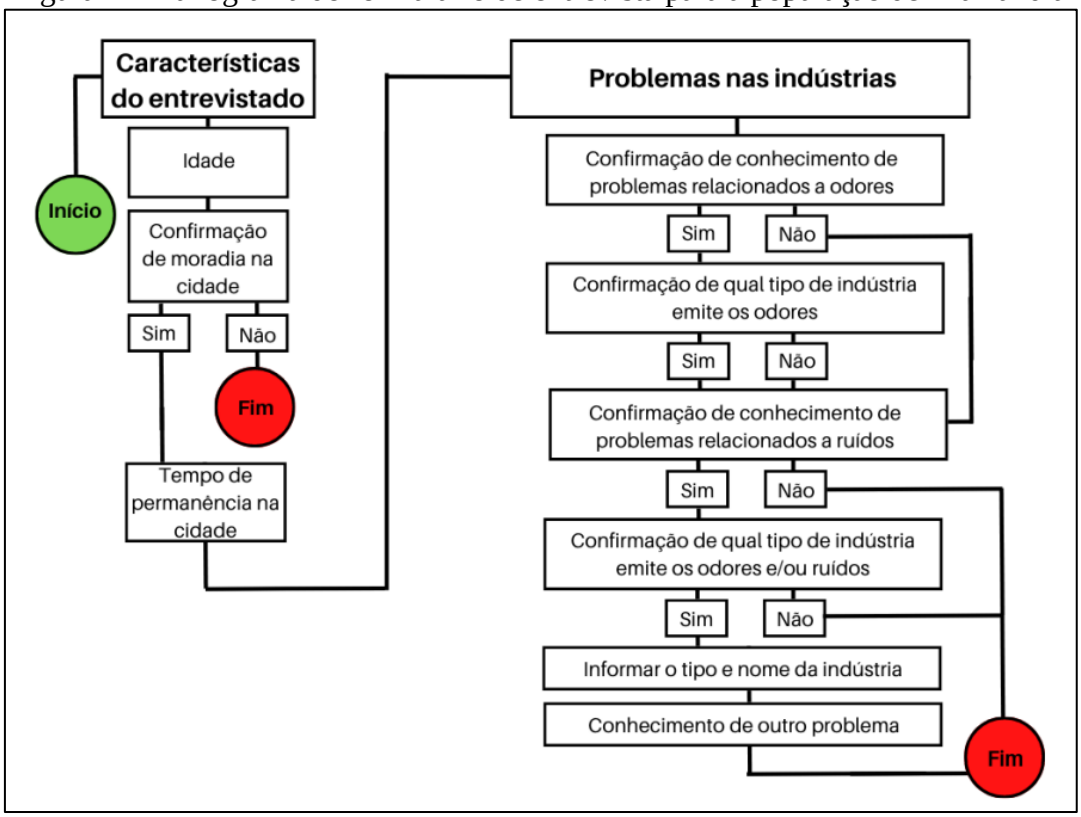
A Figura 1 apresenta o fluxograma da metodologia, que retrata todas as etapas da pesquisa: fundamentação teórica e revisão bibliográfica; Etapa 1, entrevista estruturada; Etapa 2, proposta de rotina de boas práticas; e Etapa 3

Figura 1- Fluxograma de metodologia.



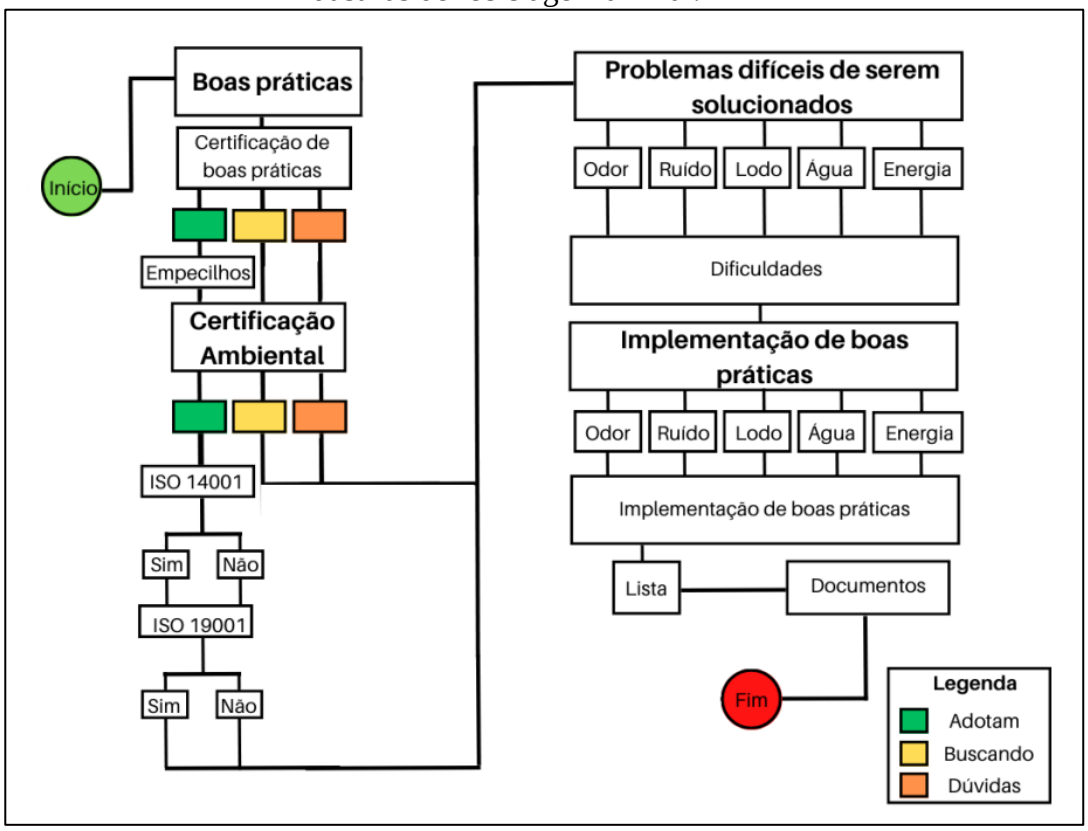
A Figura 2 apresenta o fluxograma do formulário de entrevista aplicado à população de Brazlândia, contendo as características dos entrevistados e os problemas nas indústrias identificados por eles.

Figura 2 - Fluxograma do formulário de entrevista para a população de Brazlândia



A Figura 3 retrata o fluxograma do formulário de entrevista para representantes das indústrias de reciclagem animal, no qual são coletadas informações sobre boas práticas e problemas encontrados na indústria que apresentam dificuldade de solução.

Figura 3 - Fluxograma do formulário de entrevista para representantes das indústrias de reciclagem animal.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Coleta de Informações com a População de Brazlândia-DF

O levantamento de dados foi realizado em duas frentes: com a população próxima à indústria e com representantes do setor de reciclagem animal, conforme detalhado na metodologia.

A coleta de informações por meio de formulário online obteve 59 respostas ao longo de duas semanas. O formulário buscou caracterizar o público e levantar informações sobre a percepção de problemas ambientais (odores e ruídos) emitidos por indústrias. Das 59 respostas, 53 pessoas eram moradoras da cidade. A maioria (47 das 56 pessoas que moram ou já moraram) reside no local há mais de 12 anos, o que confere maior veracidade aos fatos relatados, dada a experiência de longo tempo na área.

Identificação de Odores: Na segunda etapa da pesquisa, 42 das 56 respostas tinham conhecimento da existência de uma indústria que emitia odores desagradáveis. Destas, 27 conseguiram identificar que se tratava da indústria objeto de estudo (uma fábrica de frangos), sendo o odor mais forte em alguns períodos do ano.

Foi constatado que a indústria está localizada a 11,9 km de distância de Brazlândia. Mesmo com essa distância, a grande maioria da população tem conhecimento da presença dos odores emitidos. Os odores fugitivos são a principal queixa dos moradores e este é um impacto ambiental que necessita de tratamento. A presença constante de odores desagradáveis pode gerar conflitos de vizinhança e afetar a qualidade de vida das pessoas.

Em contraste com os odores, o impacto de ruído não foi amplamente captado pela população. Apenas 6 respostas relataram conhecimento da existência de indústrias que emitem ruídos, e dessas, apenas 2 identificaram a indústria, mas não era a do estudo da pesquisa.

Coleta de Informações com Representantes das Indústrias

A coleta com representantes do setor de reciclagem animal, realizada em parceria com a ABRA, resultou em apenas 2 respostas no período de 28 dias.

Uma indústria adota algum tipo de certificação relacionada a boas práticas (BPF do Sindirações) e a outra está buscando a certificação GMP (internacional). Entretanto, nenhuma das empresas entrevistadas possui a certificação NBR ISO 14001 ou ISO 19001. A proposição de rotinas de boas práticas pode ser o passo inicial para o aperfeiçoamento da gestão ambiental e posterior obtenção destas certificações.

Ambas as indústrias reportaram dificuldades em solucionar problemas relacionados a odor e ruído. A dificuldade reside no controle da emissão de gases gerados no processo, especificamente compostos amoníacos e sulfídricos. Os ruídos advêm da movimentação de caminhões, da necessidade de utilizar sirenes e do funcionamento da caldeira. As empresas já adotam diversas ações para minimizar impactos, embora nem sempre documentadas. Ambas utilizam treinamento de funcionários, EPI, monitoramento de exposição e avaliação de ruídos pelo PPRA.

Ambas realizam limpeza diária dos lavadores de gases, utilizam cordão arbóreo e vegetal e adicionam produtos químicos para a redução do odor. As duas indústrias utilizam caldeiras de biomassa, realizando a cogeração de energia (vapor para o processo produtivo e energia para uso próprio, com excedente para venda). Uma empresa realiza o reaproveitamento de água oriunda da desmineralização da água da caldeira para limpeza de áreas externas e industriais, e faz o aproveitamento de água residuária do processo produtivo na fertirrigação. Uma indústria destina o lodo gerado à compostagem licenciada para adubação e uso agrícola.

Proposta de Rotina de Boas Práticas Ambientais

A proposição de uma rotina de boas práticas tem como objetivo maximizar a eficiência, garantir a segurança, promover a sustentabilidade ambiental, e assegurar a conformidade regulatória e a responsabilidade social. A rotina foi estruturada com base nos requisitos da NBR ISO 14001 e nos dados coletados, levando em consideração os impactos ambientais listados no manual de graxarias da CETESB.

O fato de a população estar sujeita aos odores fugitivos, mesmo a uma distância considerável, reforça a necessidade de a indústria adotar práticas sociais e ambientais para melhorar a interação comunidade-indústria.

Visto que o odor é a principal queixa da população, as práticas devem ir além das atuais. É fundamental realizar higiene industrial com frequência, e, crucialmente, instalar estações de qualidade do ar e aproximar-se da população circunvizinha para troca de informações e conscientização. Além disso, a localização próxima ao local de coleta dos resíduos minimiza a degradação e a emissão de odores fugitivos. Além do uso de EPI e treinamentos, é essencial a manutenção regular dos equipamentos ruidosos e o isolamento acústico dos equipamentos e edifícios para proteger a comunidade circunvizinha.

O aproveitamento de águas residuárias (fertirrigação) já é uma prática, mas pode ser complementada pelo aproveitamento de águas pluviais para uso interno, o que também reduz o risco de enchentes. A preservação dos recursos hídricos deve ser garantida por meio de medições, monitoramento e atualização de equipamentos. O uso da caldeira de biomassa é um ponto forte. Outras medidas incluem a adoção de iluminação LED e sistemas de controle automáticos, a utilização de energias renováveis (como a solar) e a realização de auditorias energéticas para identificar perdas. A destinação do lodo para compostagem é positiva, mas é vital que haja um tratamento adequado (como o adensamento) para evitar que a presença de contaminantes (como detergentes/desinfetantes) ou coagulantes restrinja seu uso final, seja em uso agrícola, centrais de biogás ou recuperação de áreas degradadas.

Em síntese, a proposição de rotina final de boas práticas integra as tecnologias e medidas de manejo que otimizam os processos e garantem a preservação do ecossistema. Este trabalho serve, portanto, como um marco de atualização para estruturar a adoção de práticas sustentáveis nesse tipo de indústria.

CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como Objetivo Geral analisar as perspectivas para a incorporação da gestão ambiental no setor de Reciclagem Animal e estruturar uma proposta de rotina de boas práticas ambientais que auxiliem no aprimoramento do desempenho ambiental das indústrias.

Foi possível analisar os impactos ambientais. O levantamento de dados demonstrou que as indústrias do setor enfrentam dificuldades em solucionar problemas relacionados a odor e ruído. Especificamente, a população de Brazlândia, mesmo estando a 11,9 km de distância da indústria de reciclagem animal, tem conhecimento da presença de odores desagradáveis emitidos, sendo esta a principal queixa dos moradores. Em contrapartida, os ruídos não foram amplamente captados pela população.

Os resultados indicam que, apesar de o setor de reciclagem animal gerar diversos benefícios ambientais (como a minimização dos impactos e preservação de recursos), a emissão de odores e ruídos pode gerar conflitos de vizinhança e afetar a qualidade de vida da população circunvizinha. A constatação de que o odor é percebido a longa distância reforça a necessidade de a indústria adotar práticas sociais e ambientais para melhorar a interação comunidade-indústria.

O trabalho demonstrou a possibilidade de inserir práticas ambientais sustentáveis. Foi estruturada uma proposição de rotina de boas práticas ambientais (Tabela 11) com base na análise dos impactos, nos requisitos da NBR ISO 14001 e nas práticas já implementadas pelas indústrias. Essas boas práticas incluem o reaproveitamento da água residuária, o uso

de caldeira de biomassa e filtros de gases, a destinação do lodo gerado, e o isolamento acústico de equipamentos para minimizar ruídos.

Contudo, a proposição de rotinas de boas práticas pode ser o passo inicial para garantir o aperfeiçoamento da gestão ambiental e, posteriormente, auxiliar na obtenção destas certificações.

As práticas documentadas, mesmo aquelas de 15 anos atrás, ainda são consideradas válidas, mas há a necessidade de atualização. O trabalho pode servir como um marco de atualização para estruturar a adoção de práticas sustentáveis nesse tipo de indústria. No entanto, a falta de documentação disponível de boas práticas e tecnologias utilizadas, bem como a baixa adesão à pesquisa por parte das indústrias, são empecilhos para estudos mais direcionados ao setor.

A partir do trabalho executado, algumas sugestões de pesquisa futura são recomendadas, visando o avanço do conhecimento e a validação das propostas:

• Validar a proposição de rotina de boas práticas para o setor de reciclagem animal por meio de painel de especialistas e aperfeiçoar o que for necessário.

• Realizar um estudo acerca do tratamento de efluentes nas indústrias de reciclagem animal.

• Efetuar a modelagem da emissão de odores fugitivos na indústria localizada em Brazlândia-DF.

• Quantificar a emissão de CH4 (Metano) e CO2 (Dióxido de Carbono) na ausência do setor de reciclagem animal.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a todos que vieram antes de mim e tornaram possível a realização desta conquista.

Aos meus pais, Gessileide e Mardem, pelo apoio incondicional, pela inspiração e pelos sacrifícios que fizeram para me proporcionar as oportunidades que hoje desfruto. Mesmo à distância, estiveram sempre na torcida, incentivando-me a perseguir meus sonhos e a dar o meu melhor.

À minha irmã Emanuele, pelo amor, carinho, alegria e pela coragem que me inspira diariamente. Mesmo tão pequena, foi essencial para que eu mantivesse viva minha imaginação e esperança.

Ao meu namorado, João Pedro, por todo o apoio emocional, pelos conselhos, incentivos, compreensão e presença constante ao longo desta jornada.

Aos amigos que ganhei nesse percurso, Débora, Ivana, Janara e Cristiano, pelo companheirismo, pelas risadas, pelo apoio nos trabalhos e por tornarem cada dia de graduação mais leve e especial.

Ao professor Ricardo Tezini Minoti, pela orientação atenciosa, pela dedicação em inspirar seus alunos a enxergarem a graduação como instrumento de transformação social e pelos valiosos conselhos que levarei comigo.

Por fim, agradeço à sociedade pela confiança depositada na educação. Desejo contribuir com o avanço do conhecimento e que meus esforços possam auxiliar na solução de problemas, gerar benefícios e melhorar a qualidade de vida da população.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2015). NBR ISO 14001. Sistema de Gestão Ambiental – Requisitos com orientação para uso. Brasil, 2015

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 19011: Diretrizes para auditoria de sistemas de gestão. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ABRA – Associação de Reciclagem Animal (2021). Anuário ABRA 2021. Disponível: Acesso em: setembro de 2025.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2008). Guia Técnico Ambiental de Graxarias – Série P+L. Disponível: Acesso em: setembro de 2025.

Capítulo 10

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-10

DESENVOLVIMENTO DE PROTOCOLO PARA A ADUBAÇÃO ORGANOMINERAL NA CULTURA DA BANANA

Felipe Ferreira Lô*; Rodrigo Vieira da Silva ; Emmerson Rodrigues de Morais ; Matheus César Barbosa.

**Autor correspondente (Corresponding author) – Email: felipeferreiralo1284@gmail.com*

Resumo: A banana é a fruta mais consumida no Brasil, de consumo versátil, rica em potássio, vitaminas e fibras, presente constante nas mesas dos brasileiros. A adubação organomineral, além de ser uma opção de fertilizante mais sustentável, traz uma série de vantagens, a saber: incremento da matéria orgânica; neutralização de substâncias tóxicas; aumento da atividade microbiana; aumento da disponibilidade de fósforo; elevação da CTC. Portanto, constitui-se numa alternativa promissora para a destinação segura de resíduos vegetais e animais. O objetivo do presente trabalho foi validar um protocolo de adubação com os produtos Arkophós e Blackbio. O experimento foi instalado no delineamento em blocos casualizados com quatro tratamentos e seis repetições, onde receberam uma adubação de diferentes doses de cada produto, Arkophós: 0; 2,25; 4,5; e 6,75 kg respectivamente, e do Blackbio: 0; 1,5; 3,0; e 4,5 kg respectivamente. Avaliou-se diâmetro e altura das plantas neta e a disponibilidade de fósforo ao longo de um ano. A primeira medição foi realizada após a instalação do experimento e a última em junho de 2025. Disponibilidade de P melich^{-1} no solo perfil de 0 a 20 cm aos 1, 6 e 12 meses após a adubação. Os tratamentos que receberam os adubos Arkophós e Blackbio apresentaram uma maior média de altura (297 cm no T4, sendo 17,5 cm maior que a média do tratamento controle) e diâmetro (25,94 cm no T3, sendo 2,39 cm maior que o tratamento controle da bananeira neta. O tratamento 4 (6,75 kg do Arkophós e 4 kg do Blackbio) foi o que apresentou uma maior disponibilidade dos nutrientes ao longo dos doze meses, mantendo valores entre 54 a 56,7 nas análises de disponibilidade de fósforo, sendo a menor variação analisada. Os fertilizantes organominerais Arkophós e Blackbio para a cultura da banana comportaram de modo semelhante aos químicos sintéticos.

Palavras-chave: fertilizantes; *Mussa* spp.; produtividade; sustentabilidade

INTRODUÇÃO

A banana (*Mussa* spp.) é uma fruta saborosa e nutritiva, sendo a mais consumida no mundo (1). O Brasil é o maior consumidor mundial e o quarto maior produtor, com 6,8 milhões de toneladas produzidas em 457 mil hectares, metade originária da agricultura familiar (1). Um dos fatores mais importantes para a produtividade ótima das culturas é a adubação racional, eficiente e equilibrada. A adubação otimiza a produtividade dos cultivos agrícolas, porém, o uso de fertilizantes também aumenta os custos de produção, devendo ser utilizado de forma sustentável.

A eficiência das adubações é influenciada pelas características específicas dos adubos, pela dose, pelo método e pela forma de aplicação, e também pelas práticas de manejo e características do solo (2). Os principais nutrientes exigidos pela banana são: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, boro e zinco (3).

Os fertilizantes químicos solúveis são os mais usados nos bananais brasileiros e impactam o custo de produção, devido ao preço alto e aos custos associados à aplicação e à gestão desses insumos (4). Os fertilizantes químicos são importados de outros países e derivados de recursos não renováveis, como rochas de fosfatos e potássio, cuja exploração excessiva pode levar à escassez e à degradação ambiental (5).

Uma das alternativas para uma melhor produtividade, sem a alta demanda de fertilizantes químicos é a utilização de fertilizantes organominerais. Estes apresentam características de liberação lenta dos nutrientes, ou 'slow realease', que ocorre em função da presença de matéria orgânica associada à fonte mineral (6).

A utilização de adubos organominerais são significativos para o crescimento e desenvolvimento das culturas devido à grande quantidade de matéria orgânica e minerais presentes nesses adubos, reduzindo, com isto, as perdas dos nutrientes como nitrogênio, potássio, fósforo em relação quando se aplica os adubos químicos, além de devolver vida ao solo mediante a proliferação de microrganismos que reestrutura o solo e promove melhor absorção dos nutrientes aplicados (7).

Os fertilizantes organominerais apresentam menores perdas de nutrientes seja por lixiviação e/ou volatilização, melhorando o aproveitamento pelas plantas, uma vez que o componente orgânico deste produto, seja proveniente da turfa, de dejetos animais, compostos orgânicos ou resíduos da agroindústria, ajudando a melhorar a CTC dos solos (2).

As regras e demais especificações sobre fertilizantes orgânicos e biofertilizantes destinados à agricultura obedecem à Instrução Normativa n.º 61 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, de 8 de julho de 2020 (8). Esta preconiza que o adubo organomineral deve conter determinadas quantidades de carbono orgânico, umidade, CTC, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, além de micronutrientes. Os produtos utilizados são derivados de materiais orgânicos naturais, como esterco, compostagem, resíduos de plantas, microrganismos benéficos e outros subprodutos biológicos.

De acordo com a Arko Fertilizantes (empresa criadora dos fertilizantes), a base da matéria prima são substâncias húmicas, moléculas altamente complexas, que apresentam uma organização superestrutural, tornando estas moléculas ao mesmo tempo recalcitrantes, ajudando a estocar carbono no solo e também o seu aporte eleva a CTC contribuindo assim para a fertilidade do solo. A medida que o solo se enriquece com essas supramoléculas, há o fornecimento de grupamento funcionais que fazem além de estabilizar o carbono no solo, a interação com a retenção de cátions metálicos (nutrientes), aumentando assim a CTC, fornecendo energia para a comunidade microbiana, proporcionando seu aumento, portanto, elevando a fertilidade do solo (9). Essas moléculas também tem a capacidade de estabelecer ligações com a matriz mineral do solo, ou seja, com a parte sólida do solo, proporcionando uma melhor agregação de suas partículas, promovendo uma maior estabilidade dessas estruturas o que favorece a permeabilidade, reduz as chances de compactação e perda de solo, sendo assim, contribuindo para a melhoria da qualidade física do solo (9).

Os fertilizantes organominerais são constituídos por matéria orgânica, que auxiliam na melhor utilização dos nutrientes pelas plantas. Assim, os fertilizantes organominerais fornecem os nutrientes de maneira gradual, diminuindo os custos e evitando perdas para o

ambiente (10). Assim uma das alternativas econômicas e para manter uma boa produtividade é a utilização de fertilizantes organominerais

Portanto, diante do exposto, objetivou-se no presente trabalho validar um protocolo de adubação com os produtos Arkophós e Blackbio. De modo a determinar a melhor dose dos compostos para o melhor desempenho da bananeira.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi instalado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Morrinhos. BR 153 - Km 633, Morrinhos/GO (-17.81304, -49.20341) no setor de fruticultura, como ilustrado na figura 1. A variedade de banana utilizada foi a BRS prata platina.



Figura 1: Local de execução do experimento no Instituto Federal Goiano - Campus Morrinhos

A área, ilustrada na figura 2 e tabela 1, foi dividida em quatro tratamentos (T1, T2, T3, T4) com seis repetições cada, com irrigação e cada tratamento sendo submetido a amostragens de solo no perfil de 0 a 20 cm, como mostrada na figura 3, para realizar análises químicas quanto a matéria orgânica, macro e micronutrientes e física para determinação da textura do solo.





Figura 2: Área do projeto.

Figura 3: Retirada das amostras.

Cada tratamento foi representado por seis famílias, onde cada uma é composta por várias bananeiras em diferentes estágios de crescimento, geralmente originadas de um único rizoma mãe. Estas foram espaçadas em 3,0 m entre famílias e 5,0 m entre linhas, totalizando uma área de 15,0 m² em cada repetição, a área total do experimento de 360 m².

Tabela 1: croqui do experimento especificando a área de cada tratamento no setor de fruticultura

T1	T1	T1	T1	T1	T1	T2	T2	T2	T2	T2	T2
T3	T3	T3	T3	T3	T3	T4	T4	T4	T4	T4	T4

Foram utilizados os produtos Arkophós e Blackbio simultaneamente durante a adubação. A aplicação foi realizada via solo na área total, com aplicação a lanço, sem a necessidade de incorporação, o que condiciona a melhoria da qualidade e saúde do solo em área total. Para a realização da adubação, a mesma foi dividida em quatro doses em seis repetições, como mostrado na tabela 2, onde o T1 (Controle), constituiu em um tratamento que não recebeu doses dos adubos. O fertilizante Arkophós foi aplicado em cada parcela nas respectivas doses: 0 kg; 2,25 kg; 4,5 kg; e 6,75 kg por família no raio de 1,0 m, constituindo os tratamentos: T1, T2, T3 e T4, respectivamente. O produto comercial Blackbio foi aplicado em cada tratamento, respectivamente nas doses: 0 kg; 1,5 kg; 3,0 kg; e 4,5 kg por família no raio de 1,0 m. Os produtos foram aplicados juntos na adubação convencional.

Tabela 2: Doses utilizadas dos produtos Arkophós e Blackbio.

Tratamentos	**Doses por bloco (Kg/família)**	
	Arkophós	**Blackbio**
1	0	0
2	2,25	1,5
3	4,5	3
4	6,75	4,5

Para o manejo das plantas daninhas durante o período experimental utilizou-se o herbicida MSMA (3,0 L ha^{-1}) e diuron (5,0 L ha^{-1}) em aplicação dirigida na linha. Nas ruas do plantio da banana utilizou-se uma roçadeira tratorizada para o controle das plantas daninhas.

As avaliações de altura e diâmetro foram realizadas no início do projeto (maio de 2024) e no fim do projeto (junho de 2025). O experimento foi instalado no delineamento em blocos casualizados com quatro tratamentos e seis repetições. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F a 5% de probabilidade, e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância no software “SISVAR” (11).

Para r ras de solo (figura 4), onde as m .



Figura 4: Amostras utilizadas na análise de fosforo no solo do bananal.

De cada amostra foi retirado 5 cm³ de solo e colocados em copo plástico com tampa (figura 5). Em seguida foi adicionado 50 ml de solução extratora (H2SO40, 0,00125 N e HCl 0,05 N = Mellich) (figura 6).



Figura 5: 5 cm³ de solo de cada amostra.

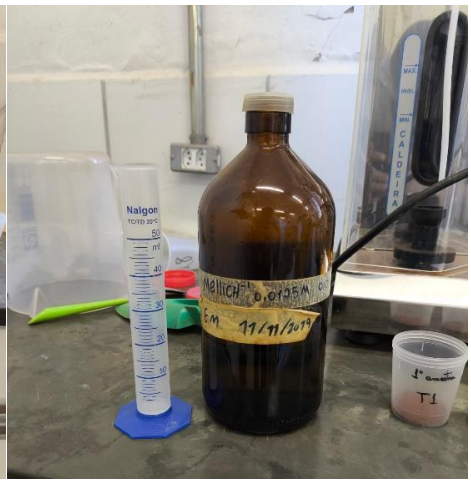


Figura 6: Solução utilizada.

Após a adição da solução, os copos foram levados para um agitador horizontal a 220 rpm por 15 minutos (figura 7 - A) e na sequência foram deixados em repouso até o outro dia (figura 7 - B).



Figura 7 – A e B: Copos no agitador a 220 rpm e Copos em repouso para decantamento.

No dia seguinte foi preparada uma solução com 20 ml de Molibdato (figura 8), 0,2 gramas de ácido ascórbico (figura 9 e 10) e o restante com água destilada para completar um balão volumétrico de 100 ml (figura 11).

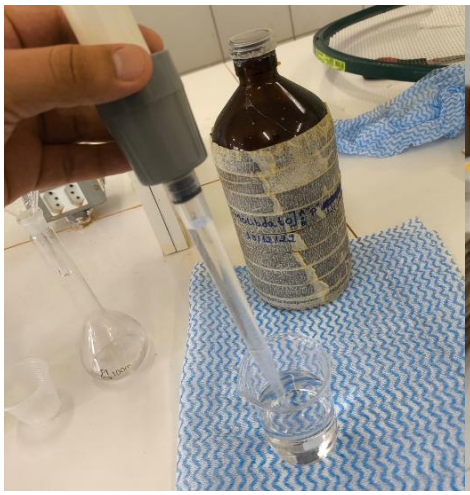


Figura 8: Retirada de 20 ml de Molibdato.



Figura 9: Ácido ascórbico utilizado no preparo da solução.



Figura 10: Pesagem do ácido ascórbico.



Figura 11: Balão volumétrico e água destilada.

Após preparo da solução foi retirado com uma pipeta volumétrica, 5 ml de cada amostra preparada anteriormente e separada em copos (um por repetição). A seguir foi retirado 5 ml da solução para cada amostra (figura 12).



Figura 12: Processo de retirada de 5 ml das amostras da solução presente no balão volumétrico.

Com esse procedimento concluído, os copos foram deixados em repouso por 45 minutos (figura 13) para assim ser possível realizar a leitura no espectrofotômetro (figura 14) a 725 nm (transmitância).

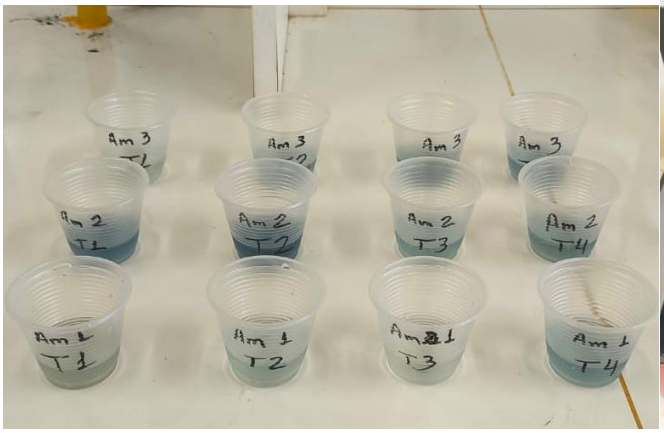


Figura 13: Amostras em repouso já apresentando coloração azul (índice de fósforo).



Figura 14: Leitura no espectrofotômetro.

Após descanso, cada amostra foi levada ao espectrofotômetro para realização da leitura e análise da disponibilidade de fósforo na área ao 1, 6 e 12 meses após a adubação.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados utilizados para a realização das análises estatísticas foram os obtidos a partir de medições realizadas a campo e em laboratório, sendo os mesmos dados de altura (cm), circunferência (cm), diâmetro (cm), teor de P melich-1 (mg dm-3) e teor de potássio disponível (mg dm-3). Os dados obtidos foram utilizados no programa “SISVAR” (11) para a obtenção de análises estatísticas. Foi realizada análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os seguintes dados foram obtidos:

Tabela 3: Médias das alturas das plantas netas.

Altura (cm)			
Tratamentos - Doses de Arkophós e Blackbio, respectivamente (t/ha)		Médias (cm)	
T1 -	0; 0	281,5	a
T2 -	1,5; 1,0	282,0	a
T3 -	3,0; 2,0	294,83	a
T4 -	4,5; 3,0	297,0	a
CV %		9,77	
Média		288,83	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%.

Tabela 4: Médias das circunferências das plantas netas.

Circunferência (cm)			
Tratamentos - Doses de Arkophós e Blackbio (t/há)		Médias (cm)	
T1 -	0; 0	73,50	a
T2 -	1,5; 1,0	78,00	a
T3 -	3,0; 2,0	79,00	a
T4 -	4,5; 3,0	80,83	a
CV %		13,23	
Média		77,83	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%.

Tabela 5: Médias dos diâmetros das plantas netas.

Diâmetro (cm)			
Tratamentos - Doses de Arkophós e Blackbio (t/há)		Médias (cm)	
T1 -	0; 0	23,39	a
T2 -	1,5; 1,0	24,82	a
T3 -	3,0; 2,0	25,14	a
T4 -	4,5; 3,0	25,73	a
CV %		13,23	
Média		24,77	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%.

Tabela 6: Médias de disponibilidade de fósforo nos tratamentos

P melich-1		
Tratamentos - Doses de Arkophós e Blackbio	(t/há)	Médias (kg dm-3)
T1 -	0; 0	54,40 a
T2 -	1,5; 1,0	62,13 a
T3 -	3,0; 2,0	62,40 a
T4 -	4,5; 3,0	65,33 a
CV %		13,22
Média		61,06

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%.

Tabela 7: Médias de teores de potássio disponível nos tratamentos.

Potássio kg dm-3		
Tratamentos - Doses de Arkophós e Blackbio	(t/há)	Médias (kg dm-3)
T1 -	0; 0	86,66 a
T2 -	1,5; 1,0	91,66 a
T3 -	3,0; 2,0	93,33 a
T4 -	4,5; 3,0	95,00 a
CV %		6,99
Média		91,66

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%.

Os resultados obtidos nas tabelas 3, 4 e 5 mostram que, segundo a ANOVA, não houve diferença estatística nas médias pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) em tais parâmetros avaliados.

Em relação aos teores de nutrientes, os dados discriminados nas tabelas 6 e 7 demonstram que não houve diferença estatística após ANOVA e teste de Tukey ($p < 0,05$). Assim, os tratamentos que receberam doses dos fertilizantes organominerais (Arkophós e Blackbio) não obtiveram resultados significativos quando comparados com o tratamento testemunha, que não recebeu a adubação. Logo, mesmo com doses diferentes os teores de nutrientes se mantiveram estáveis e sem grande alteração, provavelmente por conta da

liberação lenta dos nutrientes e pela retenção dos mesmos na matéria orgânica disponibilizada pelos fertilizantes organominerais.

Possivelmente, a ausência de diferença pode ser atribuída pelo tempo da aplicação, que pode não ter sido suficiente para implicar no desenvolvimento da cultura (12). As condições locais, como o solo, que é de textura argilosa, onde o mesmo já contava com bons teores de nutrientes e o fato de ser uma cultura perene com plantas jovens avaliadas, podem ter influenciado na ausência de diferença estatística entre os tratamentos. As dosagens fornecidas podem não ter sido suficientes para que a cultura da banana expressasse o seu máximo potencial de desenvolvimento. A utilização de outras dosagens dos adubos também poderia resultar em diferentes resultados sobre os

parâmetros avaliados.

Seria possível que o adubo organomineral apresente resultados significativos após ser utilizado em sequência ao longo das safras e dos anos, pelo melhor condicionamento de solo, mas em condições ótimas de fertilidade do solo, e com restrições de disponibilidade de água é possível que isso não ocorra (13).

Os benefícios obtidos com a adubação organomineral podem ser difíceis de quantificar e serem detectados, como a melhoria da estrutura do solo e atividade microbiana. Logo, resultados positivos poderiam ser obtidos através da avaliação de outros parâmetros da cultura. Vale salientar, que os adubos organominerais tiveram resultados semelhantes aos químicos sintéticos, mas com a vantagem de serem mais baratos e mais naturais, representando uma medida econômica e sustentável para o meio ambiente.

Os dados utilizados para as análises estatísticas foram obtidos através de medições a campo e análises de solo, como mostrado nas tabelas a seguir.

Tabela 8: Médias obtidas de altura, circunferência e diâmetro.

Tratamentos	Médias		
	Altura (cm)	Circunferência (cm)	Diâmetro (cm)
1	279,5	73,5	23,55
2	291	78	24,83
3	282,5	79	25,94
4	297	80,83	25,31

Os tratamentos que receberam os adubos Arkophós e Blackbio apresentaram uma maior média de altura, circunferência e diâmetro (tabela 8) que o tratamento testemunha no quesito de tais medições realizas a campo. O tratamento quatro foi o que apresentou a maior média de altura (297 cm), sendo 17,5 cm maior que a média do tratamento testemunha. No quesito diâmetro, o tratamento três foi o que apresentou maior média (25,94 cm), sendo 2,39 cm maior que a média do tratamento controle sem adubação.

Após análise de disponibilidade de fósforo realizada em laboratório se obteve os seguintes resultados mostrados na tabela 9. Também foi realizada a medição de potássio disponível, como mostrado na tabela 10.

Tabela 9: Valores de P melich-1 obtidos na leitura.

Teores de P melich-1			
	Amostra de solo 1	**Amostra de solo 2**	**Amostra de solo 3**
T1	62,5	41,5	82,4
T2	73,6	51,1*	62,5
T3	82	60,7	53,3
T4	54	52,5	56,7

***:** Amostra diluída, o valor original era 28.

Tabela 10: Valores de potássio obtidos em leitura (mg dm-^{3}).

Teores de K em mg dm-3			
	Amostra de solo 1	**Amostra de solo 2**	**Amostra de solo 3**
T1	60	140	60
T2	60	170	55
T3	70	150	60
T4	60	160	55

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos deste estudo foram considerados relevantes e positivos, já que os fertilizantes organominerais Arkophós e Blackbio foram eficientes para a cultura da banana. Uma vez que se comportaram de modo semelhante aos químicos sintéticos. Porém com ausência de diferença estatística não é possível realizar a indicação de uma dosagem que se sobressaia às outras. Logo, são necessários novos estudos com uma maior gama de dosagens e avaliação de mais parâmetros.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos pela disponibilidade do local e de equipamentos para execução do experimento. Agradeço também a empresa Arko Fertilizantes pelo apoio financeiro na doação dos fertilizantes utilizados no experimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Banana. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, Bahia, 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/banana. Acesso em: 25 de abril de 2024.

2. ZONTA, E.; STAFANATO, J. B.; PEREIRA, M. G. Capítulo 14: Fertilizantes minerais, orgânicos e organominerais. Embrapa, Brasília, DF, 2021.

3. NEGREIROS, Ricardo José Zimmermann de et al. Recomendações técnicas para o cultivo em Santa Catarina. Florianópolis: **Epagri**, 2015.

4. GOMIERO, T.; PIMENTEL, D.; PAOLETTI, M.G. Environmental impact of diferente agricultural management practices: conventional vs. organic agriculture. **Critical reviews in plant sciences**, v. 30, n. 1-2, p. 95-124, 2011.

5. VITOUSEK, P.M. et al. Nutrient imbalances in agricultural development. Science, v. 324, n. 5934, p. 1519-1520, 2009.

6. LANA, R. M. Q.; MAGELA, M. L. M.; PIRES, D. C. M. Vantagens do fertilizante organomineral para frutíferas**. Revista Campos & Negócios**, publicado em 19 de julho de 2019. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/vantagens-do-fertilizante-organomineral-para-frutiferas/>. Acesso em 27 de abril de 2024.

7. SANTOS, J. F. et al. Produção de girassol submetido à adubação organomineral. **Agropecuária científica no semiárido** – ISSN 1808-6845, V. 9, n. 3, p. 38-44, jul–set, 2013.

8. Ministério Da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BR). Instrução Normativa N° 61, de 08 de julho de 2020. Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura.

9. Arko Fertilizantes. Eficiência em foco: O PAPEL DO BLACKBIO NA SAÚDE DO SOLO. 2023. Acesso em 15 de abril de 2024. Disponível em: https://arkofertilizantes.com.br/blackbio.

10. FERNANDES, P. H. Uso de fertilizantes organominerais fosfatados no cultivo da alface e de milho em sucessão**. Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.6, n.6, p. 37907-37922, 2020.

11. FERREIRA, D. F. SISVAR: A COMPUTER ANALYSIS SYSTEM TO FIXED EFFECTS SPLIT PLOT TYPE DESIGNS. REVISTA BRASILEIRA DE BIOMETRIA, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, dec. 2019. ISSN 1983-0823. Available at: <http://www.biometria.ufla.br/index.php/BBJ/article/view/450>. Date accessed: 10 feb. 2020. doi: https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450.

12. LIMA, F. S.; et al. DIFERENTES DOSES DE ORGANOMINERAL NO CULTIVO DA GOIABA. JOSIF – IF Sul de Minas, 2024.

13. MARICATTO, L. D. DESENVOLVIMETO DO MILHO COMPARANDO ADUBAÇÕES ORGANOMINERAIS E MINERAL EM COBERTURA. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal de Uberlândia, p. 22, 2021.

Capítulo 11

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-11

MODELAGEM MATEMÁTICA DO CRESCIMENTO DE *Brochothrix thermosphacta* EM TAINHA VERMELHA EM DIFERENTES TEMPERATURAS

Eduardo Cardoso da Silva Assunção ;Ive Mariana Ghizzoni Arantes; Dayana Silva Batista Soares ;Ellen Godinho Pinto; Ana Paula Stort Fernandes; Alfredina dos Santos Araújo; Wiaslan Figueiredo Martins*

**Autor correspondente (Corresponding author) – Email: wiaslan.martins@ifgoiano.edu.br*

Resumo: O presente estudo teve como objetivo modelar matematicamente o crescimento de *Brochothrix thermosphacta* em tainha vermelha (*Mullus barbatus*) sob diferentes condições de temperatura, visando avaliar seus efeitos na qualidade e conservação do pescado. Essa bactéria psicrotrófica, frequentemente associada à deterioração de carnes e pescados, apresenta capacidade de multiplicação mesmo sob refrigeração, ocasionando perdas sensoriais e econômicas. Os dados foram obtidos do banco *Combase*, considerando temperaturas de 0, 4, 10, 15 e 20 °C, com pH fixo em 6,25. Os parâmetros de crescimento foram ajustados pelo modelo de Baranyi e Roberts, evidenciando forte influência da temperatura na cinética microbiana. A fase lag variou de 32,37 h a 0 °C para 3,1 h a 20 °C, enquanto a velocidade máxima de crescimento ($\mu_{máx}$) aumentou de 0,022 h^{-1} a 0 °C para 0,199 h^{-1} a 20 °C, com excelente ajuste dos modelos ($R^2 > 0,94$). A população máxima ($Y_{máx}$) manteve-se estável (6,18–5,89 $\log_{10}$ UFC/g), sugerindo regulação por fatores intrínsecos da matriz alimentar. Conclui-se que a refrigeração a 0–4 °C, embora não impeça o crescimento de *B. thermosphacta*, retarda significativamente sua multiplicação, prolongando a vida útil do pescado, ao passo que temperaturas acima de 10 °C aceleram a deterioração. Esses resultados reforçam a importância do controle rigoroso da cadeia de frio e demonstram a aplicabilidade da microbiologia preditiva na avaliação de riscos e no desenvolvimento de estratégias de conservação de alimentos perecíveis.
Palavras–chave: *Brochothrix*; ComBase; fish; seafood

INTRODUÇÃO

O pescado é amplamente reconhecido como um alimento de elevado valor nutricional, econômico e cultural. Do ponto de vista nutricional, destaca-se por ser uma fonte de proteínas de alta qualidade, essenciais para o crescimento e a manutenção do organismo humano (1). Além disso, contém ácidos graxos poli-insaturados, como o ômega-3, que estão diretamente associados à prevenção de doenças cardiovasculares e ao bom funcionamento do sistema nervoso central (2). O pescado também fornece vitaminas importantes, como A, D, E e B_{12}, além de minerais como fósforo, cálcio, iodo e selênio, configurando-se como um alimento de alta densidade nutricional (3). Outro aspecto que favorece seu consumo é o baixo teor de gordura saturada, característica que o diferencia das carnes vermelhas e o coloca como uma opção mais saudável para o consumidor (4).

No âmbito econômico, o setor pesqueiro e aquícola movimenta bilhões de dólares anualmente, sendo responsável pela geração de milhões de empregos em todo o mundo (1). A aquicultura, em especial, tem se destacado como a atividade de maior crescimento dentro da produção de alimentos de origem animal, apresentando-se como alternativa sustentável frente à redução dos estoques pesqueiros naturais (5). Além disso, diversas espécies de pescado possuem grande valor de mercado, representando uma importante fonte de renda para comunidades costeiras e ribeirinhas (6).

Para o consumidor, o pescado é relevante por múltiplos fatores. Trata-se de um alimento associado à saúde e ao bem-estar, sendo recomendado por profissionais da saúde devido à sua contribuição na prevenção de doenças e no fortalecimento do organismo (7). Além disso, sua versatilidade culinária permite diferentes formas de preparo e consumo, o que amplia sua aceitação e inserção na dieta de diferentes culturas (4).

No entanto, a qualidade e a conservação do pescado podem ser comprometidas pela ação de microrganismos deteriorantes. Entre eles, destaca-se a *Brochothrix thermosphacta*, uma bactéria Gram-positiva pertencente à família Listeriaceae, que não forma esporos e apresenta morfologia em bacilos curtos (8). Essa bactéria é considerada psicrotrófica, capaz de crescer em baixas temperaturas, o que a torna relevante no contexto da conservação de alimentos refrigerados, principalmente carnes e pescados (9). Sua presença já foi relatada em carnes, pescados, laticínios e superfícies de indústrias de alimentos, evidenciando seu potencial de contaminação cruzada (10).

As condições ideais para o crescimento de *B. thermosphacta* incluem temperaturas próximas de 20 a 25 °C, embora seja capaz de se multiplicar mesmo em refrigeração, característica que representa um desafio para a indústria alimentícia (11). O microrganismo se desenvolve em pH entre 5,0 e 7,5, faixa comum em carnes e pescados frescos. Embora não seja considerado patogênico, o maior problema associado a essa bactéria está relacionado à produção de metabólitos como acetonas e diacetil, que conferem odores e sabores desagradáveis, descritos como rançosos ou azedos, comprometendo as características sensoriais, reduzindo a vida de prateleira e gerando perdas econômicas significativas (12).

O objetivo deste estudo foi modelar o crescimento de *Brochothrix thermosphacta* em tainha vermelha fresca, embalada em sacos, sob diferentes condições de temperatura utilizando o *Combase*.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de crescimento em diferentes temperaturas foram obtidos no banco de dados *Combase* (www.combase.cc), utilizando a categoria de alimento “Seafood/fish” e o micro-organismo *Brochothrix thermosphacta*, na faixa de 0 a 20 °C. Foram selecionados dados de crescimento de *B. thermosphacta* em pescado em cinco temperaturas de armazenamento: 0 °C, 4 °C, 10 °C, 15 °C e 20 °C, com pH fixo em 6,25. A umidade do alimento não foi informada no banco de dados, e todas as amostras selecionadas apresentavam dióxido de carbono como fator de conservação. Os dados foram reportados no estudo de Koutsoumanis et al. (13), intitulado *Applicability of an Arrhenius model for the combined effect of temperature and CO2 packaging on the spoilage microflora of fish*, publicado no periódico *Applied and Environmental Microbiology*.

O modelo matemático primário analisa a dinâmica do microrganismo em função do tempo, com função de ajuste, Baranyi e Roberts (14) (Equações 1, 2 e 3) que foi ajustado às curvas experimentais obtidas no *combase*.

$$y(t) = y_0 + \mu_{máx}F(t) - \ln\left\{1 + \frac{e^{\mu_{máx}F(t)} - 1}{e^{y_{máx} - y_0}}\right\} \quad (1)$$

$$F(t) = t + \left(\frac{1}{\mu_{máx}}\right)\ln\left[e^{(-\mu_{máx}t)} + e^{(-h_0)} - e^{(-\mu_{máx}t - h_0)}\right] \quad (2)$$

$$h_0 = \mu_{máx}\lambda \quad (3)$$

Nas equações, *y(t)* é o logaritmo da concentração microbiana *N* (UFC/g) no tempo *t* (horas), ou seja, *y(t)* = log [*N(t)*]. O parâmetro $\mu_{máx}$ é a velocidade máxima específica de crescimento (h^{-1}); λ é a duração da fase de latência (h); y_0 é o logaritmo da concentração microbiana inicial, y_0 = log (N_0); $y_{máx}$ é o logaritmo da população máxima, $y_{máx}$ = log ($N_{máx}$); h_0 é o parâmetro relacionado ao estado fisiológico das células (adimensional); *F(t)* é a função do modelo Baranyi e Roberts.

Os modelos secundários exponencial e raiz quadrada (Equações 4 e 5, respectivamente) foram usados para descrever o efeito da temperatura na velocidade máxima específica de crescimento ($\mu_{máx}$), em que *a* e *b* são parâmetros empíricos, *T* é a temperatura de armazenamento (°C) e $T_{mín}$ é a temperatura teórica mínima de crescimento (°C).

$$\mu_{máx} = ae^{(bT)} \quad (4)$$

$$\sqrt{\mu_{máx}} = a(T - T_{min}) \quad (5)$$

Os ajustes do modelo primário aos dados experimentais foram realizados no DMFit online, na interface do *Combase*. O ajuste foi realizado em apenas uma etapa, obtendo os parâmetros $\mu_{máx}$, λ, y_0 e $y_{máx}$. Os modelos secundários foram ajustados no programa Microsoft Excel®.

Para a avaliação do desempenho do modelo primário, usou-se o Coeficiente de Determinação (R^2) e o Erro padrão (EP) do ajuste, obtidos no DMFit. Um valor de $R^2 = 1$ e EP= 0 indica que existe uma concordância perfeita entre todos os dados experimentais e os valores do ajuste do modelo. Já o desempenho dos modelos secundários foi avaliado pelo R^2, obtido do ajuste dos modelos aos dados de $\mu_{máx}$ em função da temperatura de armazenamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros cinéticos de *Brochothrix thermosphacta* em pescados evidenciam a forte influência da temperatura sobre o crescimento microbiano (Tabela 1) (Figura 1). A fase lag (λ) foi significativamente maior a 0 °C (32,37 h), reduzindo-se progressivamente com o aumento da temperatura, chegando a apenas 3,1 h a 20 °C. Esse comportamento demonstra maior tempo de adaptação em condições de refrigeração e adaptação quase imediata sob temperaturas elevadas, o que está de acordo com Baranyi e Roberts (14), que destaca a relação inversa entre temperatura e tempo de adaptação bacteriana.

Tabela 1 – Parâmetros de crescimento estimados pelo ajuste do modelo de Baranyi e Roberts aos dados experimentais de *B. thermosphacta* em tainha vermelha, fresca e embalada em sacos a 0, 4, 10, 15 e 20 °C de armazenamento e os índices estatísticos de desempenho do modelo.

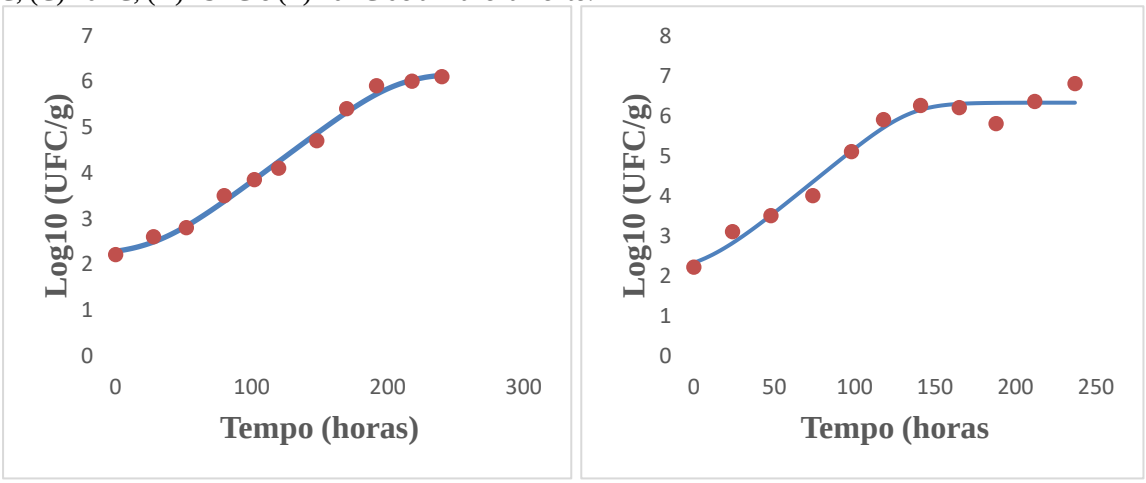
Temperatura (°C)	Parâmetros de crescimento	Índices estatísticos

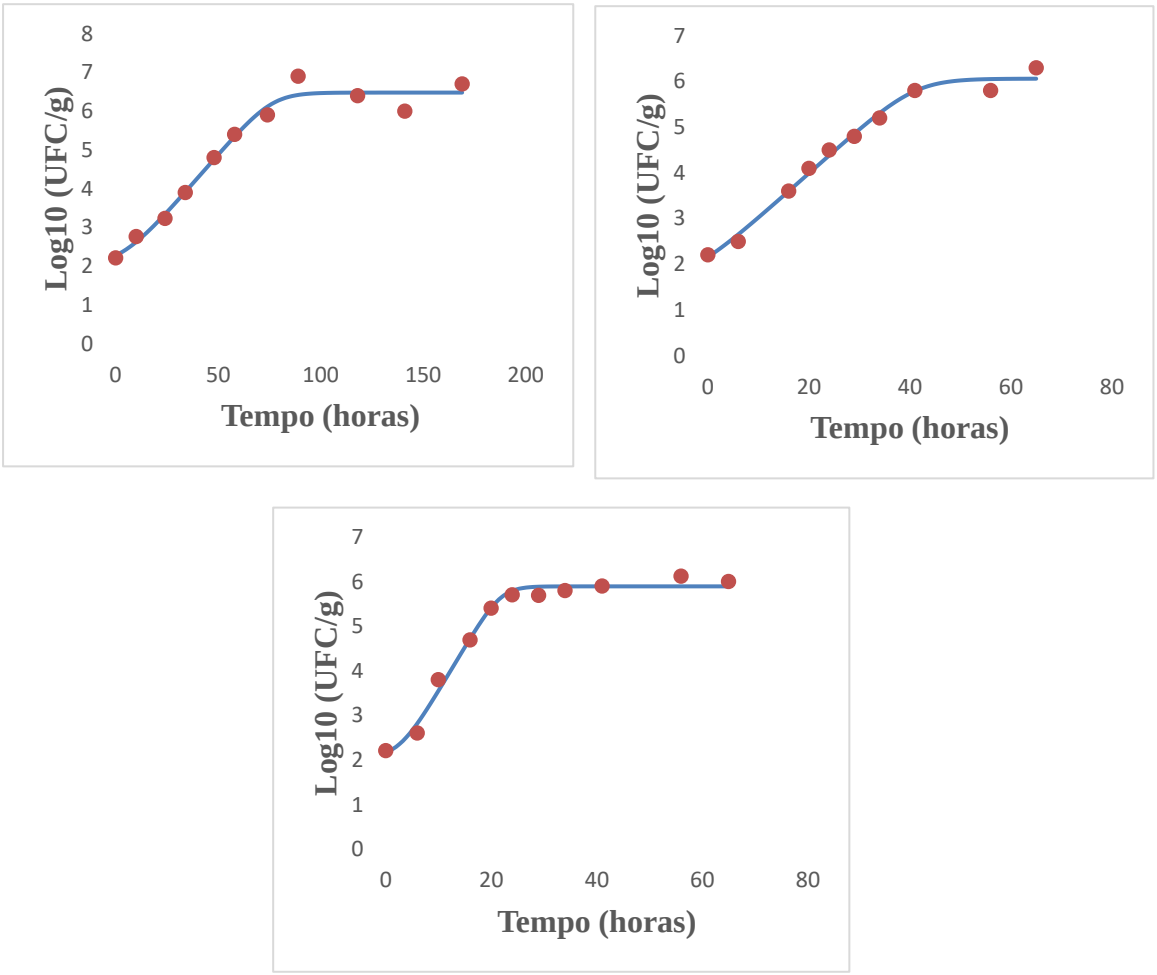
	λ (h)	$\mu_{máx}$ (h-^{1})	$Y_{máx}$ ($\log_{10}$ UFC/g)	**R^2**	**Erro padrão**
0	32,37	0,022	6,189	0,992	0,132
4	12,81	0,033	6,324	0,954	0,332
10	7,183	0,061	6,476	0,969	0,294
15	1,406	0,098	6,056	0,984	0,177
20	3,100	0,199	5,891	0,983	0,182

Fonte: elaborada pelos autores (2025).

A velocidade máxima de crescimento específico ($\mu_{máx}$) aumentou exponencialmente com a elevação da temperatura, variando de 0,022 h^{-1} a 0 °C até 0,199 h^{-1} a 20 °C. Esse comportamento foi descrito de forma satisfatória pelo modelo secundário exponencial (R^2 = 0,9944) (Figura AB), o que demonstra a influência direta da temperatura sobre a cinética de crescimento de *B. thermosphacta*. Estudos anteriores já apontaram que essa bactéria apresenta crescimento em ampla faixa de temperaturas, sendo classificada como psicrotrófica, com maior taxa de multiplicação em condições de abuso térmico (15).

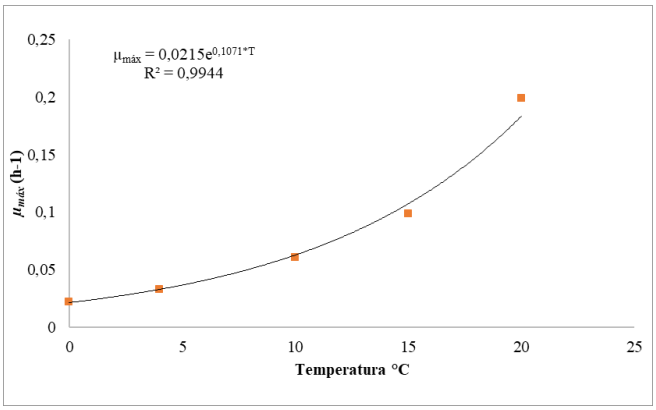
Figura 1 – Curvas de crescimento de *Brochothrix thermosphacta* em tainha vermelha, fresca e embalada em sacos, os ajustes do modelo de Baranyi e Roberts aos dados experimentais nas temperaturas de (A) 0 °C, (B) 4 °C, (C) 10 °C, (D) 15 °C e (E) 20 °C de armazenamento.

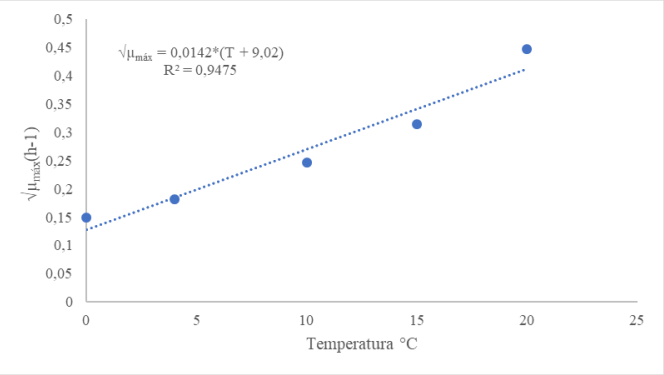




Fonte: elaborada pelos autores (2025).

Figura 2 - Modelos secundários que representam o efeito da temperatura no parâmetro velocidade específica máxima de crescimento ($\mu_{máx}$) de *Brochothrix thermosphacta* em tainha vermelha, fresca e embalada em sacos. (A) modelo exponencial e (B) modelo da raiz quadrada.





Fonte: elaborada pelos autores (2025).

O modelo da raiz quadrada de Ratkowsky apresentou boa linearidade (R^2 = 0,9475) (Figura 2B), evidenciando sua adequação para predizer a influência da temperatura sobre o crescimento de microrganismos deterioradores. Conforme descrito por Ratkowsky et al. (16), esse modelo se destaca pela robustez na estimativa do efeito da temperatura sobre microrganismos de relevância em alimentos refrigerados, sendo amplamente empregado em estudos de microbiologia preditiva.

A população máxima ($Y_{máx}$) manteve-se relativamente estável entre as diferentes temperaturas (6,18–5,89 $\log_{10}$ UFC/g), sugerindo que, apesar da variação na velocidade de crescimento, o limite populacional é determinado principalmente por fatores intrínsecos da matriz alimentar, como a disponibilidade de nutrientes e a competição microbiana. Esse comportamento já foi descrito em estudos de deterioração de pescados, nos quais *B. thermosphacta* atingiu níveis populacionais semelhantes independentemente da temperatura (17). Na prática, esses resultados indicam que, embora a refrigeração entre 0–4 °C não impeça o crescimento de *B. thermosphacta*, ela reduz significativamente sua velocidade de multiplicação, contribuindo para prolongar a vida útil do pescado. Em contrapartida, temperaturas superiores a 10 °C favorecem o crescimento acelerado, encurtando drasticamente o tempo de vida útil. Esses achados estão em consonância com Ercolini et al. (18), que ressaltam a importância do controle rigoroso da cadeia de frio como medida fundamental para preservar a qualidade e a segurança de produtos pesqueiros.

CONCLUSÕES

O presente estudo permitiu compreender a influência da temperatura sobre o crescimento de *Brochothrix thermosphacta* em tainha vermelha, evidenciando a importância da microbiologia preditiva na avaliação da qualidade e segurança de produtos pesqueiros. Observou-se que, embora a refrigeração em baixas temperaturas (0–4 °C) não impeça totalmente o desenvolvimento da bactéria, ela retarda de forma significativa sua multiplicação, contribuindo para o aumento da vida útil do pescado. Em contrapartida, temperaturas superiores a 10 °C favoreceram o crescimento acelerado do microrganismo, reduzindo drasticamente o tempo de vida útil e comprometendo a aceitação do alimento.

Os resultados obtidos a partir do banco de dados *Combase* reforçam sua relevância como uma ferramenta robusta para a modelagem preditiva do crescimento de *B. thermosphacta* em pescado. A disponibilidade de parâmetros validados em diferentes condições de armazenamento permite que pesquisadores e a indústria de alimentos realizem simulações realistas de cenários de refrigeração e abuso térmico, auxiliando tanto na

previsão da vida útil quanto na avaliação de riscos microbiológicos. Assim, o uso de dados provenientes do *Combase* contribui não apenas para o avanço de estudos acadêmicos, mas também para o desenvolvimento de estratégias práticas de gestão da qualidade e segurança em cadeias produtivas de pescado e outros alimentos perecíveis.

REFERÊNCIAS

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Rome: FAO; 2022.

2. Mozaffarian D, Rimm E. Fish intake, contaminants, and human health: evaluating the risks and benefits. JAMA. 2006; 296:1885-99.

3. Simopoulos AP. Omega-3 fatty acids in health and disease and in growth and development. Am J Clin Nutr. 2002; 54:438-63.

4. Trondsen T, Braaten T, Lund E, Eggen AE. Consumption of fish and other seafood in Norwegian women in relation to health and self-reported risk behaviour. Public Health Nutr. 2004; 7:141-9.

5. Valenti WC. Aquicultura no Brasil: bases para um desenvolvimento sustentável. Brasília: CNPq/MCT; 2002.

6. Béné C, Barange M, Subasinghe R, Pinstrup-Andersen P, Merino G, Hemre GI, et al. Feeding 9 billion by 2050 – Putting fish back on the menu. Food Secur. 2015;7(2):261-74.

7. Olsen SO. Understanding the relationship between age and seafood consumption. Food Qual Prefer. 2003; 14:199-209.

8. Zhang Y, Yamamoto O, Kimura H, Kuda T, Takahashi H, Kimura B. Characterization of *Brochothrix thermosphacta* isolated from meat. Food Microbiol. 2012; 29:224-30.

9. Nuñez M, García MR, Rodríguez JL, García T. Growth of *Brochothrix thermosphacta* in meat products: a review. Meat Sci. 2015; 108:98-107.

10. Brooks JC, Sofos JN, Belk KE, Smith GC, Williams SN, Bellinger GR. Identification and characterization of bacteria in retail beef. J Food Prot. 2004; 67:2399-404.

11. Stiles ME, Holley RA. Spoilage bacteria of fresh meat and poultry. J Appl Bacteriol. 1991; 70:133-53.

12. Gill CO. Spoilage of packaged foods. In: Stiles ME, Holley RA, editors. Food microbiology: fundamentals and frontiers. Washington: ASM Press; 2004. p. 641-54.

13. Koutsoumanis KP, Taoukis PS, Drosinos EH, Nychas GJ. Applicability of an Arrhenius model for the combined effect of temperature and CO_2 packaging on the spoilage microflora of fish. Appl Environ Microbiol. 2000;66(9):3528-34.

14. Baranyi J, Roberts TA. A dynamic approach to predicting bacterial growth in food. Int J Food Microbiol. 1994; 23:277-94.

15. Dalgaard P. Modelling of microbial activity and prediction of shelf life for packed fresh fish. Int J Food Microbiol. 2002; 73:305-18.

16. Ratkowsky DA, Olley J, McMeekin TA, Ball A. Relationship between temperature and growth rate of bacterial cultures. J Bacteriol. 1982; 149:1-5.

17. Gram L, Dalgaard P. Fish spoilage bacteria - problems and solutions. Curr Opin Biotechnol. 2002; 13:262-6.

18. Ercolini D, Russo F, Nasi A, Ferranti P, Villani F. Monitoring of microbial metabolites and bacterial diversity in beef stored in different packaging conditions. Appl Environ Microbiol. 2009; 75:609-18.

Capítulo 12

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-12

O PAPEL DA POLINIZAÇÃO POR INSETOS EM CULTURAS AUTÓGAMAS

Matheus Carneiro Heinzelmann*; Natália Veleda Duailibe; Lidiane Machado Dionizio; Valeska Cristina de Sousa Silva de Assis Ana Carolina Leal Capanema Barcelos de Freitas ; Renato Dusmon Vieira; Carlos de Melo e Silva Neto

**Autor correspondente (Corresponding author) – Email: matheuscarneiroh@gmail.com*

Resumo: A polinização é um processo fundamental para a agricultura, sendo a entomofilia um serviço ecossistêmico de grande impacto econômico. Embora espécies autógamas possuam autonomia reprodutiva, a polinização cruzada mediada por insetos otimiza a produtividade. O objetivo deste trabalho foi sintetizar os achados da literatura sobre os benefícios da visitação de insetos para plantas com capacidade de autofecundação. A interação com polinizadores resulta em melhorias quantitativas e qualitativas, com a literatura reportando ganhos de produtividade de até 49,30% na canola e de mais de 50% na soja. No café, a ação de abelhas nativas pode aumentar o peso dos frutos em 67%, enquanto no feijão, a polinização eleva a probabilidade de um grão ser classificado como de "alta qualidade" de 8,8% para até 67,5%. Na cultura do tomate, a polinização por vibração (*buzz pollination*) é crucial para a obtenção de frutos mais pesados e com maior número de sementes. A presente revisão evidencia que a conservação da biodiversidade de polinizadores e a integração de seu manejo nas práticas agrícolas são ferramentas estratégicas para uma agricultura mais resiliente, produtiva e sustentável.

Palavras-chave: abelhas; entomofilia; produtividade agrícola; serviços ecossistêmicos

INTRODUÇÃO

A polinização, processo fundamental para a reprodução sexuada das plantas, consiste na transferência de pólen entre as estruturas reprodutivas das flores, um fenômeno que sustenta tanto a produção de sementes quanto a variabilidade genética (1). A relevância desse mecanismo se mostra ainda maior na agricultura, onde a produção de cerca de 75% das culturas para consumo humano é dependente de polinizadores (2).

Dentre os mecanismos de polinização, a entomofilia (polinização por insetos) se destaca como o serviço ecossistêmico de maior impacto, com um valor econômico global que ultrapassa os 200 bilhões de dólares por ano (3). Insetos como abelhas, vespas, moscas e besouros executam um papel de suma importância, sendo cruciais para a reprodução e a manutenção da diversidade genética da flora global.

Diversas plantas desenvolveram estratégias reprodutivas que contornam a necessidade de polinizadores externos, como é o caso da autogamia. Entretanto, a aparente autonomia reprodutiva das espécies autógamas não anula os benefícios significativos da

polinização cruzada. A interação com insetos tem se mostrado um fator de otimização da produtividade, contrariando a noção de que sua presença seria irrelevante (4). A intervenção de polinizadores em algumas culturas autógamas está diretamente associada a melhorias quantitativas e qualitativas, como o aumento do peso e do número de sementes e aprimoramento de características sensoriais do produto final, resultando em maior valor de mercado (5, 6, 7).

Assim, o objetivo do presente trabalho consiste em sintetizar os achados na literatura acerca da polinização por insetos em culturas autógamas, discutindo seus achados e consequências. Por meio da análise de estudos de caso e da identificação dos principais insetos envolvidos, esta revisão busca ressaltar a importância de integrar o manejo de polinizadores nas práticas agrícolas. A relevância do trabalho se dá em demonstrar que a conservação da biodiversidade de polinizadores é uma ferramenta estratégica para uma agricultura mais resiliente, produtiva e sustentável.

POLINIZAÇÃO E ENTOMOFILIA

O fenômeno da polinização consiste na transferência de grãos de pólen, dos estames para o estigma, ocorrendo tanto na mesma flor quanto entre flores de indivíduos distintos da mesma espécie (1). Este processo é fundamental para a reprodução sexuada das plantas, influenciando diretamente na produção de sementes e frutos, além de contribuir de maneira significativa para a manutenção da diversidade genética das plantas.

No contexto agrícola, a importância da polinização é ainda mais evidente. Cerca de 75% das culturas destinadas à alimentação humana, incluindo frutas, vegetais e grãos, dependem desse processo para garantir uma produção satisfatória (2). A transferência do pólen pode ocorrer por agentes abióticos, como o vento (anemofilia) e a água (hidrofilia), ou por agentes bióticos (zoofilia), podendo envolver aves (ornitofilia), morcegos (quiropterofilia) e, sobretudo, insetos (entomofilia).

A zoofilia, em particular, ocorre quando animais, em busca de recursos como néctar, pólen, óleos ou abrigo, entram em contato com os estames. Durante essa interação, os grãos de pólen aderem ao corpo do animal, que os transporta para outras flores, efetuando a polinização (1). A interação entre polinizadores e plantas representa um longo processo coevolutivo, que resultou em uma interdependência e especificidade entre as espécies envolvidas (8).

A polinização realizada por insetos, conhecida como entomofilia, se destaca como a mais expressiva dentro da zoofilia. Os insetos são os maiores polinizadores do planeta, com destaque para grupos como abelhas, moscas, borboletas, mariposas, vespas, besouros e tripes (9). Dentre estes artrópodes, as abelhas surgem como o grupo de maior importância, sendo responsáveis pela polinização de aproximadamente 75% das espécies cultivadas no mundo (10). A eficiência desses insetos se deve ao fato de que suas larvas se alimentam exclusivamente de pólen e os adultos de néctar, o que os leva a visitar uma grande quantidade de flores diariamente para suprir suas necessidades metabólicas (1). Esse serviço ecossistêmico fundamental possui impacto econômico direto, de modo que é estimado que

o valor da polinização para os 100 principais cultivos para nutrição humana ultrapasse 200 bilhões de dólares anualmente (3).

AUTOGAMIA

A autogamia consiste num mecanismo de reprodução sexuada, caracterizado pela autofecundação, na qual o gameta masculino de uma flor fertiliza o gameta feminino da mesma flor ou de outra flor pertencente à mesma planta (11). Este processo, que dispensa a necessidade de pólen de um indivíduo geneticamente distinto, favorece um elevado grau de homozigose e pode gerar descendentes com grande semelhança genética com a planta-mãe (12).

A viabilidade da autogamia é garantida por uma combinação de mecanismos morfológicos e fisiológicos. Do ponto de vista morfológico, o hermafroditismo, ou seja, a presença de órgãos reprodutivos masculinos e femininos na mesma flor, é a condição primária para que a autofecundação ocorra (13). Além disso, a aproximação espacial entre anteras e estigma permite que o pólen caia diretamente sobre a superfície receptiva, muitas vezes antes mesmo da abertura floral, sem a necessidade de agentes polinizadores (14). Em alguns casos, ocorre a cleistogamia, uma adaptação em que a autofecundação acontece obrigatoriamente dentro de flores que permanecem fechadas (14).

Fisiologicamente, a autocompatibilidade é fundamental, pois permite que o estigma aceite e germine o pólen da própria planta. A sincronia na maturação dos estames e do estigma, conhecida como homogamia, também aumenta a probabilidade de sucesso da autopolinização (15). É importante notar que a autogamia se opõe à autoincompatibilidade, um mecanismo genético que impede a autofecundação. Estudos de autofertilidade demonstram que características como o tamanho da flor e a posição relativa dos órgãos reprodutivos estão diretamente correlacionadas com o sucesso da autofecundação (15, 16, 17).

A autogamia apresenta vantagens evolutivas importantes. A principal delas é a garantia reprodutiva, que permite a produção de sementes mesmo na ausência ou escassez de polinizadores ou em populações geograficamente isoladas. Além disso, a autogamia conserva genótipos bem adaptados a condições locais, promovendo a uniformidade e a estabilidade de características vantajosas. Outro benefício é o menor custo energético, já que a planta pode reduzir o investimento em estruturas elaboradas para atrair polinizadores, como pétalas grandes e coloridas ou néctar. Contudo, essa estratégia reprodutiva também impõe desvantagens relevantes (17). A principal limitação é a redução da variabilidade genética, que pode comprometer a capacidade de uma população se adaptar a novas condições ambientais, pragas ou doenças. O aumento da homozigose também pode levar ao acúmulo de alelos deletérios e à depressão por endogamia, um fenômeno que resulta na redução do vigor e da fertilidade da progênie (12, 17).

Diversas espécies cultivadas de grande importância econômica utilizam a autogamia como principal estratégia reprodutiva. Exemplos clássicos incluem o arroz (*Oryza sativa* L.), a soja (*Glycine max* L.) e o tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Nessas culturas, a alta taxa de autopolinização facilita os programas de melhoramento genético e a produção de cultivares uniformes e estáveis. Além das culturas agrícolas, estudos recentes têm explorado

a complexidade dos sistemas reprodutivos em espécies selvagens. Em outra frente, estudos com o girassol (*Helianthus annuus* L.) identificaram linhagens autógamas e auto-férteis, revelando que o sucesso da autofecundação pode variar sazonalmente, o que destaca a plasticidade dessa estratégia reprodutiva (18).

ENTOMOFILIA EM PLANTAS AUTÓGAMAS

ARROZ (*Oryza sativa* L.)

A cultura do arroz, mesmo sendo uma espécie tradicionalmente anemófila, apresenta uma ampla entomofauna associada à sua inflorescência, contabilizando, em média, 510 espécies (19). Essa diversidade inclui abelhas, como a abelha-europeia (*Apis mellifera* (Linnaeus, 1758)) e as abelhas-do-suor (*Halictus* spp.), além de moscas-das-flores (Diptera, Syrphidae). A atividade desses insetos tem um impacto direto e significativo na produtividade, de modo que o livre acesso de polinizadores em lavouras de arroz resulta em 97% menos grãos chochos em comparação com flores que foram completamente isoladas (4). Além do ganho de produtividade, polinizadores como as abelhas se destacam por carregar quantidades consideráveis de pólen por distâncias maiores que o vento, o que aumenta significativamente o fluxo gênico no arroz (19).



Figura 1 – Abelha (*A. mellifera*) forrageando em lavoura de arroz (*Oryza sativa* L.), com grãos de pólen indicados pela seta. Fonte: Pu *et al*. (19).

Entretanto, esse aumento no fluxo gênico não é necessariamente benéfico. No contexto do uso de plantas transgênicas, a eficiência da entomofilia representa um grande risco à biossegurança, pois aumenta a probabilidade de escape de transgenes. Esse fenômeno pode levar à contaminação de lavouras convencionais, resultando na presença acidental de transgenes em variedades não geneticamente modificadas (19).

CAFÉ (*Coffea arabica* L.)

Na cultura do café-arábica, os benefícios provenientes da polinização por insetos vêm se mostrando notáveis, sendo um fator crucial para a produção global (20, 21). De acordo com Moreaux *et al.* (21), a polinização por animais aumenta, em média, a frutificação do café em cerca de 18%. Este efeito é claramente observado em pesquisas de campo, como observado no trabalho de Almeida-Dias *et al.* (5), na região Sudeste do Brasil, onde a introdução de abelhas africanizadas (*A. mellifera*) (Figura 2) promoveu um crescimento médio na produção de 16,5% em sacas por hectare, enquanto a utilização de abelhas nativas

sem ferrão (*Scaptotrigona depilis* (Moure, 1942)) resultou num aumento de 67% no peso dos frutos por ramo.



Figura 2 – Abelha (*A. mellifera*) em lavoura de café (*Coffea arabica* L.). Fonte: Susan Mills, The Queen Bean (2022).

Além dos ganhos em produtividade, a qualidade da bebida, fator determinante para o valor de mercado, também é fortemente influenciada pelos polinizadores (22, 23). Almeida-Dias *et al.* (5) demonstraram também que a polinização por abelhas melhorou a pontuação sensorial do café, gerando um benefício econômico de 13,15% para os agricultores. Com resultados análogos, a pesquisa de Karanja *et al.* (23), realizada no Quênia, concluiu que os maiores pesos de fruto e a melhor qualidade de xícara foram registrados em cafés de polinização aberta e cruzada, em contraste com a autopolinização.

No entanto, a relação entre polinização e qualidade pode apresentar complexidades. O trabalho de Aristizábal *et al.* (22), realizado na Costa Rica, revelou a existência de "trocas compensatórias", de modo que enquanto a polinização por abelhas aumentou a frutificação em 9% e melhorou o aroma em 2%, os frutos pesaram 7% a menos e a bebida foi avaliada como tendo menos equilíbrio no perfil sensorial. Esses resultados sugerem que, dependendo das condições, a polinização pode favorecer certos atributos de qualidade em detrimento de outros. Ademais, a diversidade e a abundância dos polinizadores, em especial abelhas, são influenciadas pelo manejo da lavoura, como a presença ou ausência de sombreamento, que pode favorecer diferentes grupos funcionais de abelhas, influenciando também seus reflexos na produção (20).

CANOLA/COLZA (*Brassica napus* var. *oleifera* L.)

A polinização cruzada, especialmente por abelhas *A. mellifera*, eleva significativamente a produtividade da canola. Trabalhos no Brasil já verificaram que a visita de *A. mellifera* (Figura 3) aumentava o número de vagens por metro quadrado e o peso individual das sementes, mesmo sem alterar o número de sementes por vagem ou o teor de óleo (24). De acordo com Chambó *et al.* (25), a produtividade de grãos foi até 49,30% maior em áreas com acesso de abelhas em comparação com áreas isoladas, enquanto o trabalho de Rosa, Blochtein e Lima (26) apontou um aumento na produtividade de sementes de 28,4% (em autogamia) para 50,4% com a livre visitação de insetos.



Figura 3 – Abelha (*A. mellifera*) polinizando uma flor de canola (*Brassica napus* L. var. oleifera).
Fonte: Wenderson Araujo/TriluxCNA, Monaco Nature Encyclopedia (2023).

Além do impacto direto dos polinizadores, a composição da paisagem agrícola é um fator de suma importância. Um estudo na Argentina mostrou que a proximidade de habitats seminaturais aumentou a produção de sementes em 34%, um ganho próximo ao aumento de 35% proporcionado pela própria visita dos insetos (27). Ademais, a contribuição desses polinizadores torna-se ainda mais crítica sob condições de estresse, em que a polinização cruzada pode mitigar perdas de produtividade causadas por clima desfavorável ao desenvolvimento da canola (25).

FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.)

As flores do feijoeiro exigem visitantes maiores, como as abelhas do gênero *Xylocopa* (Figura 4), que possuem peso suficiente para acionar o mecanismo de abertura da quilha (estrutura floral), expondo as anteras e o estigma e permitindo uma polinização efetiva (28, 29, 30). Abelhas menores e outros insetos frequentemente atuam como pilhadores de néctar, acessando o recurso sem contato com as estruturas reprodutivas (29, 30). Em um estudo no Cerrado brasileiro, por exemplo, a abelha *A. mellifera* atuou como pilhadora em 75% de suas visitas (28).



Figura 4 – *Xylocopa grisescens* (Lepeletier, 1841) polinizando feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Fonte: Adaptado de Franceschinelli *et al*. (29).

A contribuição dos polinizadores para o feijoeiro comum se manifesta tanto na quantidade quanto na qualidade dos grãos. Estudos indicam que a polinização por abelhas pode aumentar o número de sementes por vagem e o peso total das sementes (29). Além do rendimento, a entomofilia influencia características que determinam o valor de mercado do feijão, como o tamanho e a cor dos grãos (28). Em lavouras no Centro-Oeste brasileiro, maiores densidades de polinizadores nativos foram associadas a grãos maiores e mais claros,

elevando a probabilidade de um grão ser classificado como de “alta qualidade” de 8,8% para até 67,5% (28).

É interessante verificar que os benefícios da polinização podem ser modulados por práticas agrícolas. O efeito positivo dos polinizadores na qualidade do feijão foi mais evidente sob níveis mais baixos de fertilização nitrogenada, conforme apontado por Silva *et al*. (28). Quando a aplicação de nitrogênio ultrapassou a dosagem recomendada, os benefícios dos polinizadores nativos na coloração dos grãos não foram mais detectados (28). Esse achado sugere que a intensificação de práticas agrícolas, como o excesso de adubação, pode diminuir ou até anular os serviços ecossistêmicos prestados pelos polinizadores. Dessa forma, a conservação de habitats naturais próximos às lavouras é fundamental para manter populações de polinizadores eficazes, que podem, consequentemente, melhorar a produtividade e o valor de mercado do feijão (28, 29, 30).

GRÃO-DE-BICO (*Cicer arietinum* L.)

A polinização cruzada realizada por insetos na cultura do grão-de-bico desempenha um papel significativo, e a presença de visitantes florais resulta em aumento na produtividade e na qualidade da colheita (31). A diversidade de insetos polinizadores em cultivos de grão-de-bico é grande, incluindo abelhas (Figura 5), vespas, moscas, mariposas e borboletas, como observado em estudos conduzidos no Paquistão e na Índia (31, 32).



Figura 5 – Abelha (*Pseudomegachile* sp.) forrageando lavoura de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) Fonte: Adaptado de Shankar e Mukhtar (2024).

Latif *et al*. (31) demonstraram que a polinização cruzada resultou em um aumento significativo no peso da cápsula, no peso das sementes, no número de sementes por cápsula e na taxa de germinação das sementes. Esses resultados reforçam que a manutenção de uma comunidade diversa e abundante de polinizadores é fundamental para maximizar o rendimento e a sustentabilidade da cultura do grão-de-bico (32).

MAMONA (*Ricinus communis* L.)

A diversidade de insetos visitantes nas flores de mamona é considerável, sendo a ordem Hymenoptera a mais representativa (33). Abelhas como *Apis dorsata*, *A. mellifera* (Figura 6), *A. cerana* (Fabricius, 1793), *A. florea* (Fabricius, 1787) e *Trigona* sp. são visitantes frequentes, atraídas principalmente pelas grandes quantidades de pólen e néctar

(34, 35). Em particular, *A. mellifera* apresenta grande eficiência, pois além da transferência ativa de pólen, ao se movimentar sobre as anteras, provoca sua deiscência explosiva, aumentando a quantidade de pólen disperso no ar e potencializando tanto a autopolinização quanto a polinização pelo vento (34).



Figura 6 – Abelha (*A. mellifera*) polinizando flores de mamona (*Ricinus communis* L.) Fonte: Adaptado de Rizzardo *et al*. (2012).

Estudos demonstram que a introdução de colônias de *A. mellifera* em cultivos comerciais pode aumentar a frutificação em 17% e elevar a produção de sementes por hectare em mais de 30% (34). Essa melhoria na produtividade ocorre porque a ação das abelhas aumenta a taxa de geitonogamia, que demonstrou maior eficiência para a frutificação do que a polinização cruzada via anemofilia (34). Dessa forma, demonstra-se que a atividade dos insetos polinizadores é fundamental para superar o déficit de polinização e maximizar o rendimento da cultura da mamona.

PIMENTÃO (*Capsicum annuum* L.)

A cultura do pimentão apresenta uma grande diversidade de polinizadores eficientes (Figura 7). Em cultivos protegidos, abelhas como *Bombus impatiens* e abelhas sem ferrão, como *Melipona quadrifasciata* (Lepeletier, 1836) e a *M. subnitida* (Ducke, 1911), promoveram um aumento significativo do peso, do diâmetro, do volume e do número de sementes dos frutos (36, 37, 38). Até mesmo insetos que não realizam polinização por vibração, como as moscas-das-flores *Eristalis tenax* (Linnaeus, 1758), demonstraram aumentar a produção de sementes e o tamanho dos frutos ao promoverem o deslocamento mecânico do pólen durante suas visitas (39, 40). Ademais, abelhas nativas de pequeno porte, como as dos gêneros *Exomalopsis*, *Dialictus* e *Augochlora*, são importantes visitantes (41).

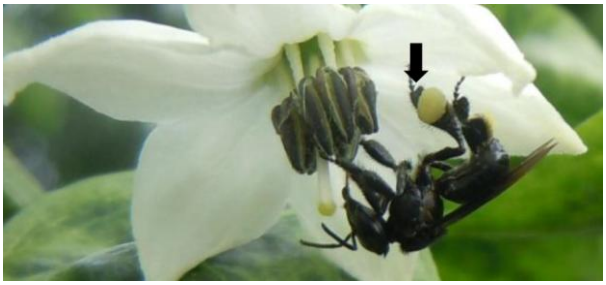


Figura 7 – Abelha (*Heterotrigona itama* (Cockerell, 1918)) forrageando flor de pimentão (*Capsicum annuum* L.). Fonte: Adaptado de Azmi, Seng e Solihin (44).

A entomofilia melhora os atributos comerciais do pimentão, de modo que frutos oriundos de flores polinizadas por abelhas são mais pesados, mais largos, mais compridos e possuem maior quantidade de sementes em comparação com frutos autopolinizados (36, 42, 43). Observou-se uma considerável correlação positiva entre o número de sementes e o tamanho e peso do fruto, indicando que uma polinização mais completa, com a fertilização de um maior número de óvulos, estimula um maior desenvolvimento do fruto (40, 42). Além disso, a presença de abelhas pode acelerar o tempo de maturação, reduzindo os dias entre a frutificação e a colheita (36).

Vale apontar que práticas de manejo, como o consórcio com plantas atrativas como o manjericão (*Ocimum basilicum* L.), podem aumentar a abundância e a riqueza de abelhas na lavoura, potencializando ainda mais os serviços de polinização e a produtividade da cultura (42).

PITAYA (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose)

As espécies de pitaya apresentam diferentes estratégias reprodutivas. A pitaya de polpa branca, por exemplo, demonstra um alto grau de autogamia, alcançando a frutificação máxima mesmo na ausência de polinizadores (45). Embora a autopolinização garanta a quantidade, a qualidade dos frutos é significativamente melhorada pela polinização biótica (Figura 8). Frutos oriundos de flores visitadas por polinizadores noturnos, como morcegos e a mariposa *Agrius cingulata* (Fabricius, 1775), mostraram-se maiores e mais pesados se comparados aos autopolinizados (45). Dessa forma, mesmo em variedades autógamas, a polinização complementar por insetos é essencial para otimizar o rendimento e o valor comercial da pitaya.



Figura 8 – Grupo de *A. mellifera* polinizando pitaya (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose*)*. Fonte: Adaptado de Muniz *et al.* (45).

SOJA (*Glycine max* L.)

Apesar de autógama, a cultura da soja possui flores que produzem néctar e pólen, atraindo diversos insetos. A entomofauna polinizadora presente em lavouras de soja é diversa (Figura 9), embora a abelha *A. mellifera* seja frequentemente a espécie mais abundante (46, 47). Além dela, abelhas nativas de diferentes famílias como Halictidae, Megachilidae e Andrenidae, e outros insetos como moscas e borboletas, também forrageiam nas flores de soja (48, 49, 50). A atratividade das flores e, consequentemente, a intensidade

da visitação, podem variar de acordo com a cultivar de soja e as condições ambientais, que influenciam a produção de néctar e a liberação de compostos voláteis (51, 46).



Figura 9 – *A. mellifera* visitando flor de soja (*Glycine max* L.*)*. Fonte: Adaptado de Milfont *et al*. (2013).

Há uma crescente discussão na literatura sobre os benefícios da polinização entomófila para a soja (46, 48). Diversos estudos conduzidos em gaiolas de exclusão relatam aumentos significativos no rendimento de grãos na presença de abelhas, com ganhos que podem variar de 18% a mais de 50% em comparação às parcelas sem polinizadores (51, 52, 47, 50). Os ganhos são geralmente associados a um aumento no número de vagens por planta e no número de sementes por vagem (52, 53).

Em contrapartida, o peso individual da semente pode ser maior em plantas autopolinizadas, possivelmente devido a uma menor competição por recursos quando há menos sementes se desenvolvendo (52, 47). Apesar dos resultados contraditórios, a presença consistente de abelhas nas lavouras e os múltiplos relatos de aumento de produtividade indicam que o serviço de polinização pode ser um fator relevante para otimizar o rendimento da soja (46, 50).

TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)

O tomateiro é uma planta predominantemente autógama, com flores hermafroditas que se autopolinizam sem a intervenção de agentes externos (7, 54). Entretanto, o pólen não é liberado facilmente e requer vibração para ser expelido das anteras, um mecanismo especializado conhecido como polinização por vibração ou *buzz pollination* (55, 56)

Abelhas de grande e médio porte, como mamangavas dos gêneros *Bombus* e *Xylocopa*, e abelhas solitárias dos gêneros *Centris* e *Exomalopsis*, são os principais e mais eficazes polinizadores dessa cultura (55, 56, 57). Abelhas menores, como as dos gêneros *Amegilla*, *Augochloropsis* e abelhas sem ferrão (*Melipona;* grupos que vibram) (Figura 10), também são capazes de contribuir ativamente para a polinização (55, 58, 59, 60). A frequência e a duração das vibrações aplicadas por essas abelhas estão diretamente relacionadas à quantidade de pólen liberado, sendo um fator essencial para o sucesso da fertilização (61).



Figura 10 – *M. quadrifasciata* polinizando flor de tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.). Fonte: Adaptado de Silva-Neto *et al*. (61)

A contribuição da polinização por vibração para a produtividade e qualidade do tomate é amplamente documentada na literatura. Frutos provenientes de flores visitadas por abelhas vibradoras são significativamente mais pesados, possuem maior diâmetro e contêm um número muito superior de sementes em comparação com frutos autopolinizados ou visitados por abelhas não vibradoras (7, 55, 57, 59, 60). O número de sementes está diretamente correlacionado com o peso e o tamanho do fruto, indicando que uma polinização mais completa leva a um maior desenvolvimento do ovário (7, 57).

Além do rendimento, a polinização por abelhas também pode melhorar a firmeza dos frutos (60). Esses benefícios demonstram que, embora autógama, a cultura do tomate é altamente dependente dos serviços de polinização por abelhas nativas vibradoras para atingir seu potencial produtivo e comercial máximo (7, 56).

PRINCIPAIS GRUPOS DE INSETOS POLINIZADORES EM AUTÓGAMAS

Embora as plantas autógamas possam se reproduzir independentemente de polinizadores, como detalhado anteriormente, a visita de insetos pode trazer benefícios significativos à produtividade e qualidade dos frutos e grãos. A entomofauna associada a estas culturas é diversa, variando conforme a espécie vegetal e o ambiente. Com base nos estudos de caso apresentados e em outras fontes da literatura, os principais grupos de insetos envolvidos na polinização de culturas autógamas estão resumidos na Tabela 1.

Tabela 1: Principais grupos de insetos polinizadores associados a culturas autógamas e seus impactos.

Cultura (Espécie)	**Inseto(s) Polinizador(es)**	**Principal Benefício**	**Fonte**
Arroz (*Oryza sativa*)	Hymenoptera: *Apis mellifera*, *Halictus* spp. Diptera: Syrphidae	Aumento do fluxo gênico.	Pu *et al*. (19)
Café (*Coffea arabica*)	Hymenoptera: *A. mellifera*, *Scaptotrigona depilis*	Aumento da frutificação, maior peso dos frutos e melhor qualidade sensorial.	Almeida-Dias *et al*. (5); Moreaux *et al*. (21)

Canola (*Brassica napus*)	Hymenoptera: *A. mellifera*	Aumento do nº de grãos e do número de vagens.	Chambó *et al*. (25); Rosa *et al*. (26)
Feijão (*Phaseolus vulgaris*)	Hymenoptera: *Xylocopa* spp.	Aumento do número e peso de sementes, melhoria da qualidade das características de tamanho e cor do grão.	Silva *et al*. (6); Franceschinelli *et al*. (29)
Grão-de-bico (*Cicer arietinum*)	Hymenoptera (abelhas, vespas), Diptera (moscas), Lepidoptera (borboletas e mariposas)	Aumento do peso da cápsula, peso e número de sementes e taxa de germinação.	Latif *et al*. (31); Verma *et al*. (32)
Mamona (*Ricinus communis*)	Hymenoptera: *A. mellifera*, *A. dorsata*, *A. cerana*, *A. florea*, *Trigona* sp.	Aumento da frutificação e da produção de sementes via geitonogamia.	Rizzardo *et al*. (34); Nayak *et al*. (35)
Pimentão (*Capsicum annuum*)	Hymenoptera: *Bombus impatiens*, *Melipona* spp., *Exomalopsis*, *Dialictus*, *Augochlora*. Diptera: *Eristalis tenax*	Aumento do peso, diâmetro, volume e número de sementes dos frutos.	Cruz *et al*. (37); Pereira *et al*. (42); Jarlan *et al*. (40)
Pitaya (*Hylocereus undatus*)	Lepidoptera: *Agrius cingulata*	Aumento do tamanho e peso dos frutos, ou seja, melhoria da qualidade.	Muniz *et al*. (45)
Soja (*Glycine max*)	Hymenoptera: *A. mellifera*, Halictidae, Megachilidae, Andrenidae. Diptera, Lepidoptera.	Aumento no rendimento de grãos, número de vagens por planta e sementes por vagem.	Chiari *et al*. (52); Blettler *et al*. (47); Wolditsadik *et al*. (50); Gazzoni (46)
Tomate (*Solanum lycopersicum*)	Hymenoptera: *Bombus* spp., *Xylocopa* spp., *Centris* spp., *Exomalopsis* spp., *Amegilla* spp., *Augochloropsis* spp., *Tetragonula* spp., *Melipona* spp.	Aumento do peso, diâmetro e número de sementes dos frutos e melhoria da firmeza.	Silva-Neto *et al*. (7, 55); Salvarrey *et al*. (56); Rijo *et al*. (57); Guarido *et al*. (60)

PADRÕES GERAIS E TENDÊNCIAS OBSERVADAS

Como demonstrado na Tabela 1, a ordem Hymenoptera, com destaque para as abelhas, consolida-se como o grupo de polinizadores mais frequente e impactante nas principais culturas autógamas, estando presente em todas as culturas analisadas. Sua atuação é crucial desde a polinização por vibração no tomate até o aumento do fluxo gênico no arroz e da produtividade na soja e no feijão. Outros grupos também desempenham papéis especializados e importantes: as moscas (Diptera) são polinizadores significativos em culturas como o arroz, grão-de-bico e pimentão; e as borboletas e mariposas (Lepidoptera) são essenciais para a qualidade da pitaya e também visitam o grão-de-bico.

A presença e a diversidade desses insetos estão diretamente ligadas a ganhos quantitativos (aumento de produtividade, número de vagens por sementes) e qualitativos (melhoria do tamanho, peso, cor e firmeza dos frutos e grãos). Esses resultados reforçam a importância crítica de práticas de manejo que favoreçam a conservação e a abundância de polinizadores, mesmo em culturas com capacidade de autopolinização.

IMPLICAÇÕES PARA O MANEJO E CONSERVAÇÃO

A conservação de polinizadores em culturas autógamas não apenas aumenta a produtividade, mas também contribui para a resiliência do agroecossistema. Estratégias como a introdução de colmeias manejadas, a preservação de polinizadores nativos e a integração de práticas agroecológicas são fundamentais para maximizar os serviços de polinização. Estudos mostram que mesmo em culturas autocompatíveis, a suplementação ou o manejo de polinizadores pode reduzir limitações de polinização e aumentar a produção em cerca de 20 a 30 % em muitos casos (62) Além disso, comunidades de polinizadores mais diversas aumentam a estabilidade interanual dos serviços de polinização, reduzindo variações de rendimento, manifestando-se como maior resiliência frente a perturbações ambientais (63).

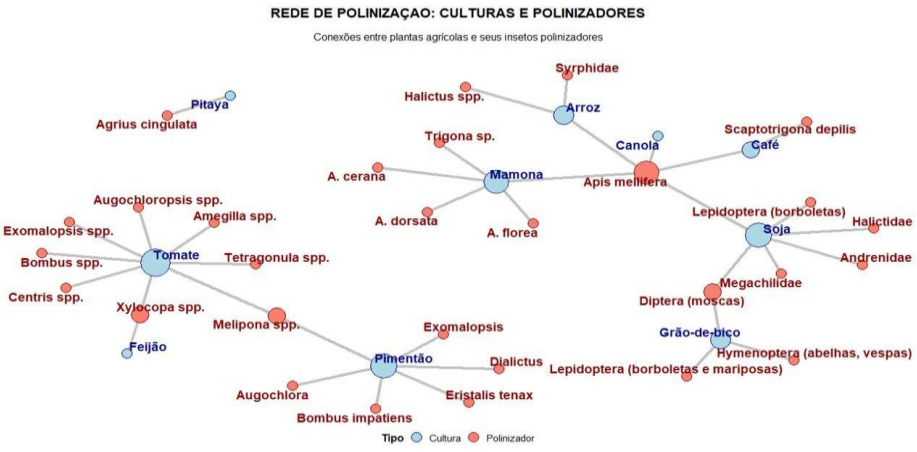


Figura 11 – Rede de polinização entre culturas agrícolas (nós azuis) e seus polinizadores (nós vermelhos). O tamanho dos nós é proporcional ao número de conexões estabelecidas, indicando a centralidade das espécies na rede. As linhas representam as interações de polinização entre culturas e polinizadores.

A rede de polinização presente na Figura 11 evidencia as conexões entre diferentes culturas agrícolas e seus respectivos polinizadores, representando a complexa teia de interações que sustenta a produção agrícola. Observa-se que algumas culturas, como o tomate e o pimentão, apresentam elevada diversidade de polinizadores associados. O tomate, por exemplo, conecta-se a diferentes grupos, incluindo abelhas dos gêneros *Xylocopa*, *Bombus*, *Centris*, *Exomalopsis* e *Melipona*, o que demonstra sua dependência de múltiplos visitantes florais. O pimentão, por sua vez, interage tanto com abelhas quanto com moscas, como *Eristalis tenax*, evidenciando uma polinização mais generalista. Essa diversidade de interações sugere maior resiliência dessas culturas, uma vez que não dependem exclusivamente de um único polinizador (55).

Por outro lado, algumas culturas aparecem associadas a um número reduzido de polinizadores, como a pitaya, ligada apenas à mariposa *Agrius cingulata*, e o feijão, conectado apenas a *Xylocopa* spp. Essa dependência mais restrita evidencia a vulnerabilidade dessas espécies agrícolas diante do declínio populacional de seus polinizadores específicos. A perda desses agentes pode comprometer diretamente a produtividade dessas culturas, destacando a necessidade de estratégias de conservação direcionadas (64).

Entre os polinizadores, destaca-se a presença central da *A. mellifera*, que interage com diversas culturas, como soja, canola, mamona e café. Essa espécie desempenha papel fundamental como polinizador generalista, atuando em diferentes sistemas produtivos. Outros grupos também se destacam pela generalização de suas interações, como borboletas e mariposas (Lepidoptera) e moscas (Diptera), que contribuem para a manutenção da rede de polinização.

De modo geral, a rede apresentada ressalta a importância da diversidade de polinizadores para a estabilidade e produtividade dos agroecossistemas. Culturas associadas a múltiplos visitantes florais apresentam maior capacidade de manter sua produção frente a variações ambientais ou declínios populacionais de determinadas espécies. Em contrapartida, aquelas dependentes de polinizadores específicos encontram-se mais suscetíveis a perdas de rendimento. Assim, a conservação de habitats naturais e a adoção de práticas agrícolas que favoreçam a diversidade de polinizadores emergem como estratégias essenciais para a sustentabilidade da agricultura (65).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A polinização por insetos, com destaque para as abelhas, se consolida como um serviço ecossistêmico estratégico que vai além do transporte de pólen. Conforme demonstrado ao longo deste trabalho, essa atividade atua como um “otimizador de produção”, que eleva o rendimento e a qualidade de culturas autógamas como o café, a soja e o tomate, e como um “seguro biológico”, que confere resiliência às safras diante de instabilidades ambientais e do declínio de polinizadores silvestres. Os ganhos são expressivos, desde o aumento no peso dos frutos até a melhoria nos atributos físico-químicos e no valor de mercado de diversos produtos agrícolas.

As implicações para a agricultura sustentável são amplas. O valor econômico gerado pela polinização otimizada pode financiar práticas de conservação, como a restauração de habitats e a criação de corredores ecológicos, estabelecendo um ciclo gerador de benefícios adicionais, como a manutenção da biodiversidade funcional e a mitigação de impactos climáticos. Para que isso se concretize, no entanto, é indispensável um manejo integrado que harmonize a promoção de polinizadores com o uso responsável de defensivos agrícolas.

Diante do exposto, para consolidar a polinização manejada como uma ferramenta central da agricultura moderna, pesquisas devem avançar em campos estratégicos. São necessários estudos comparativos que avaliem a eficácia de múltiplos polinizadores, especialmente espécies nativas pouco exploradas, em diferentes cenários edafoclimáticos. A ecotoxicologia precisa expandir seu foco para além do modelo da *A. mellifera*, investigando os mecanismos de resiliência em abelhas sem ferrão. Adicionalmente, a aplicação de tecnologias de agricultura de precisão e modelagem ecológica permitirá o monitoramento de déficits de polinização em tempo real, fortalecendo a gestão adaptativa dos sistemas agrícolas.

Em síntese, a polinização por insetos deve ser concebida como um eixo da intensificação agrícola sustentável. Reconhecer, manejar e conservar a diversidade de polinizadores são ações fundamentais não apenas para garantir a produtividade e a segurança alimentar, mas também para promover a integridade funcional dos agroecossistemas como um todo.

REFERÊNCIAS

1. Freitas B, Silva C. O Papel dos Polinizadores na Produção Agrícola no Brasil. *In*: Agricultura e Polinizadores. São Paulo: Associação Brasileira de Estudos das Abelhas; 2015.

2. Marques M, *et al*. Polinizadores na Agricultura: Ênfase em Abelhas. Rio de Janeiro: Funbio; 2015.

3. Gullan P, Cranston P. Insetos: Fundamentos da Entomologia. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2023.

4. Moreira TS, Oliveira GS, Latini AO. Importância da entomofilia na produtividade de alimentos: evidências da cultura de arroz (*Oryza sativa*). Viçosa: Sociedade de Ecologia do Brasil; 2017.

5. Almeida-Dias JMV, Campbell AJ, Moure-Oliveira D, Alves DA, Quenzer FCL, Ramos JD, *et al*. Managed Africanized honey bees and native stingless bees increase Arabica coffee yields in southeastern Brazil. Sci Agric. 2025;82:e20230049.

6. Silva FDS, Ramos DL, Mertens F, Carvalheiro LG. Native pollinators improve the quality and market value of common bean. Agric Ecosyst Environ. 2023;349:108432.

7. Silva Neto CM, Lima FG, Gonçalves BB, Bergamini LL, Bergamini BAR, Elias MAS, *et al*. Native bees pollinate tomato flowers and increase fruit production. J Pollinat Ecol. 2013;11(6):41-5.

8. Deprá MS, Gaglianone MC. Interações entre plantas e polinizadores sob uma perspectiva temporal. Oecol Aust. 2018;22:1-16.

9. Wolowski M, *et al*. Relatório Temático sobre Polinização, Polinizadores e Produção de Alimentos no Brasil. São Carlos: Editora Cubo; 2019.

10. Pereira FM. Conservação de recursos genéticos de insetos polinizadores. 2016 [acesso em 7 Mar 2024]. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/210682/conservacao-de-recursos-geneticos-de-insetos-polinizadores.

11. Aguilar-Benitez D, Casimiro-Soriguer I, Ferrandiz C, *et al*. Study and QTL mapping of reproductive and morphological traits implicated in the autofertility of faba bean. BMC Plant Biology. 2022;22:175.

12. Reutemann AV, Schedler M, Hojsgaard DH, Brugnoli EA, Zilli AL, Acuña CA, *et al*. The role of reproductive modes in shaping genetic diversity in polyploids: a comparative study of selfing, outcrossing, and apomictic *Paspalum* species. Plants. 2025;14(3):476.

13. Suetsugu K. Transcriptomic heterochrony and completely cleistogamous flowers in *Lathyrus japonicus* (Fabaceae). New Phytologist. 2023;227(1):89–102.

14. Taura L, Gudžinskas Z. Effect of simulated autogamy and allogamy on the success of *Cephalanthera longifolia* and *Cephalanthera rubra* (Orchidaceae) fruit set. Diversity. 2025;17(1):73.

15. Barônio GJ, Maciel AA, Oliveira AC, Kobal ROAC, Meireles DAL, Brito VLG, *et al*. Plantas, polinizadores e algumas articulações da biologia da polinização com a teoria ecológica. Rodriguésia. 2016;67(2):275-93.

16. Pedro J, Blas W, Reyes D, Rodríguez L, Rosales S, Ruíz J, *et al*. Mejoramiento genético en plantas autógamas. Rebiol. 2021;41(1):136-53.

17. Goodwillie C, Kalisz S, Eckert CG. The evolutionary enigma of mixed mating systems in plants: occurrence, theoretical explanations, and empirical evidence. Annu Rev Ecol Evol Syst. 2005;36:47–79.

18. Singh AK, Dhuppe MV, Pole SP, Meena PK. Identification of autogamous and self-fertile lines in sunflower (*Helianthus annuus* L.) across seasons. J Adv Biol Biotechnol. 2024;27(10):1287–92.

19. Pu DQ, Shi M, Wu Q, Gao MQ, Liu JF, Ren S, *et al*. Flower-visiting insects and their potential impact on transgene flow in rice. J Appl Ecol. 2014;51(5):1357-65.

20. Ngo HT, Gibbs J, Griswold T, Packer L. Evaluating bee (Hymenoptera: Apoidea) diversity using Malaise traps in coffee landscapes of Costa Rica. Can Entomol. 2013;145:435-53.

21. Moreaux C, Meireles DAL, Sonne J, Badano EI, Classen A, González-Chaves A, *et al*. The value of biotic pollination and dense forest for fruit set of Arabica coffee: a global assessment. Agric Ecosyst Environ. 2022;323:107680.

22. Aristizábal N, Mora-Mena SE, Martínez-Salinas A, Chain-Guadarrama A, Castillo D, Murillo JB, *et al*. Bee pollination affects coffee quality, yield, and trade-offs within them. Agric Ecosyst Environ. 2025;377:109258.

23. Karanja RHN, Njoroge GN, Kihoro JM, Gikungu MW, Newton LE. The role of bee pollinators in improving berry weight and coffee cup quality. Asian J Agric Sci. 2013;5(4):52-5.

24. Adegas JEB, Nogueira Couto RH. Entomophilous pollination in rape (*Brassica napus* L var oleifera) in Brazil. Apidologie. 1992;23:203-9.

25. Chambó ED, Oliveira NTE, Garcia RC, Duarte-Júnior JB, Ruvolo-Takasusuki MCC, Toledo VA. Pollination of rapeseed (*Brassica napus*) by Africanized honeybees (Hymenoptera: Apidae) on two sowing dates. An Acad Bras Cienc. 2014;86(4):2087-100.

26. Rosa AS, Blochtein B, Lima DK. Honey bee contribution to canola pollination in Southern Brazil. Sci Agric. 2011;68(2):255-9.

27. Mazzei MP, Vesprini JL, Galleto L. Seminatural habitats and their proximity to the crop enhances canola (*Brassica napus*) pollination and reproductive parameters in Argentina. Crop Sci. 2021;61:2713-21.

28. Silva FDS, Ramos DL, Mertens F, Carvalheiro LG. Native pollinators improve the quality and market value of common bean. Agric Ecosyst Environ. 2023;349:108432.

29. Franceschinelli EV, Ribeiro PLM, Mesquita-Neto JN, Bergamini LL, Madureira de Assis I, Elias MAS, *et al*. Importance of biotic pollination varies across common bean cultivars. J Appl Entomol. 2021;146(1-2):32-43.

30. Paulino CS, Carneiro LT, Almeida NM, Santa-Martinez E, Castro CC. Neutral influence of animal pollination in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L., Fabaceae) production and seed germination. Sci Hortic. 2023;318:112096.

31. Latif A, Malik SA, Saeed S, Iqbal N, Saeed Q, Khan KA, *et al*. Diversity of pollinators and their role in the pollination biology of chickpea, *Cicer arietinum* L. (Fabaceae). J Asia Pac Entomol. 2019;22(2):597-601.

32. Verma P, Jagarwal M, Kachhawa R, Kachhawa G. Assessing pollinator communities of chickpea (*Cicer arietinum* L.): Diversity, abundance, and pollination efficacy in Jaipur District, Rajasthan, India. Int J Entomol Res. 2025;10(7):202-7.

33. Navatha L, Sreedevi K. Insect pollinator diversity and abundance in Castor, *Ricinus communis* L. Curr Biotica. 2012;6(2):251-3.

34. Rizzardo RAG, Milfont MO, Silva EMS, Freitas BM. *Apis mellifera* pollination improves agronomic productivity of anemophilous castor bean (*Ricinus communis*). An Acad Bras Cienc. 2012;84(4):1137-45.

35. Nayak SB, Kumar Y, Yadav S. Foraging duration of pollinators and their movement on *Ricinus communis*. J Pharmacogn Phytochem. 2020;9(3):2285-8.

36. Shipp JL, Whitfield GH, Papadopoulos AP. Effectiveness of the bumble bee, *Bombus impatiens* Cr. (Hymenoptera: Apidae), as a pollinator of greenhouse sweet pepper. Sci Hortic. 1994;57:29-39.

37. Cruz DO, Freitas BM, Silva LA, Silva EMS, Bomfim IGA. Pollination efficiency of the stingless bee *Melipona subnitida* on greenhouse sweet pepper. Pesq Agropec Bras. 2005;40(12):1197-201.

38. Roselino AC, Santos SAB, Bego LR. Qualidade dos frutos de pimentão (*Capsicum annuum* L.) a partir de flores polinizadas por abelhas sem ferrão (*Melipona quadrifasciata* anthidioides Lepeletier 1836 e *Melipona scutellaris* Latreille 1811) sob cultivo protegido. Rev Bras Biocienc. 2010;8(2):154-8.

39. Jarlan A, Oliveira D, Gingras J. Effects of *Eristalis tenax* (Diptera: Syrphidae) pollination on characteristics of greenhouse sweet pepper fruits. J Econ Entomol. 1997;90(6):1650-4.

40. Jarlan A, Oliveira D, Gingras J. Pollination by *Eristalis tenax* (Diptera: Syrphidae) and seed set of greenhouse sweet pepper. J Econ Entomol. 1997;90(6):1646-9.

41. Raw A. Foraging behaviour of wild bees at hot pepper flowers (*Capsicum annuum*) and its possible influence on cross pollination. Ann Bot. 2000;85:487-92.

42. Pereira ALC, Taques TC, Valim JOS, Madureira AP, Campos WG. The management of bee communities by intercropping with flowering basil (*Ocimum basilicum*) enhances pollination and yield of bell pepper (*Capsicum annuum*). J Insect Conserv. 2015;19:479-86.

43. Putra DP, Dahelmi, Salmah S, Swasti E. Pollination in chili pepper (*Capsicum annuum* L.) by *Trigona laeviceps* and *T. minangkabau* (Hymenoptera, Meliponini). J Entomol Zool Stud. 2016;4(4):191-4.

44. Azmi WA, Seng CT, Solihin NS. Pollination efficiency of the stingless bee, *Heterotrigona itama* (Hymenoptera: Apidae) on chili (*Capsicum annuum*) in greenhouse. J Trop Plant Physiol. 2016;8:1-11.

45. Muniz JPO, Bomfim IGA, Corrêa MCM, Freitas BM. Complementary bee pollination maximizes yield and fruit quality in two species of self-pollinating pitaya. Rev Cienc Agron. 2020;51(4):e20207106.

46. Gazzoni DL. Soja e Abelhas. Londrina: Embrapa Soja; 2017. (Embrapa Soja. Documentos, 387).

47. Blettler DC, Fagúndez GA, Caviglia NP. Honey bee pollination and its effect on the quality and yield of soybean. Apid. 2017;49:101–111

48. Wheelock MJ, Rey KP, O'Neal ME. Defining the Insect Pollinator Community Found in Iowa Corn and Soybean Fields: Implications for Pollinator Conservation. Environ Entomol. 2016;45(5):1099-1106.

49. Santos Martínez EI, Morelli E, Galván G. Dependence of soybeans (*Glycine Max* Merril) to entomophile pollination and study of food resources of honey bees (*Apis Mellifera* L.) in contact with the crop. Agrociencia Urug. 2021;25(Suppl):e1523.

50. Wolditsadik M, Beyene T, Abi D. Investigating the Role of Honeybee (*Apis mellifera* L.) Pollination on Seed Yield of Soybean (*Glycine max* L. Merril). Am J BioSci. 2023;11(4):88-91.

51. Erickson EH. Effect of honey bees on yield of three soybean cultivars. Crop Sci. 1975;15(1):84-6.

52. Chiari WC, Toledo VAA, Ruvolo-Takasusuki MCC, Oliveira AJ, Sakaguti ES, Attencia VM, *et al*. Pollination of soybean (*Glycine max* L. Merril) by honeybees (*Apis mellifera* L.). Braz Arch Biol Technol. 2005;48(1):31-6.

53. Kengni SB, Fohouo FNT, Ngakou A. Impact of the foraging activity of *Apis mellifera* adansonii Latreille (Hymenoptera: Apidae) and *Bradyrhizobium* fertilizer on pollination and yield components of *Glycine max* L. (Fabaceae) in the field. Int J Biol Res. 2015;3(2):64-71.

54. Cooley H, Vallejo-Marín M. Buzz-Pollinated Crops: A Global Review and Meta-analysis of the Effects of Supplemental Bee Pollination in Tomato. J Econ Entomol. 2021;114(2):505-519.

55. Silva-Neto CM, Bergamini LL, Elias MAS, Moreira GL, Morais JM, Bergamini BAR, et al. High species richness of native pollinators in Brazilian tomato crops. Braz J Biol. 2016;77(3):506-513.

56. Salvarrey S, Santos E, Arbulo N, Giménez G, Invernizzi C. Characteristics of the tomato fruit (*Solanum lycopersicum*) using native bumblebees (*Bombus atratus*) as pollinators in greenhouse. Agrociencia Urug. 2020;24(1):101.

57. Rijo G, Alameda D, Barro A. Tomato (*Solanum lycopersicum*) specialized pollination is isolated from neighboring plants and pollinators. J Poll Ecol. 2022;31(4):29-38.

58. Yankit P, Rana K, Sharma HK, Thakur M, Thakur RK. Effect of Bumble Bee Pollination on Quality and Yield of Tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.) Grown Under Protected Conditions. Int J Curr Microbiol App Sci. 2018;7(1):257-263.

59. Wongsa K, Duangphakdee O, Rattanawannee A. Pollination efficacy of stingless bees, *Tetragonula pagdeni* Schwarz (Apidae: Meliponini), on greenhouse tomatoes (*Solanum lycopersicum* Linnaeus). PeerJ. 2023;11:e15367.

60. Guarido GV, Hata FT, Zanutto CA, Nunes WMC. Desafios e oportunidades na adoção de polinização entomológica do tomate (*Solanum lycopersicum* L.) por abelhas bombus em fazendas verticais: uma revisão abrangente. Contrib Cienc Soc. 2024;17(7):1-22.

61. Silva-Neto CM, Ribeiro ACC, Gomes FL, Melo APC, Oliveira GM, Faquinello P, *et al.* The stingless bee mandaçaia (*Melipona quadrifasciata* Lepeletier) increases the quality of greenhouse tomatoes. J Apic Res. 2019;58(1):9-15.

62. Klein AM, Vaissière BE, Cane JH, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, Kremen C, et al. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. Proc R Soc B. 2007;274:303-13.

63. Sáez A, Aguilar R, Ashworth L, Gleiser G, Morales CL, Traveset A, et al. Managed honeybees decrease pollination limitation in self-compatible but not in self-incompatible crops. Proc R Soc B. 2022;289(1972):20220086.

64. Bishop J, Nakagawa S. Quantifying crop pollinator dependence and its heterogeneity using multi-level meta-analysis. J Appl Ecol. 2021;58(5):1030-42.

65. Hutchinson LA, Oliver TH, Breeze TD, Greenwell MP, Powney GD, Garratt MPD. Stability of crop pollinator occurrence is influenced by bee community composition. Front Sustain Food Syst. 2022;6:943309.

Capítulo 13

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-13

QUALIDADE DA PLANTABILIDADE DE SEMENTES DE MILHO-DOCE: ESPAÇAMENTOS FALHOS, ACEITÁVEIS E DUPLOS

Túlio de Almeida Machado**; *Mariana João Pedro Rapalião*; *Marlos Antônio Rezende Filho*; *Danilo Pires Borges*; *Samuel Carlos Vaz dos Santos*; *Isabella Cristina Fernandes Costa*; *João Braz Ferreira Neto

**Autor correspondente (Corresponding author)Email: tulio.machado@ifgoiano.edu.br*

Resumo: A qualidade da semeadura é determinante para o sucesso do estabelecimento de culturas agrícolas, especialmente no milho-doce (Zea mays L. grupo saccharata). O objetivo deste trabalho foi avaliar a plantabilidade de sementes de milho-doce utilizando diferentes velocidades de semeadura em semeadora mecânica com disco dosador horizontal. O experimento foi conduzido no IF Goiano – Campus Morrinhos, em delineamento de parcelas subdivididas (6 peneiras × 3 velocidades), totalizando 18 tratamentos com 5 repetições. Foram avaliados os espaçamentos entre sementes, classificados como duplos, aceitáveis e falhos, a partir de medições lineares no sulco. A análise de variância demonstrou que o tipo de peneira influenciou significativamente os espaçamentos duplos e falhos, mas não os aceitáveis. A velocidade de operação afetou todas as variáveis analisadas, sendo a velocidade intermediária (3,75 km h^{-1}) a que apresentou maior percentual de espaçamentos aceitáveis (68,62%) e menor percentual de duplos (20,23%). As peneiras 16C e 18C apresentaram maiores porcentagens de duplos (33,84% e 33,14%), enquanto a peneira 20R apresentou menor percentual de duplos (13,15%) e maior percentual de falhas (20,98%). A interação entre peneiras e velocidade foi significativa para os espaçamentos aceitáveis e falhos, indicando que sementes maiores, classificadas na peneira 20R, são mais sensíveis ao aumento da velocidade, resultando em queda no percentual de aceitáveis (48,96%) e aumento nas falhas (35,55%) a 6,0 km h^{-1}. Conclui-se que a eficiência da semeadura é otimizada pela seleção adequada da peneira e pela manutenção de velocidades intermediárias, garantindo maior uniformidade na distribuição de sementes, redução de falhas e aumento no percentual de espaçamentos aceitáveis.

Palavras–chave: distribuição de sementes; semeadura de precisão; Zea mays saccharata

INTRODUÇÃO

O milho-doce (Zea mays *L*. grupo saccharata), pertencente à família das Poáceas ou Gramínea, do gênero Zea, é considerado uma hortaliça voltada para o processamento industrial. Moro (1) ainda afirma que o milho doce ainda é pouco difundido para o consumo in natura pelo restrito número de cultivares adaptadas ao clima tropical.

Parizotto (2) afirma que as regiões que mais produzem milho-doce no mundo são: os Estados Unidos e o sul do Canadá. No Brasil a produção de milho-doce está concentrada nos estados do Rio Grande do Sul, São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Distrito Federal e

Pernambuco, sendo consumido basicamente sob a forma de milho verde enlatado.

A semeadura é uma das etapas de grande importância no ciclo agrícola, porém Marques Filho et al (3) afiram que na realidade rural brasileira, muitos produtores ainda somam prejuízos pela falta de informações técnicas ou mesmo por falhas nos ajustes e regulagens dos mecanismos dosadores de sementes, portanto a correta seleção e composição desses sistemas é fundamental para que o sucesso da operação seja alcançado.

Importante realçar que nas semeadoras com sistema dosador de disco horizontal, é recomendado a correta adequação do conjunto de disco e anel, este fator é importante, pois para que a semente mantenha equidistância uniforme no sulco de plantio. Parizotto (2) elenca que além da distância entre sementes e o adubo, o contato solo/semente e a profundidade de semeadura que podem garantir um estande com potencial de alta produtividade.

A plantabilidade, ou semeabilidade, definida por Martin et al. (4) está relacionada com a qualidade de distribuição vertical de sementes no sulco da semeadura e, horizontal pela variação de distância entre as sementes na fileira de semeadura. Nos sistemas de distribuição de discos horizontais, Souza Júnior e Cunha (5) alertam que a semente precisa encaixar corretamente em alvéolos, e isso depende da velocidade de rotação do disco, que está ligada à velocidade de trabalho da semeadora, e da fluidez das sementes no reservatório.

As semeadoras disponíveis no mercado têm por características, mecanismos dosadores que atendem integralmente os pré-requisitos da uniformidade de distribuição espacial de sementes. Porém, Reynaldo et al (6) afirmam que um sistema distribuidor eficiente é aquele que individualiza a semente contida em um determinado reservatório de forma que ela não sofra nenhum dano mecânico e que seja distribuída de forma uniforme de acordo com os requisitos de cada cultura, ou seja, a correta distribuição das sementes é considerada uma das principais funções de uma semeadora, sempre buscando a produtividade ideal.

Ferreira et al. (7) ainda discorre sobre qualidade na semeadura, a velocidade do conjunto na operação, que é um dos parâmetros que mais influência no desempenho da semeadora, sendo que a distribuição longitudinal de sementes no sulco também é afetada pela velocidade de deslocamento, que por sua vez, influencia na produtividade da cultura de milho.

Portanto, com este trabalho pretende-se avaliar a qualidade da plantabilidade de milho doce em diferentes velocidades sob mesmo disco dosador de semeadura, e assim gerar dados que possam subsidiar ações de manejo mais eficientes e sustentáveis.

.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos, localizado no município de Morrinhos/GO com coordenadas de 17º 30’ 20” a 18º 05’ 40” de latitude sul e 48º 41’ 08” a 49º 27’ 34” de longitude oeste, com altitude média de 771 m referente à região de Morrinhos e clima ameno (tropical úmido). De acordo com Albuquerque e Silva (8), a topografia local é plana e a temperatura média anual de 20°C.

De acordo com Santos et al. (9), o solo do local foi classificado com um Latossolos (USA, 2014), que corresponde a um Latossolo Vermelho-Amarelo no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, com textura argilosa. Para a realização da semeadura foram utilizados um trator John Deere 4x2 TDA, com potência nominal de 78 kW (106 cv) e uma

semeadora com dosador mecânico, marca Netz, modelo PDN 6000 com 6 unidades de semeadura

A cultura utilizada foi a do milho doce (*Zea mays* L. grupo saccharata), com o híbrido da Syngenta GSS0227. Antes da passagem do conjunto mecanizado, a semeadora foi aferida para a quantidade de sementes recomendadas pelo fornecedor, que foi de 4,8 sementes m^{-1}, totalizando um estande ideal aproximado de 96 mil sementes ha^{-1} (para um estande final de aproximadamente 80.000 planas ha^{-1}) e um espaçamento entre linhas de 0,5 m. As sementes foram depositadas a uma profundidade média de 3,5 cm. Foram utilizados 6 tipos de sementes, baseadas em suas classificações quanto ao formado (peneiras).

No processo de classificação realizado na Unidade de Beneficiamento de Sementes (UBS), as sementes passaram por peneiras de crivo oblongo para a classificação quanto a sua espessura (E – espessa; R – redonda), por peneiras de crivo redondo para a classificação quanto a sua largura (18; 20; 22 e 24/64") e por classificação quanto ao comprimento delas (C – curta, M – média). Na Tabela 1 estão descritas as características das sementes utilizadas como a peneira (fornecida pelo fabricante), comprimento, largura, espessura e esfericidade média (estas com a mensuração de 30 sementes por peneira) e o Peso de Mil Sementes (PMS).

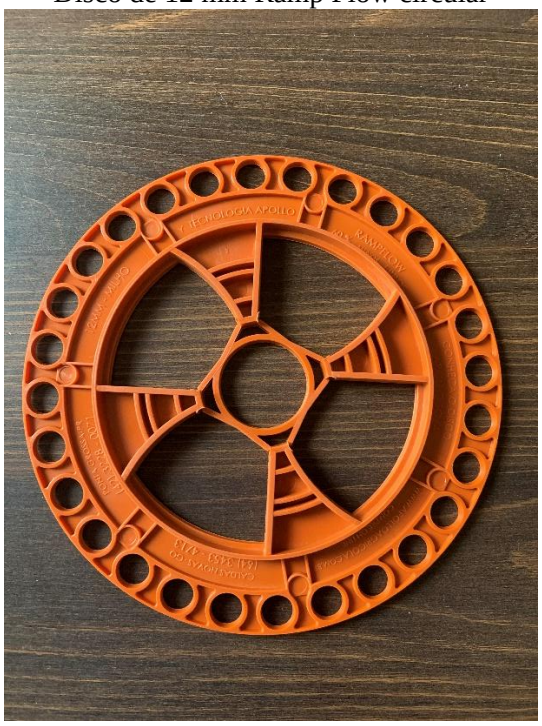
Tabela 1 - Classificação dos tipos de sementes utilizadas no plantio

Peneira	Médias				PMS (g)
	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Esfericidade (%)	
16 C	5,6	3,3	2,0	59,0	135,53
16 R	5,1	3,2	2,2	65,0	141,23
18 C	5,5	3,6	1,9	60,1	148,34
18 R	4,4	3,5	2,3	74,0	133,86
20 C	5,6	4,2	1,8	62,3	158,24
20 R	4,5	3,6	2,1	71,7	147,82

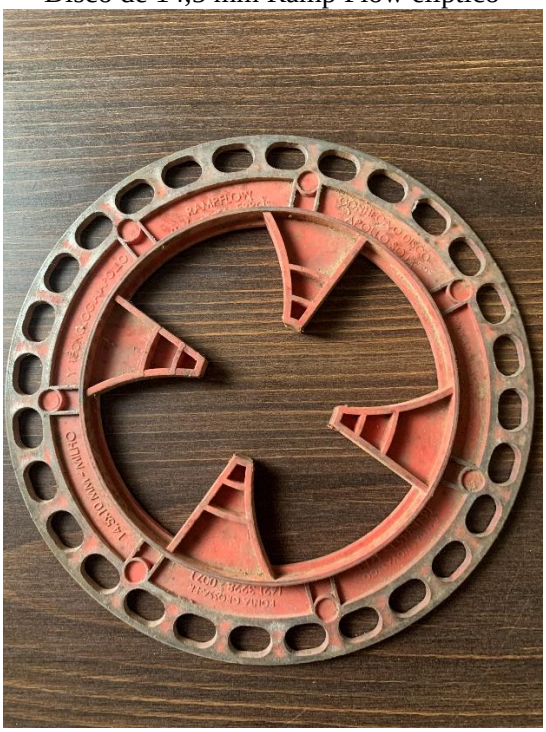
Para a escolha do disco dosador, além da caracterização das sementes, foram verificadas as condições de encaixe das sementes nos discos e anéis a serem utilizados. Essa verificação foi baseada na premissa de que deveriam se encaixar apenas uma semente por furo e que parte da semente não ficasse acima da superfície do disco. Como não há um disco específico para milho doce, foram utilizados de milho convencional. Após as observações, os discos que atenderam à todas essas peneiras foram os discos horizontais (Figura 1) de 12 mm Circular (Tecnologia Ramp Flow) para sementes consideradas mais curtas e redondas de 14,5 mm Elíptico (Tecnologia Ramp Flow) para sementes mais chatas e de maior cumprimento.

Figura 1 - Discos dosadores utilizados para a semeadura

Disco de 12 mm Ramp Flow circular



Disco de 14,5 mm Ramp Flow elíptico



Foram avaliadas 3 velocidades operacionais de 2,4; 3,5 e 6,0 km h^{-1}. A variação da velocidade operacional utilizada teve como base a velocidade padrão de operação recomendada (aproximadamente 4,0 km h^{-1}). As velocidades foram definidas por meio da combinação de marchas do trator e rotação do motor. Esta foi obtida com auxílio de um cronômetro mensurando o tempo gasto pelo conjunto mecanizado ao percorrer a distância de 50 metros em 5 repetições.

Portanto, o delineamento foi composto por um esquema de parcelas subdivididas 6 x 3, totalizando dezoito tratamentos e 5 repetições para cada tratamento onde, dentro de cada repetição, foram contabilizados 2 metros lineares em 2 linhas. Cada parcela possuiu uma área 2,0 m^2 (1 x 2,0 m).

A variável analisada foi o tipo de espaçamento entre as sementes. A mensuração da distância linear entre as sementes foi avaliada com o auxílio de uma trena de 3 metros (Figura 2). As sementes foram desenterradas no próprio leito de semeadura após a passagem do conjunto mecanizado para a mensuração da distância entre elas.

Figura 2 - Mensuração dos espaçamentos entre sementes



Para definir o tipo de espaçamento entre as sementes, foi utilizado a metodologia adotada por Costa et al. (10), onde estes autores classificaram a distribuição linear em três categorias, sendo elas: dupla (quando a distância entre plantas for menor que 0,5 vezes a sua distância ideal), falha (quando a distância entre as plantas for 1,5 vezes maior que a distância ideal) e aceitável (quando a distância entre as plantas for maior que 0,5 vezes e menor que 1,5 vezes. O espaçamento ideal foi baseado no número de sementes por metro (4,9 sementes m^{-1}) e possuiu o valor de 0,208 m entre sementes. Portanto, foram definidos os espaçamentos em duplas ($x < 0,10$ m), aceitáveis ($0,10$ m $< x < 0,31$ m) e falhas ($x > 0,31$ m).

Após testar a normalidade dos dados, os resultados foram analisados por análise de variância (ANOVA) utilizando o teste F com nível de significância de 5%. Os valores de p foram apresentados para indicar se houve ou não significância entre os níveis das variáveis e sua interação. As médias das variáveis nos diferentes tratamentos foram analisadas pelo teste de Tukey com nível de significância de 5%. Para todas as análises estatísticas o software utilizado foi o Assistat versão 7.7.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância apresentada na Tabela 2 evidencia os efeitos dos fatores peneiras, velocidade operacional e sua interação sobre a qualidade da distribuição de sementes, considerando as porcentagens de espaçamentos duplos, aceitáveis e falhos.

Tabela 2 – Análise de Variância na avaliação do efeito dos fatores peneiras e velocidade operacional e sua interação em termos das médias para a porcentagem de espaçamentos duplos, aceitáveis e falhas

F.V.	GL	% Duplas	% Aceitáveis	% Falhas
		Pvalor	Pvalor	Pvalor
Peneiras	5	$0,0001^{**}$	$0,1060^{ns}$	$0,0001^{**}$
Velocidade	2	$0,0098^{**}$	$0,0007^{**}$	$0,0008^{**}$
Peneiras x Velocidade	10	$0,5876^{ns}$	$0,0260^{*}$	$0,0048^{**}$

**significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<.01); *significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01≤ p<.05); ^{ns} não significativo (p ≥.05)

Observou-se que o fator peneiras influenciou de forma altamente significativaas porcentagens de espaçamentos duplos e falhos, mas não apresentou efeito significativo sobre os aceitáveis. Isso indica que a escolha do conjunto de peneiras no dosador exerce impacto direto na ocorrência de deposições inadequadas (duplas e falhas), mas não compromete de maneira estatisticamente expressiva a proporção de espaçamentos corretos.

Já o fator velocidade de deslocamento apresentou efeito significativo sobre todas as variáveis analisadas, sendo altamente significativo para os espaçamentos aceitáveis e falhos, e significativo também para os duplos. Esse resultado reforça que a velocidade da semeadora é determinante para a plantabilidade, uma vez que o aumento da velocidade pode reduzir o tempo de liberação e posicionamento das sementes, elevando tanto a ocorrência de falhas quanto de duplos.

A interação entre peneiras e velocidade mostrou-se significativa para os aceitáveis e para os falhos, mas não para os duplos. Isso sugere que os efeitos combinados do tipo de peneira e da velocidade de semeadura têm papel relevante na manutenção da uniformidade da distribuição (aceitáveis) e na redução das falhas, mas não exercem influência conjunta significativa sobre a ocorrência de duplos.

De maneira geral, os resultados indicam que tanto o tipo de peneira quanto a velocidade de operação devem ser criteriosamente ajustados para garantir elevada eficiência de plantabilidade. A interação entre esses fatores ressalta a importância de calibrar a semeadora considerando não apenas as características físicas do dosador, mas também a velocidade operacional adequada às condições de campo.

Quando Cortez et al. (11) estudando a distribuição das sementes de soja no plantio direto observou que o aumento da velocidade da semeadura afetou significativamente na porcentagem de espaçamentos falhos e aceitáveis, os quais concordam com os dados encontrados neste presente trabalho. Que também coincide com Zardo e Cazimiro (12), que realizaram a semeadura de milho a uma velocidade de 8,5 km h^{-1} com uma semeadora convencional, resultando em uma redução de 20,4% dos espaçamentos normais/aceitáveis, devido ao aumento de espaçamentos falhos e/ou duplos.

A Tabela 3 apresenta as médias para os espaçamentos duplos e falhos em diferentes peneiras de sementes utilizadas no processo de semeadura do milho-doce.

.

Tabela 3 - Médias para a porcentagem de espaçamentos duplos e falhas para as diferentes peneiras de sementes avaliadas

Peneiras	% Duplas	% Falhas
16 C	33,84 a	4,72 b
16 R	20,10 b	8,24 b
18 C	33,14 a	8,07 b
18 R	23,53 ab	12,64 ab
20 C	21,77 ab	9,47 b
20 R	13,15 b	20,98 a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Para a variável espaçamentos duplos, observa-se que as peneiras 16C e 18C apresentaram os maiores valores, não diferindo estatisticamente entre si e evidenciando maior propensão à deposição simultânea de duas sementes por célula do disco. Em contrapartida, a peneira 20R apresentou o menor percentual de duplos, diferindo estatisticamente das demais. Esse resultado demonstra que peneiras de maior diâmetro, como a 20R, tendem a reduzir a ocorrência de deposições duplas, provavelmente por proporcionarem melhor adequação entre o tamanho do alvéolo e a semente.

Em relação aos espaçamentos falhos, destaca-se a peneira 20R, que apresentou o maior percentual, diferindo estatisticamente da 16C, 16R, 18C e 20C. Esse comportamento sugere que, embora a 20R tenha reduzido os duplos, aumentou a incidência de falhas, possivelmente devido à menor capacidade de retenção de sementes pelo alvéolo em relação ao tamanho do grão.

De forma intermediária, as peneiras 16R (20,10% de duplos; 8,24% de falhas) e 18R (23,53% de duplos; 12,64% de falhas) apresentaram desempenho equilibrado, sem diferir de ambos os extremos estatísticos em algumas comparações.

Estes resultados vão de acordo com Vasquez, et al. (13) que, estudando a influência do tamanho e da forma da semente de milho sobre o desenvolvimento da planta e a produtividade de grãos concluiu que as diversas peneiras e formas de sementes não interferiram na população de plantas obtidas na colheita.

De acordo com Santos et al. (14), a uniformidade das sementes é um fator determinante para a eficiência do enchimento dos discos dosadores em semeadoras de precisão. Valores elevados de CV, como observados em algumas cultivares, comprometem esse processo, favorecendo falhas na deposição e resultando em populações de plantas abaixo do esperado.

A Tabela 4 apresenta as médias referentes às porcentagens de espaçamentos duplos, aceitáveis e falhos para as diferentes velocidades operacionais avaliadas. Observou-se que a velocidade de 3,75 km h^{-1} resultou na menor ocorrência de espaçamentos duplos, diferindo significativamente das velocidades de 2,43 e 6,0 km h^{-1}, que apresentaram valores semelhantes e superiores (26,21% e 26,33%, respectivamente). Este resultado evidencia que a adoção de uma velocidade intermediária tende a reduzir a sobreposição de sementes no sulco, favorecendo maior uniformidade na distribuição longitudinal.

Tabela 4 - Médias para a porcentagem de espaçamentos duplos, aceitáveis e falhas para as diferentes velocidades operacionais (km h^{-1}) avaliadas

Velocidade	% Duplas	% Aceitáveis	% Falhas

2,43	26,21 a	66,90 a	687 b
3,75	20,23 b	68,62 a	11,13 ab
6,00	26,33 a	59,60 b	14,05 a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Com relação aos espaçamentos aceitáveis, as velocidades de 2,43 e 3,75 km h^{-1} apresentaram os maiores percentuais, não diferindo estatisticamente entre si, mas superando a maior velocidade (6,0 km h^{-1}), que obteve 59,60%. Esse comportamento confirma que o aumento da velocidade de deslocamento compromete a precisão do mecanismo dosador, reduzindo a qualidade do estande estabelecido.

No que se refere aos espaçamentos falhos, verificou-se que o menor valor da velocidade 2,43 km h^{-1}, com 6,87%), diferiu-se da maior velocidade (6,0 km h^{-1}, com 14,05%). A velocidade intermediária (3,75 km h^{-1}) apresentou resultado estatisticamente semelhante a ambos os extremos, com valor intermediário.

Dessa forma, nota-se que a elevação da velocidade está associada ao aumento da ocorrência de falhas, indicando maior dificuldade do sistema em garantir a deposição adequada de sementes. Os resultados apontam que a velocidade intermediária melhor equilíbrio entre redução de duplas, manutenção de elevados percentuais de espaçamentos aceitáveis e controle dos espaçamentos falhos.

De acordo com os dados acima descritos observou-se que, quanto menor for a velocidade da semeadura, melhor será a distribuição das sementes no campo. Estes resultados corroboram com o obtido por Giacomim (15), que cita que, com o aumento de apenas 1,0 km h^{-1} a mais na velocidade de trabalho, houve uma redução de 0,88% dos espaçamentos normais ou aceitáveis, sendo a 3,0 km h^{-1} onde obteve melhores resultados. Reis et al. (16) ainda afirmam que que a velocidade operacional ideal é aquela que permite a abertura e fechamento do sulco sem remoção exagerada de solo, permitindo a regularidade na distribuição de sementes e depositando-as em profundidades constante.

A Tabela 5 apresenta as médias de porcentagens de espaçamentos aceitáveis e falhas em função da interação entre peneiras de classificação de sementes e velocidades operacionais.

Tabela 5 - Médias para as porcentagens de espaçamentos aceitáveis e falhas para a interação entre as peneiras das sementes e as velocidades operacionais (km h^{-1}) utilizadas

Peneira	Velocidade Operacional		
	2,43	3,75	6,00
	% Aceitáveis		
16 C	61,24 aA	59,19 aA	63,85 aA
16 R	73,02 aA	77,07 aA	64,82 aA
18 C	58,16 aA	60,88 aA	57,29 aA
18 R	61,71 aA	66,76 aA	63,00 aA
20 C	73,75 aA	72,77 aA	59,71 aA
20 R	73,54 aA	75,06 aA	48,96 aB
	% Falhas		
16 C	2,65 aA	9,19 aA	2,31 bA
16 R	3,65 aA	12,61 aA	8,47 bA
18 C	4,74 aA	8,83 aA	10,64 bA
18 R	11,13 aA	12,45 aA	14,32 bA

20 C	7,27 aA	8,12 aA	13,03 bA
20 R	11,79 aB	15,60 aB	35,55 aA

Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem de si na coluna e médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem de si na linha estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com relação aos espaçamentos aceitáveis, observou-se que, de forma geral, não houve diferenças estatísticas significativas entre as velocidades dentro de cada peneira, exceto para a peneira 20R, na qual a maior velocidade reduziu expressivamente o percentual de espaçamentos aceitáveis, diferindo das menores velocidades. Esse resultado evidencia que sementes retidas na peneira 20R, possivelmente de maior tamanho e peso, apresentaram desempenho satisfatório em baixas e médias velocidades, mas tiveram sua distribuição comprometida em alta velocidade. Por outro lado, as peneiras 16C, 16R, 18C, 18R e 20C apresentaram desempenho mais estável entre velocidades, com valores variando entre 57% e 77%, indicando menor sensibilidade ao aumento da velocidade de deslocamento.

No que se refere às falhas, a combinação da peneira 20R com a maior velocidade apresentou o valor mais elevado, diferindo estatisticamente das demais condições. Esse resultado confirma que, para sementes maiores e mais pesadas, o aumento da velocidade de operação pode dificultar a liberação uniforme pelo dosador, resultando em falhas acentuadas na deposição. Nas demais peneiras, não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre velocidades, embora a tendência geral indique ligeiro aumento das falhas à medida que a velocidade cresce, especialmente nas peneiras 18R e 20C.

De maneira geral, os resultados indicam que a classificação das sementes exerce efeito importante sobre a qualidade da semeadura, e esse efeito é potencializado pelo aumento da velocidade de deslocamento. Enquanto peneiras com sementes menores (16C, 18C) apresentaram desempenho estável, ainda que em patamares mais baixos de aceitabilidade, a peneira 20R mostrou maior variabilidade, com desempenho superior em baixas velocidades, mas queda acentuada em maiores velocidades. Esses achados reforçam a importância de se considerar não apenas a uniformidade e o tamanho das sementes, mas também a adequação da velocidade operacional da semeadora para garantir maior precisão na distribuição longitudinal e minimizar falhas no estande.

Observou-se que o aumento da velocidade de deslocamento comprometeu a qualidade da deposição das sementes, principalmente na peneira 20R, em que a 6,0 km h^{-1} o percentual de espaçamentos aceitáveis caiu para 48,96% e as falhas aumentaram expressivamente para 35,55%. Esse comportamento confirma a influência negativa da elevação da velocidade sobre a uniformidade de distribuição, conforme relatado por Reynaldo et al. (6), que verificaram, na cultura da soja, que maiores velocidades de semeadura resultaram em aumento dos espaçamentos múltiplos e falhos, reduzindo os aceitáveis e, consequentemente, a produtividade, com melhor desempenho na velocidade de 4,0 km h^{-1}. Resultados semelhantes foram obtidos por Correa Júnior et al. (17), na cultura do milho verde, onde velocidades mais baixas (4,5 km h^{-1}) proporcionaram maior precisão de deposição em comparação às mais altas (7,0 km h^{-1}). Da mesma forma, Canova et al. (18), avaliando diferentes velocidades de operação (6,0; 8,0 e 9,0 km h^{-1}) em semeadora de precisão de disco horizontal para soja, observaram diferenças significativas entre os tratamentos, com destaque para o melhor desempenho na velocidade intermediária de 6,0 km h^{-1}.

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam que a escolha adequada da peneira e a definição correta da velocidade de semeadura não apenas influenciam a uniformidade do estande, mas também apresentam desdobramentos diretos sobre a eficiência operacional e os custos de produção. Do ponto de vista econômico, a maior regularidade na distribuição de sementes reduz desperdícios, evita falhas de estande e contribui para o melhor aproveitamento do potencial produtivo da cultura, resultando em maior retorno financeiro por área cultivada.

Sob a ótica da mecanização agrícola, a operação em velocidades intermediárias otimiza o desempenho da semeadora, conciliando capacidade operacional com qualidade de deposição de sementes. Isso significa que o produtor pode manter índices satisfatórios de rendimento operacional (hectares a hora trabalhada) sem comprometer a qualidade da semeadura, o que reflete em economia de combustível, menor desgaste dos equipamentos e maior sustentabilidade do sistema produtivo.

Portanto, estes resultados reforçam a importância da calibração criteriosa dos dosadores de sementes e da definição da velocidade de operação como práticas de manejo que, além de assegurar a uniformidade do estande, maximizam o aproveitamento da mecanização agrícola, integrando ganhos de produtividade e eficiência econômica no campo.

CONCLUSÕES

Conclui-se que a qualidade da semeadura de milho-doce é diretamente influenciada tanto pela peneira utilizada quanto pela velocidade de operação da semeadora. Sementes de maior calibre (20R) demonstraram maior sensibilidade ao aumento da velocidade, resultando em maior percentual de falhas. A eficiência máxima foi alcançada com a combinação adequada da peneira e a manutenção da semeadora em velocidade intermediária, condição que proporcionou maior percentual de espaçamentos aceitáveis, redução de falhas e melhor uniformidade do estande, assegurando maior potencial produtivo.

AGRADECIMENTOS

Ao IF Goiano – Campus Morrinhos pela possibilidade de desenvolvimento do trabalho. À equipe do Grupo de Estudos e Pesquisa em Mecanização Agrícola (GEPEMA) pelo auxílio durante a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

1. Môro GV. Histórico do melhoramento genético do milho. In: Lima RO, Borém A, editores. Melhoramento de milho. Viçosa: Editora UFV; 2018. p. 9-19.
2. Parizotto NF. Qualidade física e fisiológica de sementes de milho e soja semeadas com diferentes mecanismos dosadores e velocidades de deslocamento. Dissertação de Mestrado. 85p. Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Energia na Agricultura). Botucatu: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agronômicas; 2021.
3. Marques Filho O, et al. Plantabilidade e distribuição longitudinal de sementes de algodão com diferentes conjuntos disco-anel em dosador mecânico. Energia na Agricultura. 2020; 35(4):476-83.
4. Martin TN, Pires JLF, Vey RT. Plantabilidade e velocidade de semeadura na cultura da

soja. In: Martin TN, Pires JLF, Vey RT, editores. Tecnologias aplicadas para o manejo rentável e eficiente da cultura da soja. Curitiba: Editora GR; 2022. p. 201-14.
5. Souza Junior RL, Cunha JPAR. Desempenho de uma semeadora de plantio direto na cultura do milho. Ver. Agrotecnologia. 2012; 3(1):81-90.
6. Reynaldo EF, et al. Avaliação da distribuição de sementes de feijão em semeadoras. Nativa. 2017; 5(4):274-6.
7. Ferreira FM, et al. Distribuição longitudinal na semeadura do milho com semeadoras de precisão mecânica e pneumática. Nativa. 2019; 7(3):296-300.
8. Albuquerque ACS, Silva AG. Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; 2008. 704 p.
9. Santos AJM, et al. Análise espacial da distribuição longitudinal de sementes de milho em uma semeadora-adubadora de precisão. Biosci. J. 2011; 27(1):16-23.
10. Costa RD, et al. Influência da velocidade de semeadura no coeficiente de variação e no estabelecimento do milho. Anuário Pesquisa e Extensão, Unoesc São Miguel do Oeste. 2018; 3:e17787.
11. Cortez JW, et al. Distribuição longitudinal de sementes de soja e características físicas do solo no plantio direto. Eng. Agric. 2006; 26(2):502.
12. Zardo L, Casimiro ELN. Plantabilidade de diferentes tecnologias de disco para semeadura sob duas velocidades. Ver. Cultivando o Saber. 2016; 9(0):90-9.
13. Vazquez GH, et al. Influência do tamanho e da forma da semente de milho sobre o desenvolvimento da planta e a produtividade de grãos. Biosci J. 2012; 28(1):16-24.
14. Santos SR, et al. Variáveis dimensionais de sementes de soja que influenciam o processo de semeadura. Ver. Bras. Eng. Agric. Ambient. 2003; 7:177-81.
15. Giacomin PE. Distribuição de sementes de milho (Zea mays) com diferentes semeadoras e velocidades de plantio. Trabalho de Conclusão de Curso. 35p. Bacharelado em Agronomia. Pato Branco: Universidade Tecnológica Federal do Paraná; 2021.
16. Reis EF, et al. Características operacionais de uma semeadora-adubadora de plantio direto na cultura da soja (Glycine max (L.) Merril). Rev Ciênc Téc Agropecu. 2007;16(3):70-5.
17. Corrêa Júnior D, et al. Influência da velocidade de trator e semeadora de precisão na implantação e produtividade da cultura do milho verde. Eng Agric. 2014; 22(1):25-32.
18. Canova R, et al. Distribuição de sementes por uma semeadora-adubadora em função de alterações no mecanismo dosador e de diferentes velocidades de deslocamento. Eng Agric. 2007; 15(3):299-306.

Capítulo 14

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-14

PERDAS QUANTITATIVAS NA COLHEITA MECANIZADA DO TOMATE INDUSTRIAL

Samuel Carlos Vaz dos Santos; **Geovana Almeida Carmo**; **Túlio de Almeida Machado**; **Elianay Nunes Dias**; **Laura Ferreira Medeiros**; **Anderson Gomide Costa**; **Marcelo Divino de Moraes***

**Autor correspondente (Corresponding author)*
Email: samuel.carlos@estudante.ifgoiano.edu.br

Resumo: A colheita mecanizada do tomate para processamento industrial é amplamente utilizada no Brasil, especialmente em Goiás, principal estado produtor. O objetivo deste estudo foi quantificar as perdas nas ramas, no solo e as perdas totais em diferentes épocas de colheita, utilizando duas colhedoras da marca Guaresi. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, avaliando quatro épocas de colheita na safra de 2024. As perdas foram determinadas por amostragens em área de 2 m² e classificadas em perdas nas ramas, no solo e totais. Os resultados mostraram que não houve diferença significativa entre as colhedoras quanto às perdas ($p>0,05$). Entretanto, as épocas de colheita influenciaram significativamente as variáveis analisadas ($p<0,01$). As maiores perdas ocorreram na época 1, com 4,17 kg de frutos perdidos no solo, 2,01 kg nas ramas e 6,19 kg no total por 2 m². Já a menor perda foi registrada na época 4, com 2,11 kg no solo, 0,25 kg nas ramas e 2,37 kg no total. A interação entre colhedoras e épocas foi significativa apenas para perdas nas ramas, demonstrando influência do estádio de maturação dos frutos e das condições operacionais. Conclui-se que a manutenção e o estado de conservação das colhedoras, associados às condições de campo e à época de colheita, são determinantes para a redução das perdas quantitativas na mecanização do tomate industrial.

Palavras–chave: colheita mecanizada; perdas agrícolas; ramas; tomate industrial

INTRODUÇÃO

O tomateiro (*Solanum lycoperscum* L.) possui origem em uma região de grande altitude que se estende da região norte do Chile até o território do Equador, onde está localizada a cordilheira dos Andes. Segundo Ni Li et al. (1) O fruto desta cultura foi cultivado inicialmente pelos povos nativos e foi disseminado posteriormente pelos europeus. Quinet et al. (2) afirma que o fruto de tomate faz parte da culinária mundial e como fonte de nutrientes fornece vitamina A e C além de ser rico em licopeno, um importante antioxidante.

Segundo Gao et al. (3) o tomate está entre os três vegetais mais comercializados mundialmente, os outros dois vegetais são as cebolas e as batatas. No ano de 2020 a tomaticultura ocupou cerca de 5,055 milhões de hectares no mundo, alcançando uma produção de 182,05 milhões de toneladas do fruto. Os autores ainda afirmam que a China é

o maior produtor de tomate e no ano de 2021 foi responsável por aproximadamente 33% da produção mundial, o que corresponde a 66,09 milhões de toneladas do fruto.

Furquim e Nascimento (4) Os cultivos do tomateiro são voltados para atender a agroindústria de alimentos processados e há cultivos para o consumo *in natura*. Os que são destinados ao consumo *in natura* são conduzidos com tutoramento e são colhidos manualmente, já os frutos destinados à indústria são cultivados de forma rasteira, facilitando a incidência de doenças e requerendo consequentemente um maior controle fitossanitário, sua colheita é mecanizada.

De acordo com a CONAB (5), no Brasil o tomateiro é cultivado em todas as regiões. Os estados com maiores produtividades são Goiás, São Paulo e Minas Gerais, fato que se deve aos tipos de solos e climas que favorece o cultivo dessa olerícola. Nesses estados também se concentram as grandes indústrias de alimentos processados a base de tomate.

Os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (6) revelam que a produção brasileira de tomate (de mesa e industrial) chegou aos 3.809. 986 toneladas no ano de 2022, sendo o estado de Goiás o maior produtor, contribuindo com 993.452 toneladas. O IBGE (7) No ano de 2024 a produtividade média do tomateiro no estado de Goiás foi de 93, 423 toneladas por hectare, se tornando o estado com a maior produtividade média do Brasil.

A colheita do tomateiro, quando voltada para o processamento industrial, é realizada de maneira mecanizada, em que segundo Soares et al. (8), a colhedora corta as hastes do tomateiro próximo ao colo, a parte aérea da planta adentra a máquina e os frutos são separados do pedúnculo. Os estudos dedicados a avaliação das perdas na plataforma e mecanismo internos da colhedora são raros. Soares e seus colaboradores, em estudo de avaliação dos desperdícios de tomate durante a colheita, notaram que os desperdícios influenciaram na produção total da cultura, podendo impactá-la em 3,21% do rendimento médio.

A mecanização da colheita do tomate industrial reduziu a necessidade de mão-de-obra no campo. De acordo com Teixeira (9) , os principais fabricantes de colhedoras utilizados no Brasil são a Sunday e a Guaresi (Figura 1). Dentro delas é necessária a presença de três a cinco trabalhadores para realizar a seleção de frutos na trilha, cada colhedora é capaz de colher de 18 a 20 caminhões (17 toneladas em cada veículo) por dia.

Figura 01 - Colheita mecanizada do tomate para processamento industrial



Segundo Lorini et al. (10) para a soja são toleráveis as perdas abaixo de uma saca (60kg) por hectare, entre as principais causas das perdas está a má regulagem e operação inadequada da colhedora. Essas perdas podem ocorrer na plataforma de corte, na trilha, separação e limpeza. A realização de avaliação e controle de perdas na colheita não é um procedimento usual, pois a importância econômica desse desperdício é negligenciada. Como na tomaticultura não há estudos sobre esta tolerância, parâmetros de outros modos de colheita são referência para a implantação de procedimentos aceitáveis de perdas.

Com esse estudo objetivou-se conhecer as perdas quantitativas ocasionadas pela colheita mecanizada do tomate e fornecer informações para o estabelecimento de limites de tolerância para essas perdas.

.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na zona rural do município de Morrinhos (GO), em áreas de cultivo irrigadas por pivô central, utilizando cultivares de tomate destinadas ao processamento industrial.

Para a avaliação das perdas, foram empregadas duas colhedoras da marca Guaresi, modelo G-89/93 MS 40", autopropelidas, equipadas com motor FIAT-Iveco de 128,7 kW, plataforma de recolhimento flutuante e sistema de seleção eletrônica de frutos verdes e torrões.

A velocidade média de operação foi determinada pelo tempo gasto para percorrer um percurso de 50 m, resultando em 3,84 km h^{-1}, valor considerado como padrão para as análises. Também foi registrado o número total de horas trabalhadas por cada colhedora, assegurando a comparabilidade entre os tratamentos.

A colheita iniciou-se aos 120 dias após o transplantio, no mês de agosto de 2024, estendendo-se até outubro de 2024. As coletas de amostras foram realizadas no período da

manhã, em diferentes épocas de colheita (Tabela 1), abrangendo a variabilidade de estádios de maturação e condições operacionais.

Tabela 1 - Épocas de colheita realizadas a campo, cultivares amostradas, horas trabalhadas das colhedoras avaliadas

Épocas	Transplantio	Colheita	Dias	Cultivar	Produtividade
Coleta 1	11/03 a 30/03	08/08/2024	141	HMX7885	77,80 t ha^{-1}
Coleta 2	30/04 a 02/05	04/09/2024	127	CVR2909	85,00 t ha^{-1}
Coleta 3	05/05 a 09/05	25/09/2024	142	HMX7885	94,82 t ha^{-1}
Coleta 4	03/06 a 07/06	16/10/2024	134	HMX7885	132,20 t ha^{-1}
	Colhedora 1 (horas trabalhadas)			Colhedora 2 (horas trabalhadas)	
Coleta 1	4288			4282	
Coleta 2	4457			4448	
Coleta 3	4539			4529	
Coleta 4	4645			4641	

Para a determinação das perdas quantitativas foi utilizado um gabarito com área de 2,00 m^2 (2,00 m x 1,00 m) (Figura 2), no qual, após a passada da colhedora, foram coletados os frutos em pontos escolhidos ao acaso dentro da parcela. Após serem recolhidos, os frutos foram ensacados, identificados e quando chegaram ao laboratório, foram pesados em uma balança digital (modelo AD 2000) com precisão de 0,01 g. As perdas quantitativas foram divididas em perdas nas ramas e perdas de frutos no solo.

Figura 2 - Gabarito para amostragem das perdas quantitativas



As perdas nas ramas foram contabilizadas pelos frutos que não se destacaram das ramas após a passagem pelo sistema de trilha. As perdas de frutos no solo consistiram no somatório de frutos não recolhidos pela colhedora e pelos frutos destacados das ramas e caídos da colhedora pelos vãos das esteiras. As perdas naturais não foram contabilizadas nesse processo, já que, mesmo com frutos destacados das ramas, houve, ainda, a

possibilidade de recolhimento deles, por parte da colhedora. As perdas totais foram contabilizadas pelo somatório das perdas nas ramas e no solo.

Após testar a normalidade dos dados, os resultados foram analisados por análise de variância (ANOVA) utilizando o teste F com nível de significância de 5%. Os valores de p foram apresentados para indicar se houve ou não significância entre os níveis das variáveis e sua interação. As médias das variáveis nos diferentes tratamentos foram analisadas pelo teste de Tukey com nível de significância de 5%. Para todas as análises estatísticas o software utilizado foi o Assistat versão 7.7.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os *p* valores da análise de variância (ANOVA) pelo teste F a 5% de significância para os seguintes fatores: perdas no solo, perdas na rama e perdas totais.

Tabela 2 - Análise de variância, ANOVA Teste F com os *p* valores para os fatores perdas no solo, perdas na rama e perdas totais

FV	GL	Perdas no solo	Perdas na rama	Perdas totais
		pvalor	pvalor	pvalor
Colhedoras	1	0,0855^{ns}	0,4290^{ns}	0,1846^{ns}
Épocas de colheita	3	0,0002**	<,0001**	<,0001**
Colhedoras x Épocas	3	0,0687^{ns}	<,0001**	0,1276^{ns}

**: significativo a 1% ; *: significativo a 5% , n.s.: não significativo a 5% de significância.

Os valores para as variáveis analisadas entre as colhedoras analisadas não diferem estatisticamente entre si, conclui-se que não há diferença entre a performance dos dois equipamentos em relação a perdas quantitativas durante o processo de colheita. As duas colhedoras são de mesmo modelo e o número de horas trabalhadas é bem próximo (Tabela 1) fato que explicaria a ausência de diferença estatística para perdas quantitativas.

De acordo com Voltarelli et al. (11) a barra de corte pode apresentar dificuldade na realização do corte das plantas devido ao grande volume de plantas ou desgaste das facas, aumentando a vibração no momento do corte e ocasionando desprendimento de frutos maduros das ramas.

A Tabela 3 apresenta o comportamento das perdas no solo, nas ramas e perdas totais ao longo das épocas de colheita analisadas nesse estudo.

Tabela 3 - Médias das perdas no solo, perdas nas ramas e perdas totais nas diferentes épocas de colheita

Épocas	Perdas no solo	Perdas nas ramas	Perdas totais
1	4,1745 a	2,0187 a	6,1933 a
2	3,7918 a	0,5696 c	4,3615 b
3	3,0121 ab	1,3117 b	4,3239 b
4	2,1193 b	0,2512 c	2,3706 c

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Todas as perdas quantitativas avaliadas foram maiores na época 1, momento em que foi encontrado a menor produtividade entre as épocas avaliadas (Tabela 1), na primeira época as fases iniciais do cultivo coincidiram com o período chuvoso no início do ciclo

produtivo, o que pode ter reduzido a produtividade da área devido a ocorrência de doenças. A colheita desta mesma época ocorreu dentro do período de estiagem e a colheita nas outras épocas ocorreu no início do período chuvoso, a falta de umidade no solo na primeira época pode ter prejudicado o desempenho da plataforma de corte das colhedoras.

Reis et al. (12) relataram que quando a maioria dos frutos atinge a maturidade ideal para a indústria a irrigação é interrompida. Dessa forma a colheita as camadas superficiais sofrem evaporação e percolação da água, a umidade do solo no momento da colheita depende então da precipitação natural.

Analisando as perdas nas ramas, excetuando a época 1 (menor produtividade), observa-se que maiores perdas nas ramas foram encontradas nas lavouras colhidas mais tardiamente (com maior número de dias após o transplantio). Reis et al. (12) contam ainda que o fruto do tomateiro fortalece a estrutura de ligação fruto/pedúnculo ao longo de seu desenvolvimento, a fim de que a ligação suporte o peso do fruto que aumenta durante a maturação.

A Tabela 4 nos apresenta o comportamento da interação entre as colhedoras e épocas de colheita para a variável perdas nas ramas.

Tabela 4 - Valores médios de perdas nas ramas para a interação entre as colhedoras mecânicas e as épocas de colheita avaliadas

	Perdas nas ramas			
	Épocas de colheita			
	1	2	3	4
Colhedora 1	2,8814 aA	0,3772 aB	0,8039 bB	0,2604 aB
Colhedora 2	1,1561 bAB	0,7621 aBC	1,8196 aA	0,2422 aC

Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si na coluna e médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem na linha, estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Nas épocas 1 e 3 as colhedoras diferem entre si, esse fato pode ser atribuído a fatores relacionados a operação e manutenção das máquinas naqueles momentos. As máquinas podem ter passado por paradas durante a colheita para troca de peças e reparos caso tenha ocorrido dificuldades em continuar a operação. Cavichioli et al. (13) atribuiu as elevadas perdas no processo de arranquio e recolhimento das ramas de amendoim à idade das colhedoras, pois eram máquinas com mais de 10 anos de uso, o segundo fator causador das perdas foi a umidade das vagens na ocasião da colheita.

A maior perda encontrada para colhedora 1 ocorreu na primeira época, momento em que houve a menor produtividade dentro das épocas avaliadas, para a colhedora 2 a época em que ocorreu maiores perdas nas ramas foi a 3 seguida pela 1. As épocas 1 e 3 foram colhidas mais tardiamente (maior número de dias após o transplantio). Santinato et al. (14) em um ensaio sobre perdas quantitativas na colheita do café descobriu que as perdas nos ramos variavam conforme o grau de maturidade do fruto, pois os frutos mais “verdes” demandavam maior energia da colhedora para serem desprendidos dos ramos.

Portanto, estudos realizados nessa direção, em conjunto com fatores como tipos de colhedoras, épocas distintas, variações climáticas, cultivares e formas de preparo do solo, são de extrema importância. Esses estudos fornecem subsídios relevantes para a indústria de atomatados, contribuindo para a otimização dos processos e a redução de perdas quantitativas e qualitativas na cadeia do tomate destinado ao processamento industrial.

Os resultados evidenciam que a variação nas perdas quantitativas ao longo das épocas de colheita possui reflexos diretos sobre a eficiência operacional e a rentabilidade da tomaticultura para processamento industrial. Do ponto de vista econômico, perdas mais elevadas representam redução da quantidade de matéria-prima entregue à indústria, comprometendo o retorno financeiro do produtor e afetando a cadeia de suprimento. Por outro lado, épocas de colheita com menores perdas contribuem para maior aproveitamento da produção, reduzindo custos por tonelada colhida e aumentando a margem de lucro.

Sob a perspectiva operacional, a manutenção preventiva das colhedoras e o monitoramento das condições de campo são fatores determinantes para a redução das perdas. Ajustes adequados e regulagens oportunas permitem não apenas maior uniformidade na colheita, mas também prolongam a vida útil dos equipamentos e reduzem o consumo de combustível e o tempo gasto na operação. Assim, a eficiência operacional está intimamente relacionada à adoção de práticas de manejo integradas, que conciliam tecnologia, manutenção e planejamento do momento ideal de colheita.

Dessa forma, o estudo reforça que a mecanização da colheita do tomate industrial não deve ser vista apenas sob o aspecto técnico, mas como uma estratégia que impacta diretamente a competitividade econômica da produção e a sustentabilidade da atividade agrícola.

CONCLUSÕES

As perdas quantitativas não foram influenciadas de forma significativa pelo fator colhedora quando avaliado isoladamente. No entanto, a época de colheita apresentou efeito determinante sobre os resultados, assim como a interação entre época e colhedora, que alterou significativamente o padrão das perdas. Esses achados indicam que, ao longo do ciclo de colheita, podem ocorrer variações expressivas nas perdas, diretamente associadas ao desgaste dos equipamentos, às condições da lavoura e ao estádio de maturação dos frutos. Portanto, destaca-se a necessidade de ajustes periódicos nas colhedoras e da adequação das práticas de manejo às condições específicas de cada período, como estratégia fundamental para a redução das perdas e para a eficiência da colheita mecanizada de tomate para processamento.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos, pela infraestrutura e apoio que possibilitaram o desenvolvimento deste trabalho. À empresa DEZ Alimentos Ltda., pela concessão do material e da área experimental. À equipe do Grupo de Estudos e Pesquisa em Mecanização Agrícola (GEPEMA), pelo suporte técnico e colaboração durante a execução das atividades.

REFERÊNCIAS

1. Li N, et al. Tomato and lycopene and multiple health outcomes: general review. Food Chem. 2021;343:128396.
2. Quinet M, et al. Tomato fruit development and metabolism. Front Plant Sci. 2019;10:1554.
3. Gao Q, et al. Discrete Element Model Building and Optimization of Tomato Stalks at Harvest. Agriculture. 2024;14:531.

4. Furquim MGD, Nascimento AR. Aspectos relevantes para o entendimento da cadeia do tomate de mesa no Brasil. In: Medina GS, Cruz JE, organizadores. Estudos em agronegócio – Participação brasileira nas cadeias produtivas. Goiânia: Kelps; 2021. v.5.
5. Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). Compêndio de estudos – Tomate: análise dos indicadores da produção e comercialização no mercado mundial, brasileiro e catarinense. Brasília: CONAB; 2019. v.21.
6. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Explica – produção agropecuária: tomate, Goiás [Internet]. Brasília: IBGE; 2024 [acesso em 2024 jun 2]. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/tomate/go
7. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Tabela 7832 [Internet]. Brasília: IBGE; 2025 [acesso em 2025 jun 16]. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/tabela/7832#resultado
8. Soares CM, et al. Diagnosis of losses in the mechanized harvest of two cultivars of industrial tomato. Rev Bras Ciênc Agrár. 2019;14(1):e5608.
9. Teixeira FMV. Colheita do tomate [Internet]. Brasília: Embrapa Hortaliças; 2022 [acesso em 2025 jun 2]. Disponível em: https://www.embrapa.br/agenciadeinformacaotecnologica/cultivos/tomate/producao/colheita
10. Lorini I, et al. Colheita e pós-colheita de grãos. In: Seixas CDS, Neumaier N, Balbinot Junior AA, Krzyzanowski FC, Leite RMVBC, organizadores. Tecnologias de produção de soja. Londrina: Embrapa; 2020.
11. Voltarelli MA, et al. Monitoramento das perdas no processo de colheita mecanizada de tomate industrial. Eng Agric. 2015;23(4).315-325.
12. Reis EF, et al. Força requerida para o desprendimento de frutos de tomate industrial em diferentes estádios de maturação. Eng Agríc. 2015;35(2):293-301.
13. Cavichioli FA, et al. Perdas quantitativas de amendoim nos períodos do dia em sistemas mecanizados de colheita. Científica. 2014;42(3):211-215.
14. Santinato F, et al. Análise quali-quantitativa da operação de colheita mecanizada de café em duas safras. Coffee Sci. 2014;9(4):495-505.

Capítulo 15

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-15

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E PERFIL BIOATIVO DO FRUTO DE *PILOSOCEREUS CHRYSOSTELE* (FACHEIRO)

José Nildo Vieira Deodato*; Larissa Da Silva Santos Pinheiro; Alison dos Santos Oliveira; Eryck Allan Alves Fernandes; Gilcean Silva Alves; Osvaldo Soares Da Silva; Alfredina dos Santos Araújo

** José Nildo Vieira Deodato – Email: Jnvdeodato@hotmail.com*

Resumo: O bioma Caatinga abriga diversas espécies de cactáceas com potencial alimentar e funcional, entre as quais se destaca o facheiro (*Pilosocereus chrysostele*), ainda pouco estudado. A caracterização físico-química e o perfil bioativo de seus frutos são fundamentais para avaliar sua qualidade nutricional e possíveis aplicações tecnológicas. O objetivo deste estudo foi caracterizar a composição físico-química e o perfil bioativo dos frutos de facheiro. Para isso, frutos maduros foram coletados, sanitizados e submetidos a análises físico-químicas (umidade, sólidos solúveis totais – SST, pH, acidez titulável, açúcares, proteínas, lipídios e cinzas) e de compostos bioativos (fenólicos totais, flavonoides, carotenoides e vitamina C). Os resultados mostraram elevado teor de umidade (87,38%), SST de 6,7 °Brix, pH de 4,70 e acidez titulável de 0,24%. Foram encontrados ainda 5,41% de proteínas, 2,52% de lipídios, 0,56% de cinzas, 5,76% de açúcares totais, 5,10% de açúcares redutores e 0,63% de açúcares não redutores. Quanto aos compostos bioativos, o fruto apresentou 303,44 mg/100 g de fenólicos totais, 18,79 mg/100 g de flavonoides, 8,16 mg/100 g de antocianinas, 524,64 µg/100 g de carotenoides, 0,39 µg/100 g de clorofila total e 33,44 mg/100 g de vitamina C. Esses resultados evidenciam o valor do fruto como fonte de nutrientes e compostos fitoquímicos, destacando seu potencial para uso alimentar e tecnológico. Conclui-se que o facheiro apresenta atributos promissores e pode contribuir para a valorização de recursos nativos da Caatinga.

Palavras–chave: Compostos antioxidantes; caatinga; cactácea; frutos nativos; *Pilosocereus chrysostele*

INTRODUÇÃO

A família Cactácea abriga diversas espécies adaptadas a ambientes semiáridos, como os do bioma Caatinga, que desenvolveram mecanismos fisiológicos e metabólicos para sobreviver sob estresse hídrico, alta radiação solar e solos pobres (1). Essas adaptações frequentemente resultam em frutos com características físico-químicas particulares e acúmulo de compostos bioativos que podem apresentar alto valor nutricional e funcional para consumo humano e aplicações tecnológicas.

Estudos sobre frutos de cactáceas têm relatado valores interessantes de sólidos solúveis, acidez, pH, umidade, fibras e minerais, bem como de compostos como fenóis totais, flavonoides e antioxidantes (2). Além disso, revisões recentes apontam que membros dos gêneros da subfamília cactoideae, incluindo *pilosocereus*, possuem diversos compostos

bioativos relevantes, como polifenóis, flavonoides, alguns alcaloides, carotenoides, associados a ação antioxidante, anti-inflamatória e outras propriedades benéficas (3). Outros estudos recentes sobre cactáceas destacam o potencial desses frutos tanto para consumo *in natura* quanto para uso em produtos alimentícios funcionais e ingredientes tecnológicos (4).

No entanto, apesar desses estudos, há lacunas no entendimento detalhado das propriedades físico-químicas completas do fruto de *Pilosocereus chrysostele*, especialmente quanto a composição centesimal, perfil de açúcares, lipídios, conteúdo de compostos bioativos específicos, sua variação com maturação ou condições de ambiente. Essas informações são essenciais para avaliar sua viabilidade como alimento, insumo funcional ou ingrediente com valor agregado, pois influenciam sabor, textura, estabilidade e benefícios para saúde.

Portanto, para preencher lacunas sobre a qualidade nutricional e o potencial funcional do fruto do facheiro, o presente estudo objetivou avaliar a caracterização físico-química incluindo composição centesimal e o perfil de compostos bioativos do fruto de *Pilosocereus chrysostele* (facheiro), visando gerar dados científicos que sirvam de base para valorização nutricional e usos funcionais desse fruto.

MATERIAL E MÉTODOS

Os frutos foram coletados em um acervo particular na fazenda Batentes pertencente ao município de Nova Palmeiras (PB), os mesmos foram acondicionados em caixas isotérmica e conduzidas para a pesquisa no Laboratório do CVT- campus CCTA – da UFCG. Os frutos foram sanitizados em solução de hipoclorito de sódio (NaClO) a 200 mg/L por 15 minutos, em seguida, foram lavados em água corrente, posteriormente os frutos foram cortados ao meio e removido a polpa da casca com o auxílio de utensilio apropriado (faca inox), após isso foi iniciada a pesquisa, onde foi feita a caracterização físico-química e dos compostos bioativos do fruto.

COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

Umidade

O teor de água foi obtido pela diferença de massa da amostra antes e após secagem em estufa a 105ºC até peso constante, de acordo com técnicas descritas pelo IAL (5). Para essa análise, aproximadamente 5,0 g de polpa foram pesados em cadinho previamente tarado e seco. As amostras foram analisadas em triplicata.

Cinzas

As cinzas de um material são um ponto de partida para análise mineral específica. O resíduo mineral fixo foi obtido pelo método gravimétrico preconizado pelo IAL (5). Em triplicata, foram pesadas 5g das amostras em cadinhos previamente secos em mufla a 550ºC.

Proteínas

A determinação de proteína foi feita pelo método de Kjeldahl de acordo com IAL (5). Este método se baseia nas três etapas de determinação de nitrogênio: digestão, destilação e titulação. Neste método a matéria orgânica é decomposta e o nitrogênio existente é transformado em amônia e, finalmente, quantificado. O conteúdo de nitrogênio das

diferentes proteínas é de aproximadamente 16%, por isso usa-se um fator empírico de 6,25 para transformar a massa de nitrogênio encontrada em massa de proteína.

Lipídeos

O conteúdo de lipídios foi determinado por extração direta em Soxhlet, utilizando hexano como solvente, procedendo-se a extração de acordo com o IAL (5).

Sólidos solúveis totais (SST)

Foi utilizado para esta análise um refratômetro digital (ATAGO Hand refractometer, precisão, 0,2%) com escala de 0º Brix a 32º Brix, devidamente calibrado com água destilada. Algumas gotas da amostra foram colocadas sobre o prisma do aparelho e obteve a leitura direta dos graus Brix indicado pelo aparelho.

Potencial hidrogeniônico (pH)

A determinação do pH foi feita pelo método potenciométrico, utilizando-se 5 g de polpa do fruto do facheiro diluída em 45 mL de água. A medição foi realizada em um pHmetro de bancada (Quimis, precisão 0,01) devidamente calibrado com soluções-tampão de pH 4,0 e 7,0 (5).

Açúcares redutores totais (ART)

Esta análise foi feita seguindo o método descrito pelo IAL (5). Este método baseia-se na redução do cobre em solução cúprica (soluções de Fehling A e B) pelos açúcares. Para determinar os açúcares redutores, uma solução contendo 10 ml de cada solução de Fehling em 40 ml de água será titulada com a amostra diluída até atingir o ponto de viragem, que é o desaparecimento da cor azul e a formação de precipitado vermelho (Cu2O) no fundo do recipiente. O resultado foi expresso em porcentagem de glicídios redutores em glicose. Para determinar os açúcares não-redutores, a amostra passará por uma hidrólise ácida em banho-maria a 100ºC ± 2 por 30 minutos, sendo posteriormente neutralizada com solução de hidróxido de sódio a 30% m/v. A titulação será feita da mesma forma que para a determinação dos açúcares redutores, e o resultado expresso em porcentagem de glicídios não-redutores em sacarose.

Açúcares Totais

O método utilizado como referência foi o método de Lane-Eynon. De acordo com a metodologia descrita pelo IAL (5). Para determinar os açúcares totais, 5 gramas da amostra foi pesada e aferida em um balão volumétrico de 250mL, filtrada e adicionada 5mL de ácido clorídrico. Esta solução foi colocada em banho maria a 80°C por 20 minutos, seguido da neutralização com NaoH a 40%. Posteriormente foi adicionada uma solução contendo 10 ml de cada solução de Fehling A e B em 40 ml de água destilada. Esta amostra foi titulada até atingir o ponto de viragem, que é o desaparecimento da cor azul e a formação de precipitado vermelho (Cu2O) no fundo do recipiente.

Acidez total titulável

Foi titulado 10g de amostra com NaOH 0,1N padronizado, até pH 8,1. Procedimento descrito em Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos (6).

CARACTERIZAÇÃO DOS COMPOSTOS BIOATIVOS

Compostos Fenólicos Totais

O teor de compostos fenólicos totais foi avaliado segundo a metodologia descrita por Swain e Hills (7), em que, inicialmente, foi pesado 0,5 g das amostras, que deverão ser maceradas e homogeneizadas em 25 mL de água destilada. A mistura resultante foi centrifugada por 15 min e colocada em repouso por 30 min para ser filtrada. Das soluções produzidas retirou uma alíquota e colocou em um tubo de ensaio juntamente com água e o reagente de Folin-Ciocateou, ficando em repouso durante cinco minutos. Em seguida, acrescentou-se carbonato de sódio (20%) e agitou-se em Vórtex, levando em banho Maria a 40ºC por 30 min. Após esse tratamento a absorbância da mistura resfriada foi lida em espectrofotômetro a 765 nm e o teor de fenólicos totais calculada através da equação da reta da curva padrão em ácido gálico (0,1g/L) e expresso em (mg GAE /100g).

Flavonoides

Os Flavonoides presentes nas amostras foram determinados segundo método desenvolvido por Francis (8), em que irá medir aproximadamente 0,5 g da amostra, e em seguida, adiciona cerca de 10 mL de solução extratora etanol 95% HCl 1,5 N na proporção de 85:15. As amostras foram homogeneizadas e maceradas por 2 min, sendo, em seguida transferidas para um tubo envolto em papel alumínio, ficando em repouso por 24 horas. Transcorrido o tempo, o material foi filtrado e acrescentou-se a solução etanol/HCl para atingir o volume de 10 mL. A absorbância da solução final produzida foi obtida em espectrofotômetro a 374 nm e os resultados expressos em mg/100g da amostra.

Antocianinas

A quantidade de Antocianinas foi verificada de acordo com metodologia de Francis (8), em que pesa aproximadamente 0,5 g da amostra e, em seguida, adiciona-se cerca de 10 mL de solução extratora etanol 95% HCl 1,5 N na proporção de 85:15. As amostras foram homogeneizadas e maceradas por 2 min, sendo, em seguida, transferidas para um tubo envolto em papel alumínio, ficando em repouso por 24 horas. Transcorrido o tempo, o material foi filtrado e acrescenta-se solução etanol/HCl para atingir o volume de 10 mL. A absorbância da solução final produzida foi obtida em espectrofotômetro a 535 nm e os resultados expressos em mg/100g da amostra.

Clorofila

A clorofila foi determinada através do método desenvolvido por Higby (9), com modificações. Para a extração foi pesado 1g da amostra em 10 mL de hexano, sendo macerada e homogeneizada por cerca de 2 min. Em seguida, transfere-se o conteúdo para um tubo com envolto de papel alumínio e deixa-se descansar por 24 horas. Logo após, o material será filtrado e acrescentou-se hexano para atingir o volume de 10 mL. A absorbância da solução será obtida em espectrofotômetro a 625nm e os resultados expressos em mg/100g da amostra.

Carotenoides

Os carotenoides foram verificados através do método desenvolvido por Higby (9), com modificações. Para a extração, colocou-se aproximadamente 1g da amostra em 10 mL de hexano, sendo macerada e homogeneizada por cerca de 2 min. Em seguida, transferiu-se o conteúdo para um tubo com envolto de papel alumínio e deixe-se descansar por 24 horas. Logo após o material será filtrado e acrescentado hexano para atingir o volume de 10 mL. A absorbância da solução será obtida em espectrofotômetro a 450nm e os resultados expressos em mg/100g da amostra.

Ácido Ascórbico (Vitamina C)

A vitamina C ou ácido ascórbico, foi determinada pelo método de Tillmans (5). Este método é usado para amostras com baixo teor de vitamina C, e baseia-se na redução do corante sal sódico de 2,6- diclorofenol indofenol por uma solução ácida de vitamina C (solução da amostra). Os resultados são expressos em mg de vitamina C/100g.

ANÁLISES ESTATISTICAS

Para os resultados das análises físico-químicas e dos compostos bioativos do fruto de *pilosocereus chrysostele* (facheiro) foi utilizado o programa computacional ASSISTAT 7.7, onde os tratamentos foram comparados através da Análise de Variância (ANOVA) seguido da aplicação do teste de Tukey ($p<0,05$) a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 encontram-se os valores médios e desvios padrão da caracterização físico-química da polpa dos frutos do facheiro.

Tabela 1 - Caracterização físico-química do fruto do facheiro (*Pilosocereus chrysostele*)

Análises	**Fruto**
pH	4,70±0,15*
SST (°Brix)	6,7±0,70*
Acidez (%)	0,24±0,02
Cinzas (%)	0,56±0,07
Umidade (%)	87,38±0,17
Sólidos Totais (%)	12,62±0,17
Lipídeos (%)	2,52±0,23*
Proteínas (%)	5,41±0,59
Açúcares Totais (%)	5,76±0,13
Açúcares Redutores (%)	5,10±0,19
Açúcares Não Redutores (%)	0,63±0,21

*Média ± desvio padrão; *SST: Sólido solúveis totais.

Conforme a tabela 1, o valor de pH foi de 4,70, próximo ao obtido por Souza (10), em que a polpa do fruto do facheiro da espécie *(Pilosocereus pachycladus* Ritter*)* em estádio

de maturação final ou totalmente roxa foi 4,76. Lima (11), encontrou valores de 4,57 e 4,44 para a polpa e a casca do fruto do mandacaru, resultados inferiores ao do presente estudo.

Neto *et al.* (12), constataram pH de 3,73, em frutos de mandacaru (*Cereus Jamacaru P. Dc*.), valor menor que o encontrado na polpa do fruto do facheiro, indicando que o fruto do mandacaru são alimentos muito ácidos, ocasionando a redução da capacidade de crescimento de microrganismos. Nascimento (13), trabalhando com espécies do fruto do facheiro, relata que a polpa do fruto é classificada como alimentos de baixa acidez.

O resultado médio de sólidos solúveis totais encontrados na (Tabela 1) foi de 6,7, corroborando com Silva (14), que analisou a farinha do xiquexique (*Pilosocereus gounellei)* obtendo um teor de sólidos solúveis de 7,0 °Brix. Silva *et al.* (16) conferiram valores de 8,0 e 8,40 para a polpa dos frutos verdes e maduros do mandacaru, respectivamente. Essas alterações podem ser justificadas por Silva e Alves (17), afirmando que essas diferenças podem ser atribuídas as variações climáticas do ano em que foram coletados.

Observa-se que os valores médios de acidez total obtidos da caracterização físico-química da polpa do fruto do facheiro, foi de 0,24%, resultado semelhante ao encontrado por Sousa (18), na qual encontrou valor de 0,26% na polpa do facheiro. Rodrigues (19) utilizando frutos do facheiro na qualidade, atividade antioxidante e atividade da peroxidase durante a maturação de frutos de facheiro, no estádio de maturação totalmente roxa observou acidez da polpa com 0,21%, valor inferior ao encontrado neste trabalho, contudo, o autor explica que ao passo que se avança a maturação do fruto há um aumento de acidez titulável.

De acordo com Fagundes e Yamanishi (20), algumas das características físico-químicas dos frutos, como pH, sólidos solúveis totais, acidez total titulável são influenciadas diretamente do meio, variando de acordo com local do cultivo, clima, condições do solo, variedade, assim como técnicas empregadas na colheita e pós-colheita de frutos. Com isso pode-se justificar as variações ocorridas nos respectivos resultados da tabela 1.

O resultado médio de cinza, que expressa a quantidade de minerais totais, foi encontrado valor médio de 0,56%, corroborando com Silva *et al.* (16) que obtiveram valores de 0,49 e 0,46% da polpa dos frutos verdes e maduros do mandacaru. Os valores de cinzas encontrados por Santos (21) são superiores (1,3%) ao referente trabalho, visto que ele está relacionado a casca do fruto do mandacaru *in natura*.

Sousa (22), encontrou quantidades significativas de elevadas concentrações de resíduo mineral na polpa do mandacaru 0,48%, xiquexique 0,66%, facheiro 0,68% e quipá 0,85%, sendo possível identificar que as cinzas da polpa do mandacaru, foi menor quando comparada, respectivamente as outras cactáceas que apresentaram valores superiores ao respectivo estudo. Os resíduos minerais nos alimentos é um parâmetro de qualidade, na qual identificará alguns dos principais minerais como cálcio, ferro, fósforo, sódio e outros componentes minerais (23). Além de fornecer uma indicação da importância dos elementos minerais no alimento.

Percebe-se na Tabela 1, que a polpa do fruto do facheiro apresentou um alto teor de umidade de 87,38 %. Nascimento (13), reporta que o elevado teor de água ocasiona excessivas perdas na estabilidade química, nas alterações fisiológicas, na deterioração microbiológica e, na qualidade geral dos alimentos, o mesmo, apresentou teores de umidade médios de 95,89% e 92,45% para a polpa e a casca do facheiro.

Neto *et al* (12) e Bahia *et al*. (24), avaliaram na polpa do fruto do mandacaru um teor elevado de água de 85,79% e 83,29% respectivamente, afirmando que o fruto pode ser considerado úmido pela porcentagem encontrada. Oliveira *et al*. (25) argumentam que a elevada quantidade de água livre não favorece a sua conservação, carecendo de

armazenamento sob refrigeração, principalmente se for utilizado para o consumo *in natura* e elaboração de novos produtos.

O teor de sólidos totais para a polpa do fruto do facheiro foi 12,62%. Na literatura, Souza (2014), encontrou resultado superior para polpa do facheiro de 19,97%, entretanto para a polpa do Figo da índia (Opuntia fícus indica), que também é uma cactácea, o valor foi de 11,20%, semelhante ao presente trabalho. Jeronimo (27), trabalhou com a polpa dos frutos da pitaia, relatando teor de sólidos totais de 13,97%, resultado superior ao encontrado na polpa do fruto do facheiro.

A Tabela 1 apresenta a fração lipídica para a polpa dos frutos do facheiro de 2,52%. Comparando com o resultado de Sousa (22), que utilizou o facheiro, encontrando um teor de 3,16%, ele afirma, que o número elevado de sementes do fruto pode justificar o resultado obtido. Deodato (15), obteve resultado superior, com teor de lipídeos em torno de 6% na farinha da polpa de facheiro em uma temperatura a 60°C, porém o fruto foi submetido a elevada temperatura de secagem. Podemos justificar o valor elevado de lipídeos obtidos na Tabela 1, com Nascimento (13), que avaliou a polpa do fruto do facheiro liofilizado a diferentes temperaturas de congelamento, havendo aumento significativo no teor de lipídeos, devido a diminuição da temperatura no armazenamento. Ressaltando que o fruto do facheiro neste estudo, foi armazenado em baixas temperaturas.

O teor de proteínas da polpa do fruto do facheiro foi 5,41%, valor superior quando comparado ao estudo realizado por Nascimento (27) que foi 2,27% para a polpa de pitaia vermelha *in natura*. Reis *et al.* (28) relataram teor proteico de 7,34% para formulação (F1) com 100% de polpa de xique xique. Essas diferenças encontradas podem ser justificadas pelo fato de haver alterações nas temperaturas, que os frutos foram armazenados, as espécies cactáceas e as questões climáticas das regiões.

Os açúcares encontram-se nos frutos na forma livre ou dependente e são responsáveis pelo sabor e doçura do alimento consumido. A polpa do fruto do facheiro apresentou porcentagem de 5,76% de açúcares totais, O valor encontrado é inferior ao resultado de Silveira *et al.* (29), que apresentaram valor médio de 18,23% de açúcares totais em um estudo feito do genótipo de puçá (coroa de frade) da vegetação litorânea de Beberibe-ce. Rufino *et al*. (30), mencionaram valores mais baixos, de 16,63 % e 15,69 % em puçá Coroa de Frade e puçá-preto, respectivamente. Diante das literaturas citadas, podemos ressaltar que a polpa do fruto do facheiro contém baixo teor de açúcares totais.

Os açúcares existentes nos alimentos, são representados pela classe dos chamados açúcares redutores, confere ao fruto possível potencial para utilização de processos, incluindo fermentações alcoólica. O teor de glicose conforme a Tabela 1, foi de 5,10%, corroborando com os valores encontrados por Nascimento (13), apresentando teores de 3,16 e 2,90%, para a polpa e casca de facheiro. O autor explica que a maioria dos açúcares encontrados nos frutos de facheiro é do tipo redutor, todavia, sabe-se que a glicose é a substância energética das células do cérebro e nervosas, e que na fruta de facheiro, assim como outros tipos de frutos, está presente como açúcar livre que é absorvido diretamente pelo corpo.

Rufino *et al*. (30), relataram valores superior de 9,81% para o fruto do puçá Coroa de frade e 9,92% para o puçá- preto. Barreiros (31), explica que a frutose e a glicose, considerados açúcares redutores, proporcionam maior doçura nos frutos, já que a frutose tem uma potencialidade maior de adoçar, comparado com a sacarose.

O resultado de açúcares não redutores apresentado na Tabela 1, expresso pelo teor de sacarose foi 0,63%, justificando que o poder adoçante da sacarose é menor quando

comparado a glicose. Bahia *et al*. (24) ao analisarem a polpa do fruto do mandacaru obtiveram teor maior de 2,93%.

De acordo com Damodaran, Parkin e Fennema (32), a quantidade de açúcares de frutas, muda de irrelevante para mais de 20% em base úmida. Geralmente as frutas e hortaliças abrange mais açúcares redutores que sacarose. Essa afirmação, justifica a presença do açúcar não redutor, encontrado em poucas quantidades na polpa dos frutos do facheiro.

Tabela 2 - Caracterização de compostos bioativos do fruto do facheiro (*Pilosocereus chrysostele*)

Análises	**Fruto**
Compostos Fenólicos (mg GAE /100g)	303,44±0,34*
Flavonoides (mg/100g)	18,79±0,07
Antocianinas (mg/100g)	8,16±0,05
Clorofila Total (µg/100g)	0,39±0,03
Carotenoides (µg/100g)	524,64±0,66
Vitamina C (mg/100g)	33,44±0,89

*Média ± desvio padrão.

Os resultados obtidos na Tabela 4, da polpa dos frutos de facheiro apresentou teor de compostos fenólicos (303,44 mg GAE /100g). Ao avaliarem a casca do fruto do mandacaru (33) encontraram 275,98 mg/100g, valor inferior ao apresentado neste trabalho. Reis *et al.* (28), determinaram compostos em frutos da espécie de *Opuntia* dillenii e determinaram valores de 379,03 mg GAE /100g, condizente com o fruto estudado.

Santos (21), analisando cactáceas da mesma família, apresentou (326,78 mg/100g), semelhante com o do estudo, podendo ser justificado pelo estádio de maturação dele. Todavia, sabe-se que, quanto mais avançado o estádio de maturação, maior será a concentração dos compostos fenólicos. Assim como, o tempo de armazenamento do fruto do facheiro sob refrigeração pode ter influenciado no resultado, diminuindo a quantidade de compostos fenólicos.

Os flavonoides são compostos bioativos presentes na alimentação humana em grande abundância, nas quais absorvem radicais livres e inibem a cadeia de iniciação ou interrompem a cadeia de propagação das reações oxidativas promovidas pelos radicais, podendo ajudar na prevenção de doenças. Os resultados para presença de flavonoides nos frutos do facheiro (18,79mg/100g), corroboram com Lima *et al.*, (34), relatando em frutos de pitaia, concentrações inferiores de compostos fenólicos, entre 0,9 e 6,0 mg/100g.

Bragança et al. (35), relatam que os flavonoides possuem princípio amargos, contribuindo para o sabor, cor, adstringência e o amargor de diferentes tipos de frutas e legumes. Não foram encontrados na literatura cientifica valores comprobatórios de compostos fenólicos no fruto do facheiro.

O resultado de antocianinas da polpa do fruto do facheiro na Tabela 4, apresentou uma média de 8,16 mg/100g. Resultados similares foi verificado (22), utilizando a polpa e casca do mesmo fruto, de 10,34 e 8,34 mg/ 100g, respectivamente. Bragança *et al.* (35) utilizou a polpa do fruto de Opuntia elata Salm-Dyck, reportando valor médio de 1,56 mg/ 100g de antocianinas. Essas diferenças significativas de valores encontrados na literatura e comparada ao *Pilosocereus chrysostele*, pode ser justificada pela coloração menos intensa de cada espécie das cactáceas. Ressaltando que o fruto do facheiro é rico em antocianinas, devido ao fato dele apresentar uma pigmentação natural, vermelho intenso.

Conforme observado na tabela 4, a polpa dos frutos do facheiro apresentou 0,39 µg/100g de clorofila total, resultado inferior (36) em polpa de frutos de mandacaru submetidos a diferentes tempos de hidroresfriamento, variando de 8,9 a 26,8 mg/ 100g. Essa discrepância encontrada neste estudo e o relatado pelo autor, pode ser justificado pela utilização de quantificações de metodologias diferentes, como também, diferentes famílias de cactácea utilizadas nas literaturas.

Os carotenoides são substâncias responsáveis por conceder ao alimento cor e aroma, além de serem fontes de vitamina A. Conforme a Tabela 4, o teor de carotenoides foi 524,64 (µg/100g). Dias *et al.* (37) confirmaram que a quantidade de carotenoides contido nos alimentos, pode sofrer variações de acordo com a espécie, variedade, luminosidade, como também estádio de maturação do alimento.

De acordo com Formiga *et al*. (38), vitamina C ou ácido ascórbico é uma vitamina hidrossolúvel e termolábil, utilizada como parâmetro de qualidade em frutas e hortaliças. É encontrada em alguns frutos frescos, sendo de grande importância para a nutrição dos seres humanos. O resultado de ácido ascórbico obtido neste trabalho foi de 33,44 mg/100g, semelhante ao reportado por Bulhões (39), que encontrou no fruto de quipazeiro totalmente maduro valor de 36,73 mg/100g.

Silva *et al*. (40) e Melo *et al*. (41) encontraram médias de 19,6 mg/100mg e 4,0 mg/100g de vitamina C, em frutos de figo-da-índia e mandacaru, respectivamente, valores inferiores ao encontrado no estudo, conforme a Tabela 4. Silva *et al.* (42) relatam que frutos cítricos contém teores variados de ácido ascórbico, podendo ser classificadas em diferentes níveis: fontes elevadas (100 a 300 mg/ 100g); fontes médias (50 a 100 mg/100g); fontes baixas (25 a 50 mg/100g) e fontes muito baixas quando menores que 25mg/100g de polpa. Com isso podemos assegurar que a polpa do fruto do facheiro apresenta fontes baixas de ácido ascórbico, indicando uma menor estabilidade e conservação dos frutos, já que a presença elevada de ácido ascórbico, indica que os nutrientes presentes estão sendo preservados.

CONCLUSÕES

A caracterização físico-química e a análise do perfil bioativo do fruto de *Pilosocereus chrysostele* (facheiro) evidenciaram que a espécie apresenta composição nutricional relevante, destacando-se pelos teores de proteínas, lipídios e açúcares redutores, além de elevado conteúdo de umidade, fatores que influenciam tanto sua aceitação sensorial quanto sua estabilidade pós-colheita.

No que se refere aos compostos bioativos, o fruto demonstrou presença expressiva de fenólicos totais, flavonoides e carotenoides, confirmando seu potencial como fonte de metabólitos secundários com propriedades antioxidantes e funcionais. Esses achados reforçam o valor do facheiro não apenas como alimento *in natura*, mas também como matéria-prima promissora para o desenvolvimento de produtos alimentícios funcionais e tecnológicos, além de contribuir para a valorização de recursos nativos da Caatinga.

Dessa forma, os resultados obtidos contribuem para preencher lacunas existentes na literatura sobre a espécie e abrem perspectivas para pesquisas futuras relacionadas ao aproveitamento integral do fruto, avaliação da sua bioatividade em modelos biológicos e estudos de estabilidade durante o processamento e armazenamento.

REFERÊNCIAS

1. Leite TS. Ecofisiologia de espécies arbóreas da caatinga em função do estresse hídrico e da reidratação [dissertação]. Mossoró: Universidade Federal Rural do Semi-Árido; 2022.

2. Souza RLA, et al. Physicochemical, bioactive and functional evaluation of the exotic fruits Opuntia ficus-indica and Pilosocereus pachycladus Ritter from the Brazilian Caatinga. Springer; 2015.

3. da Silveira Agostini-Costa T. Bioactive compounds and health benefits of Pereskioideae and Cactoideae: A review. Food Chem. 2020; 327:126961.

4. Martins M, Ribeiro MH, Almeida CMM. Physicochemical, nutritional, and medicinal properties of Opuntia ficus-indica (L.) Mill. and its main agro-industrial use: A review. Plants. 2023;12(7):1512.

5. Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análises de alimentos. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz; 2008.

6. Cecchi HM. Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos. 2. ed. Campinas: Unicamp; 2001.

7. Swain NT, Hills WE. The phenolic constituents of Prunus domestica. Quantitative analysis of phenolic constituents. J Sci Food Agric. 1959; 19:63–8.

8. Francis FJ. Analysis of anthocyanins. In: Markakis P, editor. Anthocyanins as food colors. New York: Academic Press; 1982. p. 181–207.

9. Higby WK. A simplified method for determination of some carotenoid distribution in natural and carotene-fortified orange juice. J Food Sci. 1962;27(1):42–9.

10. Souza RLA. Estudo da funcionalidade de espécies comestíveis do semiárido nordestino e estratégias para sua atualização como ingredientes para fins alimentícios [tese]. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte; 2014.

11. Lima RKB. Caracterização e potencial antioxidante do fruto da palma (Tacinga inamoena) e do mandacaru (Cereus jamacaru) [dissertação]. Mossoró: Universidade Federal Rural do Semi-Árido; 2016.

12. Neto JPS, Silva VDN, Silva PA, Santos YMP, Monteiro PHS, Silva LASG. Características físico-químicas de frutos de mandacaru (Cereus jamacaru P. DC.) cultivados no Sertão Alagoano. Rev Craibeiras Agroecol. 2019;4(1):e7741.

13. Nascimento MAG. Aproveitamento agroindustrial de cactáceas do semiárido brasileiro [tese]. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande; 2014.

14. Silva CE. Desenvolvimento, caracterização e análise sensorial de bolo a partir da farinha de xiquexique (Pilosocereus gounellei) [trabalho de conclusão de curso]. Salgueiro: Instituto Federal do Sertão Pernambucano; 2019.

15. Deodato JNV. Produção e avaliação microbiológica, físico-química e toxicológica de farinha de Pilosocereus chrysostele e sua utilização como aditivo na formulação de broa preta [dissertação]. Pombal: Universidade Federal de Campina Grande; 2015.

16. Silva SN, Silva PB, Silva RM, Silva LPF, Barroso AJR, Almeida FAC, Gomes JP. Composição físico-química e colorimétrica da polpa de frutos verdes e maduros de Cereus jamacaru. Magistra. 2019; 30:11–7.

17. Silva LR, Alves RE. Avaliação da composição físico-química de frutos de mandacaru (Cereus jamacaru P.). Acta Agron. 2009;58(4):245–50.

18. Sousa ACP. Frutos de cactáceas da Caatinga piauiense: potencial bioativo e tecnológico [dissertação]. Teresina: Universidade Federal do Piauí; 2017.

19. Rodrigues TL. Qualidade, atividade antioxidante e atividade da peroxidase durante a maturação de frutos de facheiro (Pilosocereus pachycladus Ritter) [trabalho de conclusão de curso]. Areia: Universidade Federal da Paraíba; 2016.

20. Fagundes GR, Yamanishi OK. Características físicas e químicas de frutos de mamoeiro do grupo "Solo" comercializados em 4 estabelecimentos de Brasília – DF. Rev Bras Frutic. 2001;23(3):541–5.
21. Santos IA. Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante da casca do fruto do mandacaru (Cereus jamacaru) em pó obtido em secador de leito fixo [dissertação]. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande; 2018.

22. Sousa ACP. Frutos de cactáceas da Caatinga piauiense: potencial bioativo e tecnológico [dissertação]. Teresina: Universidade Federal do Piauí; 2017.

23. Wang SY, Zheng W. Oxygen radical absorbing capacity of phenolics in blueberries, cranberries, chokeberries, and lingonberries. J Agric Food Chem. 2003;51(2):873–8.

24. Bahia EVDA, Morais LRV, Silva MPD, Vieira OBV, Santos SDF. Estudo das características físico-químicas do fruto do mandacaru (Cereus jamacaru P. DC.) cultivado no Sertão Pernambucano. In: Anais do VIII SEMEALI. Feira de Santana: UEFS; 2010.

25. Oliveira EA, Junqueira SF, Mascarenhas RJ. Caracterização físico-química e nutricional do fruto de palma (Opuntia ficus-indica L. Mill) cultivada no Sertão submédio São Francisco. Holos. 2011;27(3):113–9.

26. Sousa RLA. Estudo da funcionalidade de espécies comestíveis do semiárido nordestino e estratégias para sua atualização como ingredientes para fins alimentícios [tese]. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte; 2014.

27. Jeronimo MC. Caracterização química, físico-química, atividade antioxidante e avaliação dos efeitos citotóxicos da pitaia-vermelha (Hylocereus undatus) cultivada no Brasil [dissertação]. Brasília: Universidade de Brasília; 2016.

28. Reis CG, Silva CE, Maia GAO, Lisbôa CLC, Oliveira CA. Elaboração e caracterização físico-química de bolo elaborado a partir da cactácea xiquexique. In: III Congresso Internacional das Ciências Agrárias (COINTER-PDVAGRO). 2018.

29. Silveira MRS, Ricardo EA, Antonio SAF, Raimundo WF, Lyse AFS. Estudo de genótipos de puçá 'coroa de frade' da vegetação litorânea de Beberibe-CE. Rev Caatinga. 2014;27(2):159–65.

30. Rufino MSM, et al. Quality for fresh consumption and processing of some non-traditional tropical fruits from Brazil. Fruits. 2009; 64:361–70.

31. Barreiros RC. Adoçantes nutritivos e não nutritivos. Rev Fac Ciênc Méd Sorocaba. 2012;14(1):5–7.

32. Damodaran S, Parkin KL, Fennema OR. Química de alimentos de Fennema. 4. ed. Porto Alegre: Artmed; 2010.

33. Santos CN, Almeida RLJ, Silva LRI, Pereira TS, Silva VMA, Eduardo RS. Pasteurização da polpa e da casca do fruto do mandacaru (Cereus jamacaru). Pesqui Soc Desenvolv. 2020;9(7):e403974027.

34. Lima CA, Faleiro FG, Junqueira NTV, Cohen KO, Guimarães TG. Características físico-químicas, polifenóis e flavonoides amarelos em frutos de espécies de pitaias comerciais e nativas do Cerrado. Rev Bras Frutic. 2013;35(2):565–70.

35. Bragança GCM, Zago AC, Moysés A, Imthon ND, Oliveira SHS, Schirmann GS, Santos MLP. Caracterização física e determinação de compostos bioativos em frutos de Opuntia elata proveniente do bioma Pampa de Bagé. Rev Congrega. 2017.

36. Pereira MMD. Qualidade pós-colheita de frutos de mandacaru submetidos a diferentes tempos de hidrorresfriamento [trabalho de conclusão de curso]. Pombal: Universidade Federal de Campina Grande; 2017.

37. Dias MG, Camoes MFGF, Oliveira L. Carotenoids in traditional Portuguese fruits and vegetables. Food Chem. 2009;113(3):808–15.

38. Formiga AS, Costa FB, Silva MS, Pereira EM, Brasil YL. Aspectos físicos e químicos de frutos de Quipá (Tacinga inamoena). Rev Verde Agroecol Desenvolv Sustent. 2016;11(5):25–9.

39. Bulhões TL. Qualidade e compostos bioativos chaves em porções de frutos de Tacinga inamoena durante a maturação [monografia]. Areia: Universidade Federal da Paraíba; 2020.

40. Silva MS, Costa FB, Formiga AS, Calado JA, Pereira MMD. Qualidade pós-colheita de frutos de palma. In: Congresso Brasileiro de Processamento Mínimo e Pós-colheita de frutas, flores e hortaliças. 2015.

41. Melo RS, Silva SM, Lima RP, Sousa ASB, Dantas RL, Dantas AL. Qualidade física e físico-químicas de frutos de mandacaru (Cereus jamacaru P. DC.) colhidos na região do Curimataú Paraibano. In: Congresso Brasileiro de Processamento Mínimo e Pós-colheita de frutas, flores e hortaliças. 2015.

42. Silva AML, Martins BA, Deus TN. Avaliação do teor de ácido ascórbico em frutos do cerrado durante o amadurecimento e congelamento. Estudos. 2009;36(11/12):1159–69.

Capítulo 16

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-16

AVALIAÇÃO DE MODELOS NÃO LINEARES APLICADOS AO CRESCIMENTO DE BOVINOS DE CORTE

Priscylla de Fátima da Costa Silva; Jeferson Correia Ribeiro ;Sthefany Gonzaga Freitas; Alice Alves Batista Leonardo; Andreia Santos Cesário; Eliandra Maria Bianchini Oliveira; Wallacy Barbacena Rosa dos Santos

**Priscylla de Fátima da Costa Silva – priscyllasilva246@gmail.coml*
**Jeferson Correia Ribeiro – jeferson.ribeiro@ifgoiano.edu.br:*
**Sthefany Gonzaga Freitas – sthefanygtba@gmail.com:*
**Alice Alves Batista Leonardo – alicebatista2806@gmail.com:*
**Andreia Santos Cesário –andreia.cesario@ifgoiano.edu.br:*
**Eliandra Maria Bianchini Oliveira – eliandra.oliveira@ifgoiano.edu.br:*
**Wallacy Barbacena Rosa dos Santos – wallacy.barbacena@ifgoiano.edu.br:*

Resumo: Este estudo teve como objetivo comparar o desempenho de cinco modelos não lineares - Gompertz, Meloun I, Meloun II, von Bertalanffy e Weibull - na descrição do crescimento de bovinos de corte em sistema de confinamento. Foram analisados dados de 6.365 animais, com pesos coletados em diferentes fases produtivas, ajustados por regressão não linear e avaliados pelos critérios: percentual de convergência, coeficiente de determinação (R^2 e R^2 ajustado), média do erro de previsão (MEP), critério de informação de Akaike (AIC) e critério de informação bayesiano (BIC). Os resultados indicaram tendência de redução da variabilidade de peso ao longo do ciclo produtivo, principalmente durante o confinamento, favorecendo a uniformidade do lote. Entre os modelos testados, o de Gompertz apresentou desempenho equilibrado (R^2 = 0,9208; convergência = 85,55%; MEP = 0,5619; AIC = 58,3891; BIC = 78,1959). O modelo de von Bertalanffy obteve maior R^2 (0,9421) e menor MEP (0,3563), mas menor convergência (78,90%). O Weibull destacou-se pelos menores valores de AIC (55,8660) e BIC (76,1417), embora limitado pelo baixo R^2 (0,6021). Já os modelos Meloun I e II apresentaram desempenho insatisfatório, com baixo poder explicativo e altos erros de previsão. Esses resultados reforçam a aplicabilidade e relevância do modelo de Gompertz como ferramenta para o planejamento nutricional, reprodutivo, econômico e de melhoramento genético na pecuária de corte.

Palavras–chave: bovinocultura de corte; confinamento; curvas de crescimento; modelos matemáticos

INTRODUÇÃO

Neste trabalho será abordado o estudo de modelos não lineares em dados de crescimento de bovinos de corte. O confinamento é um sistema de criação no qual os

animais são mantidos em piquetes ou currais, com o intuito de reduzir a necessidade de amplo deslocamento durante a alimentação, otimizando o gasto energético, consequentemente aumentando o ganho de peso. Esse sistema tem se consolidado como uma estratégia fundamental para intensificar a produção e garantir maior eficiência na pecuária de corte.

No confinamento, alimento e água são fornecidos de forma controlada em cochos e bebedouros, garantindo precisão na dieta e atendimento às exigências nutricionais dos animais. Embora seja mais comum na fase de terminação, essa prática também pode ser aplicada a diferentes categorias do rebanho, como bezerros desmamados, novilhos, novilhas e vacas de descarte, até atingir o peso de abate. O confinamento de bovinos designado à produção de carne é definido pela aplicação dos animais em piquetes/baias para engorda, com área reduzida, tendo até mesmo o alimento provido nos cochos de forma controlada (1).

Diferente da terminação a pasto, o confinamento necessita de maior investimento em estrutura e equipamentos. Em compensação, permite um controle mais preciso da alimentação, podendo-se fazer ajustes na dieta. A alimentação concentrada no confinamento influencia positivamente a qualidade sensorial da carne, contribuindo para uma melhor maciez, suculência e palatabilidade do produto final.

Como afirmam Pacheco et al. (2), a terminação em confinamento com dietas de alta densidade energética favorece o desempenho dos animais, promovendo elevados ganhos de peso diário mesmo em períodos curtos de engorda, principalmente em animais mais jovens, o que resulta em cortes mais valorizados.

De acordo com a Embrapa (3) o confinamento se apresenta como uma estratégia para aproveitar a valorização da arroba do boi durante a entressafra, período em que a escassez de pastagens compromete os sistemas extensivos tradicionais. Diversos fatores podem influenciar nos resultados deste modelo de criação de bovinos, como o fator genético por exemplo, que influência diretamente o desempenho no confinamento. Animais mestiços têm maior precocidade e melhor conversão alimentar, podendo alcançar o peso de abate mais cedo que os zebuínos puros. Apesar das vantagens produtivas, o confinamento deve ser planejado com cautela, pois sua viabilidade econômica depende da relação entre os custos de alimentação e o preço da arroba no momento da venda.

Segundo Barros *et al.* (4), os custos elevados associados ao confinamento representam um obstáculo significativo para a pecuária. Diante disso, torna-se essencial encontrar estratégias que viabilizem a implementação desse sistema e contribuam para a melhoria da rentabilidade na produção animal. No entanto, para que os benefícios sejam alcançados, é fundamental que o sistema seja bem planejado. Falhas no dimensionamento das estruturas podem comprometer o desempenho dos animais e causar prejuízos técnicos e econômicos ao produtor (5).

Para conseguirmos dados precisos do crescimento dos bovinos de corte, utilizamos modelos matemáticos que colaboram com a descrição de peso e outras medidas corporais ao longo do tempo. Essas equações matemáticas muitas vezes não lineares ajudam a representar o padrão biológico do crescimento dos animais, que geralmente ocorre de forma sigmoide. O desenvolvimento dos animais é um fator determinante na produtividade dos sistemas de criação, uma vez que está diretamente relacionado à quantidade e à qualidade da carne produzida. Assim, a utilização de curvas de crescimento tem ganhado destaque como ferramenta prática para acompanhar o desenvolvimento dos bovinos e, consequentemente,

melhorar os índices econômicos da atividade pecuária (6).

O crescimento dos animais pode ser representado por uma curva sigmoide, o que permite o uso de modelos não lineares capazes de sintetizar informações de peso, altura e outras características em poucos parâmetros biologicamente interpretáveis. Esses modelos são fundamentais para programas de melhoramento genético e planejamento bioeconômico, já que ajudam a identificar o momento ideal para o abate, quando o animal atinge a maturidade e, após isso, passa a ter alta exigência de manutenção e baixa conversão alimentar (7). Dessa forma é possível estimar parâmetros importantes como peso adulto, a taxa de crescimento e a idade ideal para o abate, contribuindo para o planejamento nutricional, reprodutivo e produtivo do rebanho.

Os modelos não lineares têm se mostrado particularmente úteis na análise de curvas de crescimento de bovinos, devido à sua flexibilidade em lidar com características comuns aos dados de peso-idade, como a irregularidade dos intervalos entre pesagens, a presença de dados incompletos, a forte correlação entre medidas próximas no tempo e o aumento da variância ao longo do desenvolvimento dos animais (8).

A seleção do modelo não linear mais apropriado para descrever o crescimento de animais em função da idade depende de vários fatores, como a raça dos indivíduos, as condições ambientais em que são criados, a idade nas últimas pesagens e as próprias características do modelo matemático utilizado (7).

O conhecimento sobre o crescimento animal é essencial para programas de melhoramento genético, pois permite estimar características como a taxa de crescimento, ganho de peso e precocidade. Essas informações possibilitam selecionar animais com maior desempenho produtivo, contribuindo para avanços na eficiência do rebanho (9). Embora no Brasil existam poucos estudos que acompanhem os pesos dos zebuínos durante todo o ciclo de sua vida, o que dificulta a definição de um padrão de crescimento dessa raça.

Dessa forma, nosso principal objetivo é comparar o desempenho de modelos de não lineares em dados de crescimento de bovinos de corte, com o intuito de auxiliar na escolha do modelo que melhor represente o desempenho produtivo dos animais em diferentes fases de desenvolvimento.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados analisados neste estudo foram coletados em uma fazenda parceira que mantém bovinos de corte em sistema de confinamento. A base de inicial continha registros de 6.940 animais válidos para análise. Contudo, foi realizada uma etapa de triagem e limpeza para garantir a qualidade dos dados utilizados na análise. Foram removidos os registros de animais sem dados de pesagem, o que inviabilizou sua utilização no ajuste dos modelos. Após essa filtragem, o número final de animais válidos para análise foi de 6.365. A base final incluiu dados de pesos corporais coletados em diferentes idades durante o período de confinamento.

Foram testados cinco modelos não lineares amplamente utilizados na descrição do crescimento animal: Gompertz, Meloun 1, Meloun 2, von Bertalanffy e Weibull, escolhidos por sua flexibilidade e parâmetros biologicamente interpretáveis.

A estimação dos parâmetros foi realizada por regressão não linear, via método de

mínimos quadrados. A estimação dos parâmetros foi realizada por regressão não linear via método dos mínimos quadrados, com comparação baseada em critérios estatísticos: % de convergência, coeficiente de determinação (R^2), R^2 ajustado, erro médio de previsão (MEP), Critério de Informação de Akaike (AIC) e Critério de Informação Bayesiano (BIC). O ajuste dos modelos e a aplicação do teste de identidade foram realizados pelo método de Marquardt, que combina a estabilidade do gradiente descendente com a eficiência do método de Gauss-Newton, garantindo maior robustez na convergência. As análises foram conduzidas no **software SAS® (versão 9.2)**, por meio do procedimento PROC MODEL.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos pesos corporais ao longo das diferentes fases de crescimento dos bovinos permite compreender o desempenho produtivo dos animais e verificar o grau de uniformidade do rebanho. Na **Tabela 1**, são apresentados os valores de média, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) para os pesos ao nascimento (PN), à desmama (PD), na saída do sequestro (PS), na entrada do confinamento (PE) e no abate (PA).

Tabela 1 – Média, desvio padrão e coeficiente de variação dos pesos corporais em diferentes fases de desenvolvimento

Variáveis	PN	PD	PS	PE	PA
Média	30,00	213,48	296,73	346,41	551,94
DP	0,00	41,09	56,25	41,13	59,33
CV	0,00	19,25	18,96	11,87	10,75

Onde DP = desvio padrão; CV = Coeficiente de variação; PN = peso ao nascer; PD = peso à desmama; PS = peso na saída do sequestro; PE = peso na entrada do confinamento; PA = peso de abate.

Observa-se que o peso médio ao nascimento considerado, foi de 30 kg, com desvio padrão e coeficiente de variação nulos. Isto se deve ao fato da fazenda não coletar o peso ao nascimento, devido ao manejo adotado. Portanto, para fins de comparação entre os pesos de nascimento e os demais registros de pesos, fora adotado um valor padrão como suporte para estimação dos parâmetros.

Na desmama, o peso médio observado foi de 213,48 kg, com desvio padrão de 41,09 kg e coeficiente de variação de 19,25%. Esses valores indicam uma variação moderada entre os animais, possivelmente decorrente de fatores como tipo de alimentação, genética ou manejo individual. Já na saída do sequestro, a média de peso foi de 296,73 kg, com desvio padrão de 56,25 kg e CV de 18,96%, revelando variações similares às da fase anterior, ainda que com maior dispersão absoluta dos dados. Essa manutenção da variabilidade sugere que o sequestro contribuiu para o ganho de peso, mas não reduziu significativamente a dispersão entre os animais.

Na entrada do confinamento, a média foi de 346,41 kg, com desvio padrão de 41,14 kg e coeficiente de variação de 11,87%, indicando uma redução na variabilidade. Isso pode ser atribuído à uniformização dos lotes antes do início da fase intensiva, o que é desejável para facilitar o manejo nutricional e sanitário no confinamento.

Por fim, o peso médio na saída do confinamento foi de 551,94 kg, com desvio padrão de 59,33 kg e CV de 10,75%. A redução do coeficiente de variação ao final do ciclo produtivo demonstra um ganho de uniformidade entre os animais, o que é desejável em sistemas de terminação intensiva e contribui para padronização de carcaças e melhores

resultados econômicos.

De forma geral, observa-se uma tendência de redução no coeficiente de variação ao longo do tempo, especialmente nas fases mais controladas do sistema produtivo, como confinamento. Essa homogeneização é desejável, pois facilita o planejamento de abate e comercialização dos animais.

Os parâmetros estimados para cada modelo, segundo os modelos estudados, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros estimados para os modelos não lineares de crescimento ajustados aos dados dos bovinos confinados

Modelo	%C	R^2	R^2_{aj}	MEP	AIC	BIC
Gompertz	85,5459	0,9208	0,9207	0,5619	58,3891	78,1959
von Bertalanffy	78,9002	0,9421	0,9420	0,3563	56,8880	76,4528
Meloun I	100,0000	0,0240	0,0236	1,3686	71,6120	91,8877
Meloun II	51,3904	0,6718	0,6716	3,1097	65,0494	83,3279
Weibull	100,0000	0,6021	0,6019	2,7883	55,8660	76,1417

Onde %C = porcentagem de convergência; R^2 = coeficiente de determinação; R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; MEP = média do erro de previsão; AIC = critério de informação de Akaike; BIC = critério de informação bayesiano.

O modelo de Gompertz apresentou desempenho satisfatório na maioria dos critérios, destacando-se como o mais equilibrado. Obteve 85,55% de convergência, R^2 de 0,9208 e R^2aj de 0,9207, indicando excelente capacidade de explicação da variação nos dados. Embora não tenha atingido os melhores valores absolutos em todos os critérios, seus resultados foram consistentes. O MEP foi de 0,5619, e os critérios AIC (58,3891) e BIC (78,1959) demonstraram razoável eficiência, ainda que não tenham sido os mais baixos entre os modelos.

O modelo de von Bertalanffy apresentou o maior R^2 (0,9421) e o menor MEP (0,3563), indicando elevado poder explicativo e **boa capacidade de previsão**. No entanto, sua taxa de convergência foi inferior à do Gompertz (78,90%), e o BIC (76,4528) também não foi o mais baixo, o que pode sugerir maior complexidade de ajuste.

O modelo Weibull apresentou convergência total (100%) e os menores valores de AIC (55,8660) e BIC (76,1417), sendo o modelo com melhor equilíbrio entre ajuste e simplicidade. Apesar disso, apresentou valores intermediários de R^2 (0,6021) e MEP (2,7883), o que limita sua aplicabilidade para representar com precisão o crescimento dos animais.

Os modelos Meloun I e II apresentaram limitações evidentes. O Meloun I, embora tenha atingido 100% de convergência, apresentou R^2 e R^2_{aj} extremamente baixos (0,0240 e 0,0236), além de um alto MEP (1,3686), o que inviabiliza seu uso. O Meloun II, por sua vez, obteve o pior desempenho em termos de convergência (51,39%) e apresentou os maiores erros de previsão (MEP de 3,1097), ainda que seu R^2 (0,6718) tenha sido superior ao do Weibull.

Portanto, embora o modelo de von Bertalanffy tenha apresentado valores superiores em R^2 e MEP, e o Weibull tenha demonstrado maior eficiência, o modelo de Gompertz foi considerado o mais adequado para descrever o crescimento dos animais neste estudo, por apresentar um bom equilíbrio entre ajuste, simplicidade e estabilidade de convergência.

Esses resultados estão em coerência com as pesquisas de outros autores na literatura. Estudo realizado por Souza et al. (10), que avaliou cinco modelos não lineares - incluindo o de Gompertz - para descrever o crescimento de bovinos da raça Indubrasil criados a pasto no estado de Sergipe, apresentou resultados compatíveis com os obtidos no presente trabalho. Embora o modelo Logístico tenha se destacado naquele estudo, o modelo de Gompertz apresentou desempenho satisfatório, com coeficiente de determinação (R^2) de 0,957 e 94% de convergência, o que evidencia sua boa capacidade de ajuste e estabilidade. **Esses dados ressaltam a eficiência e a fundamentação biológica** do modelo de Gompertz, tanto em sistemas extensivos quanto intensivos de produção, confirmando sua adequação para representar o crescimento de bovinos em diferentes condições de manejo (10).

Além disso, resultados semelhantes foram relatados por Silva et al. (7) também relataram resultados compatíveis ao avaliarem curvas de crescimento em vacas de corte de distintos tipos biológicos, comparando cinco modelos não lineares, entre eles os modelos de Gompertz, Brody e von Bertalanffy. Apesar do destaque para o modelo de Brody ponderado pelo inverso da variância, o modelo de Gompertz demonstrou desempenho consistente, reforçando sua aplicabilidade em diferentes sistemas de criação e grupos genéticos. Além disso, o modelo de von Bertalanffy - que, no presente estudo, apresentou o maior R^2 e o menor erro de predição - também exibiu boa capacidade de ajuste no estudo de Silva et al. (7), sobretudo quando se considerou a ponderação pela variância. Esses resultados indicam que tanto o modelo de Gompertz quanto o de von Bertalanffy apresentam **alta estabilidade e boa capacidade de ajuste**, sendo a escolha entre eles dependente do tipo de dado, do grupo genético analisado e dos objetivos da pesquisa (7).

Com base nos critérios de convergência, ajuste (R^2 e R^2aj), precisão preditiva (MEP) e eficiência do modelo (AIC e BIC), o modelo de Gompertz destacou-se por seu desempenho equilibrado, apresentando elevada capacidade explicativa ($R^2 = 0,9208$), boa estabilidade de convergência (85,55%) e níveis aceitáveis de erro e complexidade, sendo considerado o mais adequado para representar o crescimento dos animais.

O modelo de von Bertalanffy apresentou o maior R^2 (0,9421) e o menor MEP (0,3563), demonstrando excelente ajuste e poder preditivo, embora com menor taxa de convergência. Já o modelo Weibull mostrou-se o mais eficiente, com 100% de convergência e os menores valores de AIC e BIC, mas limitado por sua menor capacidade explicativa ($R^2 = 0,6021$). Os modelos Meloun I e II apresentaram desempenho inferior, com baixo R^2 e altos erros de previsão, não sendo recomendados para este tipo de análise.

A avaliação estatística dos pesos corporais nas diferentes fases do ciclo produtivo revelou uma tendência de redução na variabilidade dos animais ao longo do tempo, especialmente durante o confinamento. Essa homogeneização do lote é desejável em sistemas intensivos, pois contribui para facilitar o manejo nutricional e sanitário, além de promover padronização de carcaças e maior eficiência econômica na terminação.

Esses resultados estão em consonância com resultados prévios da literatura, como os de Souza et al. (10) e Silva et al. (7), reforçando a eficácia, aplicabilidade e relevância biológica do modelo de Gompertz em distintos sistemas produtivos. Ressalta-se, contudo, que a escolha do modelo mais adequado deve levar em conta não apenas os indicadores estatísticos de ajuste, mas também as características específicas do rebanho, as práticas de manejo adotadas e os objetivos da pesquisa, de modo a garantir interpretações mais precisas e aplicabilidade prática dos resultados.

Assim, a aplicação de modelos não lineares, em especial o de Gompertz, mostra-se uma ferramenta precisa e eficiente para descrever o crescimento de bovinos de corte em confinamento, fornecendo parâmetros consistentes e biologicamente interpretáveis. Esses

resultados são fundamentais para o planejamento nutricional, reprodutivo e econômico, além de subsidiar programas de melhoramento genético e estratégias de abate otimizadas, contribuindo para maior eficiência e sustentabilidade nos sistemas de produção.

CONCLUSÕES

O modelo de Gompertz foi o mais adequado para descrever o crescimento de bovinos de corte em confinamento, apresentando desempenho consistente nos critérios de ajuste, simplicidade e estabilidade. Destacou-se pela elevada capacidade explicativa ($R^2 = 0,9208$), boa taxa de convergência (85,55%) e erro reduzido, confirmando sua eficiência estatística e coerência biológica. Esses resultados reforçam sua aplicabilidade prática na pecuária de corte, possibilitando estimativas confiáveis para o planejamento nutricional, reprodutivo e econômico, além de oferecer suporte a programas de melhoramento genético e estratégias de manejo mais eficientes.

REFERÊNCIAS

1. Peixoto AM, Moura JC, Carvalho LAC. Confinamento de bois. Rio de Janeiro: Globo; 1989.
2. Pacheco PS, Restle J, Vaz FN, Rosa JPR, Brondani IL, Vaz RZ, et al. Composição física da carcaça e qualidade da carne de novilhos jovens e superjovens de diferentes grupos genéticos. Rev Bras Zootec. 2005;34(5):1691–703.
3. Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Engorda de bovinos em confinamento: aspectos gerais [Internet]. Campo Grande (MS): Embrapa Gado de Corte; 1996 [acesso em 2025 Jul 14]. (Documentos, 64). Disponível em: https://old.cnpgc.embrapa.br/publicacoes/doc/doc64/01introducao.html
4. Barros MCC, Eifert EC, Silva FAP, Lage JF, Pacheco PS, Pereira MLA, et al. Viabilidade econômica do uso da glicerina bruta em dietas para cordeiros terminados em confinamento. Semin Ciênc Agrár. 2015;36(1):443–52.
5. Dias Filho A. Técnicas aplicadas para o confinamento de bovinos [trabalho de conclusão de curso]. Palmas (TO): Centro Universitário Luterano de Palmas; 2011.
6. Silva NAM, Lôbo RB, Oliveira HN. Curvas de crescimento e influência de fatores não-genéticos sobre as taxas de crescimento de bovinos da raça Nelore. Ciênc Agrotec. 2004;28(3):647–54.
7. Silva FL, Malhado CHM, Carneiro PLS, Souza AAO, Affonso PRAM. Curvas de crescimento em vacas de corte de diferentes tipos biológicos. Pesq Agropec Bras. 2011;46(3):262–71.
8. Freitas AR. Curvas de crescimento na produção animal. Rev Bras Zootec. 2005;34(3):786–95.
9. Lôbo RN, Oliveira SM, Figueiredo LGG, Ribeiro MN, Facó O, McManus C. Parâmetros genéticos de características estimadas da curva de crescimento de ovinos da raça Santa Inês. Rev Bras Zootec. 2006;35(3):1012–9.
10. Souza LA, Sarmento JLR, Pimenta Filho EC, Ribeiro MN, Martins GA, Lopes PS. Curvas de crescimento em bovinos da raça Indubrasil criados no Estado do Sergipe. Rev Ciênc Agron. 2010;41(4):671–6.

Capítulo 17

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-17

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E TECNOLÓGICA DA FARINHA DO MESOCARPO DE BARU (*DIPTERYX ALATA* VOGEL)

Edson Leonardo Oliveira da Silva*; Lauren Cristine Souza Vaz;Ellen Godinho Pinto ; Dayana Silva Batista Soares; Wiaslan Figueiredo Martins; Ana Paula Stort Fernandes

**Autor correspondente (Corresponding author) – Email: ellen.godinho@ifgoiano.edu.br*

Resumo: O Cerrado brasileiro, considerado um dos principais bioma de biodiversidade, abriga espécies de grande relevância ecológica e socioeconômica, como o baru (*Dipteryx alata* Vogel). Apesar do uso consolidado da amêndoa, outras partes do fruto, como o mesocarpo, permanecem pouco exploradas, embora apresentem potencial nutricional e tecnológico. Neste estudo, frutos maduros foram coletados em Morrinhos-GO e o mesocarpo foi processado para obtenção de farinha, posteriormente submetida a análises físico-químicas (pH, umidade, acidez titulável e cinzas) e tecnológicas (índice de absorção de água e óleo, solubilidade em água e óleo e capacidade de formação de gel). A farinha apresentou pH de 5,35, umidade de 10,08%, teor de cinzas de 6,92% e acidez de 9,68%, valores próximos aos relatados na literatura e dentro dos limites estabelecidos para farinhas. Nos parâmetros tecnológicos, destacaram-se o índice de absorção de água (2,54%), absorção de óleo (6,98%), solubilidade em água (13,34%) e em óleo (3,90%), além de capacidade de formação de gel fraco a partir de 15% de concentração. Os resultados indicam que a farinha do mesocarpo de baru possui características adequadas para aplicação em formulações alimentícias, contribuindo para agregar valor ao fruto, reduzir desperdícios e promover o uso sustentável de recursos nativos do Cerrado.
Palavras-chave: Cerrado; *Dipteryx alata*; sustentabilidade; aproveitamento integral.

INTRODUÇÃO

O Brasil é tido como um país de grande biodiversidade. A riqueza em fauna e flora, um dos parâmetros utilizados para comparações da biodiversidade entre diversas regiões, também varia ao longo do tempo e do espaço. Dentre todos os biomas brasileiros, destaca-se o Cerrado. É tido como um ponto importante de biodiversidade e desempenha um papel muito importante para o equilíbrio do ecossistema, trazendo, assim, muitos benefícios para a população regional e também nacional, visto que alguns povos dependem diretamente dos recursos ofertados por esse ambiente ecológico. (1).

Entre todas as espécies existentes nesse bioma, tem uma em específico que vem recebendo destaque por suas propriedades organolépticas, e também por ser considerada uma das árvores mais fortes sobrevivendo às adversidades do Cerrado. É nobre, porém em extinção, mas que se trabalhada de forma sustentável pode ser uma grande alternativa no incentivo a conservação do cerrado. De acordo com Alves *et al.* (2) o baru possui usos

tradicionais em sua região nativa e, ao ser transformado em produtos, pode contribuir para a melhoria das condições de vida das comunidades, gerando renda e promovendo a sustentabilidade ambiental e econômica local. Entre as frutas nativas brasileiras, o baru é uma importante fonte de subprodutos que, apesar do grande potencial, ainda são pouco explorados.

O baru (*Dypterix alata*) é uma planta da família das leguminosas, encontrada no Cerrado brasileiro. Sua floração ocorre ao mês de novembro e pode ir até fevereiro, com chances de ocorrer em outras datas. Os frutos são formados entre os meses de janeiro a outubro. O baru é uma árvore tropical que tem despertado interesse crescente devido ao seu grandioso potencial na elaboração de subprodutos de alto valor. Suas sementes, em especial, são ricas em proteínas e gorduras insaturados, como o ácido oleico, além de conter tocoferóis em níveis comparáveis aos de α-tocoferol encontrados no óleo de amendoim (3).

Azevedo *et al*. (4) citam também que o baru é comumente comercializado *in natura*, torrado ou até mesmo em farinha, e essa exploração sustentável de produtos naturais promove a geração de renda, preservação cultural de famílias e povoados, incentivando a permanência no campo.

O fruto do baruzeiro (Figura 1) possui variados nomes populares sendo então conhecido pelos nomes de barujo, cambaru, viagra do cerrado e pau-cumaru entre outros variando com o local.



Figura 1. Fruto do baruzeiro.

O fruto como apresentado na (Figura 2) é constituído pelo epicarpo, camada marrom exterior, o mesocarpo uma polpa fibrosa com gosto adocicado e levemente adstringente que antecede o endocarpo (sendo esse correspondente a parte que abriga a amendôa). (5).

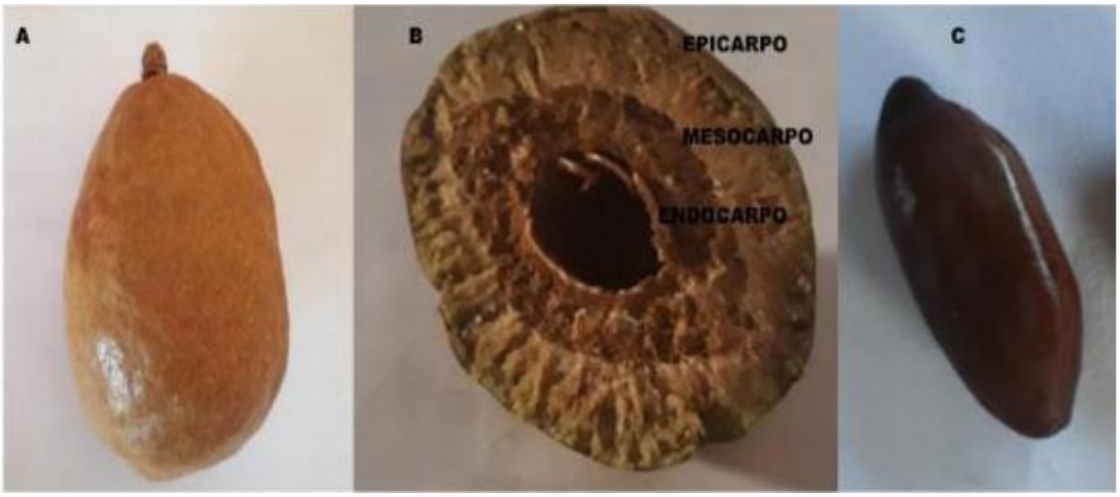


Figura 2. - Fruto do Barueiro: (A) Baru inteiro; (B) Estruturas internas do Baru; (C) Amêndoa. Fonte Morais (6).

O baru é constituído por um epicarpo (casca) fino que apresenta coloração marrom (Figura 2A) o mesocarpo (Figura 2B) tem polpa fibrosa e seca, o endocarpo lenhoso protege apenas uma amêndoa (2C elipsoide, com comprimento médio de 2,5 cm e massa variando de 1,1 a 1,5 g. Em média, a amêndoa representa 4,2% do fruto. A polpa representa cerca de 30% da massa do fruto (6).

Embora a parte mais usada comercialmente do fruto seja a amêndoa, a composição da parte polposa do fruto do baru tem chamado atenção por seu potencial tecnológico, já que contém significativos valores de amido, açúcares e fibras que não se dissolvem na água.

O uso integral do fruto auxiliaria no incentivo à produção do mesmo, bem como uma forma de aproveitar resíduos que seriam descartados pela indústria de alimentos, que é o caso da polpa, ou mesocarpo. O descarte da pele e polpa do baru torna-se aspecto devido de atenção, visto que os mesmos possuem propriedades nutricionais importantes (7). Tanto a casca e quanto a polpa, após processadas, vêm sido incluídas em receitas de pães, bolos, licores, suplemento matinal e barras de cereais.

A utilização integral do baru em alimentos processados é recomendável para agregar valor ao fruto e qualidade nutricional ao produto, contribuindo para o uso sustentável desse fruto nativo. O emprego da polpa de baru em produtos industrializados é fundamental para que se atinja este objetivo, pois a valorização do fruto contribuirá para a preservação desta espécie nativa, e como consequência impulsionará o desenvolvimento regional sustentável preservando o cerrado (8).

Do ponto de vista ambiental e econômico, o aproveitamento integral do fruto do baru, incluindo a polpa, contribui para a sustentabilidade da cadeia produtiva, reduzindo o desperdício e promovendo o uso racional de recursos naturais. Essa abordagem está alinhada aos princípios da bioeconomia e valorização de espécies nativas do Cerrado, um bioma ameaçado e com alto índice de endemismo (9).

O trabalho teve como objetivo obter e caracterizar a farinha do mesocarpo de baru (Dipteryx alata Vogel) por meio de análises físico-químicas e tecnológicas, avaliando seu potencial como ingrediente alternativo para a indústria de alimentos e para o aproveitamento sustentável do fruto.

MATERIAL E MÉTODOS

Preparo de Amostras

Os frutos utilizados foram coletados das árvores de baru, usando apenas os frutos caídos no chão pois indicam que estão maduros. A coleta dos frutos foi realizada no mês de outubro a novembro de 2024, na cidade de Morrinhos- Goiás GO, Brasil. Foram escolhidos os frutos recém caídos do pé, íntegros, que não foram roídos por animais, que não apresentaram sinal de deterioração e sujidades impregnadas. Posteriormente, os frutos foram levados para o Laboratório de Panificação (IFGoiano-Campus Morrinhos)

Primeiramente os frutos de baru foram separados e selecionados, em seguida foram separados a semente do epicarpo e mesocarpo com o auxílio de um ralador em inox e uma peneira sem cabo de 24 cm material de plástico, a padronização da espessura colabora na uniformização da secagem das amostras.

A secagem foi realizada a 60 °C por aproximadamente 24 horas, posteriormente para obtenção da farinha do mesocarpo do baru.

Análises Físico-Químicas

A farinha do mesocarpo do baru será submetida as análise físico-químicas: umidade, pH, acidez titulável e cinzas de acordo com o Instituto Adolfo Lutz (10), todas as análises serão realizadas em triplicatas.

Análises Tecnologicas da Farinha do Mesocarpo de baru

Índice de Absorção em Água (IAA): Será determinado segundo metodologia de Okezie e Bello (11). Em um tubo de centrífuga com tampa será colocado 0,25 g de amostra e 15 mL de água destilada. Os tubos serão agitados em vortex por 1 min, em seguida, centrifugados a força G de 5300 rpm por 20 min, em centrifuga. O líquido sobrenadante foi escorrido cuidadosamente e o material remanescente foi pesado e o IAA calculado conforme a Equação1:

$$IAA=\frac{Peso\ da\ amostra\ úmida(g)-peso\ da\ amostra\ inicial(g)}{Peso\ da\ amostra\ inicial\ (g)} \qquad \text{Equação 1}$$

Solubilidade em Água (SA): A solubilidade em água será determinada segundo metodologia de Okezie e Bello (11). Uma suspensão com 15 mL de água e 0,25 g de farinha (base seca) foi 45 preparada em tubos de centrífuga com tampa. Os tubos serão agitados por 1 minuto em vórtex, e em seguida centrifugados a força G de 5300 rpm por 20 minutos em centrífuga. O líquido sobrenadante será escorrido cuidadosamente em placa de Petri previamente tarada e levado à estufa com circulação e renovação de ar, a 105°C, para secagem. A solubilidade em água será calculada pela relação entre o peso do resíduo seco do sobrenadante (resíduo de evaporação) e o peso seco da amostra conforme a Equação 2.

$$SA(\%) = \frac{Resíduo\ da\ evaporação\ (g)}{Peso\ da\ amostra\ (g)} * 100 \qquad \text{Equação 02}$$

Capacidade de Formação de Gel

A capacidade de formação de gel das farinhas foi determinada de acordo com metodologia descrita por Coffmann e Garcia (12). Dispersões de concentrações variadas de

amostra (2%, 5%, 10%, 15% e 20% p/v) em 20ml de água foram preparadas em tubos graduados (50ml), aquecidos a 90°C (banho-maria) por 30 min, resfriados a temperatura ambiente e refrigerados a 4°C por 2 h. Em seguida os tubos foram invertidos e analisados quanto à formação de gel. A determinação da capacidade de gelificação é um teste qualitativo. O resultado é considerado negativo quando, ao se inverter o tubo de ensaio, a suspensão escorre pela parede do tubo e há a deposição de água. O resultado é considerado positivo, ou seja, que foi verificada a capacidade de gelificação, quando, ao se inverter o tubo, a suspensão permanece no topo sem escorrer até o fundo do tubo e não há a deposição de água. Os resultados foram expressos com base na formação de gel a partir da menor concentração da amostra.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1. mostra os valores de pH, teor de umidade, teor de cinzas e acidez titulável da farinha do mesocarpo de baru (*Dipteryx alata* Vogel).

Tabela 1 – Análisess físico-química da farinha do mesocarpo de baru

Análises	
pH	5,35 ± 0,51
Umidade (%)	10,08 ± 0,47
Teores de cinzas	6,92 ± 0,51
Acidez titulável	9,68 ± 1,68

O valor de pH da farinha do mesocarpo de baru obtido neste trabalho (5,35) foi semelhante ao relatado por Silva *et al*. (13) para a farinha do mesocarpo de baru desidratado a 60 °C (5,66).

O teor de umidade encontrado (10,08%) também se aproximou do valor descrito por Silva *et al*. (13) (10,55%), estando dentro dos limites estabelecidos pela Resolução RDC nº 263 da ANVISA (14), que determina o valor máximo de 15% (p.b.) de umidade para alimentos classificados como farinha.

O teor de cinzas obtido (6,92%) foi superior ao registrado por Silva *et al*. (13) (4,44%). Essa diferença pode estar associada a fatores como a variação na matéria-prima utilizada ou nas condições de processamento.

De acordo com a legislação vigente, o limite máximo de acidez estabelecido é de 3% para farinha de trigo comum, não havendo parâmetro específico para farinhas de frutas (15). Os resultados deste estudo indicam que a farinha do mesocarpo de baru apresenta caráter ligeiramente básico, com acidez semelhante à observada por Silva *et al*. (13), que relataram 8,61.

Os resultados das análises tecnológicas das farinhas estão representados na Tabela 2. O valor encontrado para o índice de absorção de água (IAA) para a farinha do mesocarpo de baru foi de 2,54 %. O IAA indica a integridade dos grânulos de amido e a capacidade de absorverem água quando gelatinizados. A absorção de água de farinhas é atribuída ao elevado teor de fibras normalmente encontrado em farinhas de frutas (16).

Tabela 2- Análises tecnológicas da farinha do mesocarpo de baru

Análises	
IAA (%)	2,54

IAO (%)	6,98
SA (%)	13,34
SO (%)	3,90

*Índice de absorção de água (IAA), Índice de absorção em óleo (IAO), Solubilidade em água (SA), Solubilidade em óleo (SO). Os resultados estão representados em média e desvio padrão.

O índice de absorção em óleo (IAO) da farinha do mesocarpo de baru foi de 6,98%. Segundo Dench *et al.* (17), a absorção de gordura varia em função do número de grupos hidrofóbicos expostos da proteína e da interação destes com as cadeias hidrofóbicas da gordura. Alimentos com alto índice de absorção de óleo atuam como retentores de sabor e aprimoram a sensação e o sabor dos alimentos na boca (15). Farinhas com alta capacidade de ligação de óleo pode ser usadas na indústria alimentícia para a formulação de produtos na alimentação infantil e esta propriedade é importante para proporcionar ganho de nutrientes e maiores densidades energética em alimentos (18).

A solubilidade em água encontrada neste estudo foi de 13,34% para a farinha do mesocarpo de baru e 3,90% para a solubilidade em óleo.), a solubilidade se relaciona à quantidade de sólidos solúveis na amostra. Dependendo da constituição química, da quantidade de grupos hidrofílicos e hidrofóbicos presentes na superfície, dos compostos a serem solubilizados e das interações entre as próprias biomoléculas e entre essas biomoléculas e a água. A solubilidade também pode variar de acordo com a temperatura e quantidade de açúcar nas farinhas (16).

A capacidade de formação de gel da farinha do mesocarpo de baru está apresentada na Tabela 3.

Tabela 3- Capacidade de formação de gel da farinha do mesocarpo de baru

Percentual de farinha (%)	Capacidade de formação de gel
2,5%	-
5%	-
10%	-
15%	±
20%	±

*Testes realizados em triplicata: Ausência de gelificação (–); Gel frágil (±); Gel resistente (+)

A farinha do mesocarpo de baru apresentou capacidade de formação de gel fraco a partir de 15% de concentração de amostra. A gelatinização do amido afeta a qualidade do alimento por influenciar a textura (elasticidade e maciez), digestibilidade, palatabilidade, volume e vida útil dos produtos (18). Estes resultados mostram que a farinha possui potencial de formar gel e podem ser utilizadas em preparações alimentícias de diferentes formas.

CONCLUSÕES

A farinha do mesocarpo de baru apresentou parâmetros físico-químicos dentro dos padrões estabelecidos para farinhas, destacando-se pela proximidade dos valores de pH e umidade em relação aos reportados na literatura. O teor de cinzas superior indica maior concentração de minerais, o que pode agregar valor nutricional ao produto. Além disso, os resultados tecnológicos revelaram boa capacidade de absorção de água e óleo, solubilidade

adequada e formação de gel a partir de concentrações mais elevadas, características importantes para aplicações industriais.

Dessa forma, o aproveitamento do mesocarpo de baru na forma de farinha se mostra viável e promissor, contribuindo não apenas para a diversificação de produtos alimentícios, mas também para a valorização integral do fruto, redução de resíduos e incentivo à conservação sustentável do Cerrado.

REFERÊNCIAS

1. Alencar A, Shimbo JZ, Lenti F, Marques CB, Zimbres B, Rosa M, Arruda V, Castro I, Ribeiro JPFM, Varela V, Alencar I, Piontekowski V, Ribeiro V, Bustamante MMC, Sano EE, Barroso M. Mapping three decades of changes in the Brazilian savanna native vegetation using Landsat data processed in the Google Earth Engine platform. Remote Sens. 2020;12(6):924.
2. Alves-Santos AM, Sampaio KB, Lima MS, Coelho ASG, Souza EL, Naves MMV. Chemical composition and prebiotic activity of baru (Dipteryx alata Vog.) pulp on probiotic strains and human colonic microbiota. Food Res Int. 2023;164:112366.
3. Peixoto VODS, Silva LO, Castelo-Branco VN, Torres AG. Baru (Dipteryx alata Vogel) oil extraction by supercritical-CO2: improved composition by using water as cosolvent. J Oleo Sci. 2022;71(2):201-13.
4. Azevedo VM. Baru (Dipteryx alata Voug.), the Brazilian savanna's brown gold: a scientometric analysis of investigative trend. Agrar Biol Sci. 2022;11(17).
5. Alves-Santos AM, Fernandes DC, Naves MMV. Baru (Dipteryx alata Vog.) fruit as an option of nut and pulp with advantageous nutritional and functional properties: a comprehensive review. NFS J. 2021;24:26-36.
6. Morais FA. Avaliação físico-química do baru: influência da secagem do epicarpo e mesocarpo e diferentes métodos de extração do óleo da amêndoa [dissertação]. Rio Verde: Instituto Federal Goiano, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos; 2019.
7. Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. Zenebon O, Pascuet NS, Tiglea P, coordenadores. 4ª ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz; 2008. 1ª ed. digital.
8. Marcelino G, Coleta IT, Cândido CJ, Santos EF. Caracterização e análise sensorial de cupcakes elaborados com diferentes concentrações de farinha de casca e polpa de baru (Dipteryx alata Vog.). Multitemas. 2018;23(54):265-81.
9. Costa RS. Curvas de secagem da polpa do baru (Dipteryx alata Vog.) [dissertação]. Goiânia: PUC-Goiás, Escola de Engenharia; 2021. 37 p.
10. Santos J, Borges J, Santos S, Silva R, Trichez V, Formagio ASN. Baru (Dipteryx alata): a comprehensive review of its nutritional value, functional foods, chemical composition, ethnopharmacology, pharmacological activities and benefits for human health. Braz J Biol. 2024.
11. Okezie BO, Bello AB. Physicochemical and functional properties of winged bean flour and isolate compared with soy isolate. J Food Sci. 1988;53(2):450-4.
12. Coffmann CN, Garcia VV. Functional properties and amino acid content of a protein isolate from mung bean flour. Int J Food Sci Technol. 1977;12(5):473.
13. Silva DV, Oliveira DEC, Resende O, Silva MAP, Barcelos KR. Nutritional quality of the epicarp and mesocarp flours of baru fruits submitted to drying. Rev Bras Eng Agríc Ambient. 2019;23(1):65-70.

14. Brasil. Instrução normativa nº 08, de 02 de junho de 2005. Aprova o regulamento técnico de identidade e qualidade da farinha de trigo. Diário Oficial da União. Brasília; 2005.
15. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Farinhas. Diário Oficial da União. Brasília; 1978.
16. Miri JC. Desenvolvimento de mistura para bolo com adição de farinha da casca do abacaxi (Ananas comosus L. Merril) e farinha de banana verde (Musa spp) [dissertação]. Rio Verde: Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde; 2020. 151 p.
17. Dench JE, Rivas RN, Caygill JC. Selected functional properties of sesame (Sesamun indicum L.) flour and two protein isolates. J Sci Food Agric. 1981;32(6):557-64.
18. Singh A, Sharma S. Bioactive components and functional properties of biologically activated cereal grains: a bibliographic review. Crit Rev Food Sci Nutr. 2017;57(14):3051-71.
19. Chiang BY, Johnson JA. Gelatinization of starch in extruded products. Cereal Chem. 1977;54(3):436-43.

Capítulo 18

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-18

.AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E DE TEXTURA INSTRUMENTAL DE GELEIA TIPO EXTRA DE DOVYALIS

(*Dovyalis abyssinica)*

Bárbara Soares; Isadora Rocha Ribeiro ; Ana Paula Stort Fernandes; Ellen Godinho Pinto; Wiaslan Figueiredo Martins; Fernando da Silva Costa; Dayana Silva Batista Soares*

**Dayana Silva Batista Soares - Email:dayana.soares@ifgoiano.edu.br*

Resumo: Objetivou-se elaborar geleia tipo extra a partir de frutos de dovyalis e avaliar seus parâmetros físico-químicos e perfil de textura instrumental. O rendimento de polpa foi de 68,71%, demonstrando viabilidade econômica para processamento industrial. As análises físico-químicas revelaram que a geleia apresentou redução da acidez, aumento do pH e perda parcial de vitamina C em relação à fruta in natura, mantendo-se como fonte nutricional relevante. O teor de sólidos solúveis (65 ºBrix) atendeu à legislação brasileira, garantindo qualidade e preservação do produto. Quanto à cor, observou-se redução da luminosidade (L: 30,11 para 9,55), da intensidade do vermelho (a: 14,21 para 5,82), do amarelo (b*: 23,67 para 5,23) e da saturação (C*: 27,61 para 7,82)**, indicando escurecimento e perda de vivacidade, atribuídos à degradação de pigmentos e a reações de escurecimento durante o processamento. O perfil instrumental de textura indicou firmeza (11,43 N), adesividade (52,13), elasticidade (0,02), coesividade (0,01), gomosidade (8,60) e mastigabilidade (3,36) adequadas, caracterizando a geleia como produto semi-sólido estável e sensorialmente aceitável. Os resultados indicam que a geleia de *Dovyalis abyssinica* é um produto nutritivo, seguro e promissor para a indústria alimentícia.

Palavras-chave: composição físico-química; frutas exóticas; processamento de alimentos; qualidade nutricional; textura de alimentos.

INTRODUÇÃO

Com a busca por alimentos saudáveis, observa-se o aumento do consumo de frutas frescas em todo o mundo, que se estende aos seus derivados, como às polpas, sucos, néctares, geleias. Este crescente aumento deve-se ao reconhecimento de valores nutracêuticos de frutas. Em termos globais, o consumo de frutas tropicais e exóticas está avançando cada vez mais. (1, 2).

Frutas exóticas podem ser definidas como aquelas não típicas de uma determinada região, introduzidas de outros locais e reconhecidas por atributos sensoriais diferenciados, como cor, sabor e aroma, além de apresentarem potencial nutricional e funcional relevante. Sua produção e consumo têm crescido mundialmente devido à busca por diversidade alimentar, valorização gastronômica e interesse em propriedades bioativas associadas à

promoção da saúde. No Brasil, essas frutas despertam grande interesse tanto no mercado interno quanto externo, representando uma alternativa de renda e diversificação agrícola, ao mesmo tempo em que contribuem para a inovação no setor alimentício (3;4)

A dovyalis é uma frutífera pertencente à família Salicaceae, reconhecida como espécie exótica devido à sua origem no sul da Índia e na antiga Ilha do Ceilão. Sua difusão para outras regiões do mundo ocorreu em função da elevada plasticidade adaptativa, permitindo o cultivo em diferentes ambientes e condições edafoclimáticas. No Brasil, a espécie vem sendo incorporada ao conjunto de frutíferas não convencionais, destacando-se pelo potencial de diversificação agrícola e de aproveitamento alimentar (5).

O gênero Dovyalis, tradicionalmente incluído na família Flacourtiaceae, abrange diferentes espécies, entre as quais se destacam *Dovyalis caffra*, *Dovyalis abyssinica e Dovyalis hebecarpa*. A espécie *D. abyssinica*, conhecida popularmente como mukambura, groselha-do-ceilão ou abricó-da-flórida, apresenta origem africana e caracteriza-se pela produção de frutos esféricos, suculentos e de elevada acidez, atributos que favorecem seu aproveitamento em doces, geleias e sucos. Outro aspecto marcante refere-se à coloração da epiderme, que varia do laranja ao vermelho-arroxeado, ~~aliada~~ associada à textura macia e à presença de uma fina pubescência, atributos que intensificam seu apelo sensorial (6).

A dovyalis é uma importante e valiosa fonte alimentar na dieta de vários países do mundo com potencial de impactar positivamente na segurança nutricional (7). Os frutos de dovyalis são considerados uma boa fonte de vitamina C, pois apresentam em média 120,3 por mg 100 g^{-1} de fruta fresca (8), elevada capacidade antioxidante e acidez marcante. Entre os compostos bioativos presentes, destacam-se flavonoides e antocianinas, responsáveis pela atividade antioxidante, além de compostos fenólicos e carotenoides (9,10).

De acordo com ~~a~~ Resolução n.º 272, de 22 de setembro de 2005 (11), geleias são produtos obtidos a partir de frutas, inteiras ou em partes, e/ou sementes, mediante cocção, concentração ou outros processos tecnológicos reconhecidos como seguros para a produção de alimentos. Esses produtos podem ser apresentados com ou sem líquido de cobertura e podem conter adição de açúcar, sal, temperos, especiarias ou outros ingredientes, desde que tais adições não comprometam a identidade e as características originais do alimento.

As geleias possuem grande importância na alimentação e na indústria de alimentos, pois permitem a conservação de frutas e o aproveitamento de excedentes produtivos. Além de prolongarem a vida útil, preservando características sensoriais e nutritivas, contribuem para a diversificação de produtos e agregam valor nutricional devido à presença de compostos bioativos como vitaminas, fibras e antioxidantes (12).

Objetivou-se com este trabalho elaborar geleia tipo extra de dovyalis e avaliar os parâmetros físico-químicos tanto dos frutos *in natura* como da geleia elaborada. Além de se avaliar o perfil instrumental de textura da geleia.

MATERIAL E MÉTODOS

Os frutos de *Dovyalis abyssinica*, em estádio de maturação comercial, foram adquiridos de uma produtora local da cidade de Morrinhos, Goiás, e transportados para o Laboratório de Análises Físico-Química do Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos. Os frutos foram selecionados quanto à uniformidade de tamanho, coloração e ausência de defeitos aparentes, sendo posteriormente lavados em água corrente e submetidos à sanitização em solução de hipoclorito de sódio a 200 ppm por 15 minutos.

RENDIMENTO DE POLPA

Para a determinação do rendimento da polpa, os frutos foram pesados em balança analítica e foram despolpados manualmente para a separação da casca e sementes. Tanto a polpa quanto as cascas e sementes foram pesadas separadamente, com os resultados expressos em porcentagem (%).

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Os frutos e a geleia tipo extra foram avaliados quanto a acidez titulável, pH, teor de sólidos solúveis, teor de vitamina C, teor de sólidos solúveis (ºBrix) e cor. As análises foram realizadas em triplicata, conforme a metodologia estabelecida (13).

A acidez titulável foi determinada por titulação com solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 N, utilizando fenolftaleína como indicador. A titulação foi conduzida até o aparecimento de coloração levemente rosada, persistente por aproximadamente por 30 segundos. Os resultados foram expressos em gramas de ácido cítrico por 100 g de polpa, utilizando a Equação 1.

$$Acidez\ (g\ ácido\ cítrico/100\ g\ ) = \frac{(V \times F \times M \times PM)}{10 \times P \times n} \qquad \text{Eq. (1)}$$

Em que:
V = volume de NaOH gasto na titulação (mL);
F = fator de conversão da solução de NaOH;
M = molaridade da solução de hidróxido de sódio;
PM = peso molecular do ácido correspondente em g (ácido cítrico – 192g);
P = massa da amostra (g);
n = número de hidrogênios ionizáveis (ácido cítrico – 3).

O pH foi determinado utilizando um potenciômetro digital previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0. A medida foi realizada imergindo o eletrodo em 5g de amostra diluída em 100 mL de água destilada temperatura ambiente. Já o teor de sólidos solúveis foi avaliado utilizando um refratômetro portátil calibrado com água destilada e o resultado foi registrado em graus Brix (°Brix).

A vitamina C foi quantificada pelo método de titulação com solução de iodo, baseando-se na reação do ácido ascórbico com o iodo em presença de amido como indicador. A quantidade de vitamina C foi expressa em mg por 100 g de polpa, utilizando a Equação 2.

$$Vitamina\ C\ (mg/100\ g\ ) = \frac{(V \times F \times 100)}{P} \qquad \text{Eq. (2)}$$

Em que:
V = volume de iodato gasto na titulação (mL);
F = 3,522 ou 0,3522, respectivamente para KIO3 0,02 M ou 0,002 M e P = peso (g) da amostra.

A análise de cor foi realizada em colorímetro portátil digital, previamente calibrado. As coordenadas L*, a*, b* foram obtidas por leitura direta no equipamento, com os valores de a* e b*, foram calculados o ângulo Hue (Equação 3) e o Croma (Equação 4):

$$°h = tan^{-1}(\frac{b^*}{a^*})$$ Eq. (3)

$$C^* = (a^*)^2 + (b^*)^2$$ Eq. (4)

ELABORAÇÃO DA GELEIA

A polpa de dovyalis foi extraída de forma manual, separando-se as sementes e a casca. Para a elaboração da geleia tipo extra (50% de polpa e 50% de sacarose) foram utilizados ~~utilizou-se a polpa~~, sacarose e pectina cítrica (150 SAG). Os ingredientes foram levados a cocção até atingir 65 ºBrix. Em seguida, a geléia foi envasada a quente em recipientes de vidro previamente esterilizados (100 ºC/30 min) e armazenadas sob refrigeração à 5 °C até o momento das análises.

PERFIL DE INSTRUMENTAL DE TEXTURA

Para a obtenção dos parâmetros dos perfis de textura instrumental da geleia foi empregado o teste TPA em Texturômetro TAXT plus (Stable Micro Systems) equipado com o software ExponentStable Micro Systems, com utilização do probe P/50R. No perfil de textura, os atributos estudados foram: firmeza, coesividade, adesividade, gomosidade e mastigabilidade. Os parâmetros utilizados na análise foram: velocidades pré-teste 5 mm/s, velocidade de teste de 2 mm/s, velocidade pós-teste 2 mm/s e distância de compressão 10 mm (14).

ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística dos resultados foi efetuada usando estatística descritiva (média ± desvio padrão) e a comparação entre as médias foi realizada pelo teste de t-Student (≤ 0,05) utilizando-se o programa ASSISTAT 7.7.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O rendimento da polpa de frutas é um fator de extrema importância na produção de alimentos como geleias,pois impacta diretamente a viabilidade econômica e a qualidade do produto final. Este rendimento pode variar significativamente em função de diferentes aspectos ~~dependendo de diversos fatores~~, como o grau de maturação da fruta, a variedade utilizada e o método de processamento empregado (15). No presente estudo, observou-se que a polpa representou 68,71% do total dos frutos, enquanto a casca e sementes representam 31,29%. Segundo Damiani (16) não existe um valor fixo e universal para o rendimento ideal de polpa de frutas, pois ele depende de diversos fatores, no entanto, para ser considerado economicamente viável para processamento industrial, um rendimento ~~de polpa acima~~ superior a 50% é frequentemente citado como um bom parâmetro de referência. Assim, os frutos de dovyalis podem ser considerados economicamente viáveis para aplicação como matéria-prima na indústria de alimentos.

A Tabela 1 apresenta os valores médios (± DP) dos parâmetros físico-químicos (acidez titulável, pH, teor de sólidos solúveis, vitamina C e cor) dos frutos *in natura* de dovyalis e geleia tipo extra de dovyalis.

Tabela 1 - Valores médios (± DP) das análises físico-químicos de frutos de dovyalis (*Dovyalis abyssinica*) *in natura* e geleia tipo extra de dovyalis.

Análises físico-químicas	**Frutos de dovyalis *in natura***	**Geleia tipo extra de dovyalis**
Acidez (g ácido cítrico/ 100 mL)	5,41±0,10[a*]	1,84±0,18[b]
pH	2,65±0,06[b]	2,81±0,01[a]
Sólidos solúveis (ºBrix)	5,00±0,00[b]	65,00±0,00[a]
Vitamina C (mg/ 100g)	283,14±2,16[a]	166,29±1,4[b]
L*	30,11±1,80[a]	9,55±0,94[b]
a*	14,21±0,69[a]	5,82±0,30[b]
b*	23,67±2,44[a]	5,23±0,25[b]
ºh	1,03±0,02[a]	0,73±0,02[b]
C*	27,61±2,44[a]	7,82±0,37[b]

*Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre as amostras (frutos *in natura* e geleia tipo extra) ($p \leq 0,05$) pelo teste de t-Student

As características físico-químicas de uma fruta são influenciadas por uma variedade de fatores como espécie/variedade, o estádio de maturação, as condições de cultivo e o tratamento pós-colheita, entre outros. Esses fatores atuam em conjunto, afetando a qualidade, a vida útil e as propriedades sensoriais do produto.

Observa-se uma redução na acidez e aumento do pH com o processamento da geleia. A adição de açúcar é o fator que mais contribui para a elevação do pH da geleia, pois a concentração de ácidos por volume de produto final é significativamente menor do que na polpa de fruta pura. O processamento térmico pode levar à perda de compostos voláteis, incluindo aqueles que contribuem para a acidez (17).

A legislação brasileira exige que as geleias tenham um teor mínimo de 65% de sólidos solúveis totais (medidos em °Brix), este requisito assegura a qualidade, a preservação e a segurança do produto (11). O teor de sólidos solúveis da geleia tipo extra de dovyalis (65 ºBrix) encontra-se em concordância com a legislação brasileira.

No Brasil, a ingestão diária recomendada de vitamina C para adultos é de 75 mg/dia para mulheres e 90 mg/dia para homens (18). Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa tanto a fruta *in natura* quanto as geleias de *dovyalis* podem ser consideradas fontes relevantes de vitamina C. Observa-se, entretanto, que o teor é significativamente maior na fruta in natura em comparação com a geleia. A principal razão para essa redução, segundo Lemos et al. (19) e Rotili et al. (7), está relacionada ao processo de aquecimento durante a cocção. As altas temperaturas aplicadas na produção de geleias promovem a degradação do ácido ascórbico (vitamina C), composto altamente sensível ao calor, à luz e ao oxigênio, o que explica sua redução drástica durante o processamento térmico

A luminosidade é representada pelo valor de L* podendo variar de 0 (cores escuras) a 100 (cores claras) (20;21). Pelos resultados obtidos, observa-se que a geleia tipo extra de dovyalis apresentou coloração mais escura que os frutos *in natura.* Para Rotili et al (17) o aquecimento do açúcar, especialmente em altas concentrações, pode levar a reações de escurecimento não enzimático, como a caramelização e reação de Maillard, que escurecem o produto.

A coordenadas a* representa a intensidade da cor vermelha sendo valores mais altos indicam maior presença de vermelho e menor de verde. Observa-se que os frutos in natura apresentam cor mais vermelha que a geleia. Já a coordenada b* representa da cor amarela sendo que valores mais altos indicam maior presença de amarelo e menor de azul. valor mais alto indica uma cor mais amarela e menos azul. Pelos resultados observa-se que frutos in natura apresentam cor mais amarela que a geleia. Esse fato pode ser explicado pela degradação dos carotenoides (pigmentos amarelos/alaranjados) durante o processamento (22). Além disso, a quantidade de açúcar utilizada na formulação da geleia pode diluir a concentração dos pigmentos naturais ou favorecer reações de escurecimento que mascaram a cor original da fruta (17).

Em relação a tonalidade (º hue) observa-se que as frutas *in natura* apresentam uma tonalidade mais próxima do vermelho enquanto a geleia tem uma tonalidade que se inclina mais para a amarela. O valor de Croma (C*) representa a saturação da cor, desta forma os frutos *in natura* apresentaram valores superiores aos apresentados pela geleia tipo extra de dovyalis, indicando maior intensidade e vivacidade da cor.

Os resultados do perfil instrumental de textura da geleia tipo extra de dovyalis estão representados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores médios (± DP) dos parâmetros de textura instrumental (firmeza, adesividade, coesividade, elasticidade, gomosidade e mastigabilidade) de geleia tipo extra de dovyalis.

Parâmetros de textura instrumental	**Geleia tipo extra de dovyalis**
Firmeza (N)	11,43±0,42
Adesividade	52,13±0,29
Elasticidade	0,02±0,01
Coesividade (N)	0,01±0,00
Gomosidade (N)	8,60±0,09
Mastigabilidade (J)	3,36±0,36

A textura de uma geleia depende da formação do gel, que é influenciado principalmente pela quantidade de ácido, pectina, sólidos solúveis, de umidade, acidez (ATT) e pH presentes na formulação (23;24). De acordo com Damiani et al. (25), a textura final da geleia é o resultado de dois componentes estruturais: a capacidade de gelificação e a rigidez do gel. A medição e o controle da textura são essenciais para monitorar a qualidade e garantir que o produto seja aceito pelo consumidor (26).

A firmeza é definida como sendo a força necessária para atingir uma dada deformação, no contexto da análise sensorial, representa a força necessária para comprimir o alimento entre os molares na primeira mordida. A adesividade é a representação do trabalho necessário para retirar a sonda compressiva da amostra. Já a elasticidade representa a velocidade à qual um material deformado volta ao seu estado original (27).

A coesividade é a extensão na qual o material pode ser deformado antes da ruptura. A gomosidade é a energia requerida para desintegrar um alimento até estar pronto para a deglutição (28). Segundo Curi et al. (29), a mastigabilidade é o parâmetro que representa a energia necessária para mastigar um alimento sólido ao ponto de ser ingerido

A geleia tipo extra de dovyalis apresentou aspecto gelatinoso, de consistência tal, que, quando extraídas de seus recipientes, foram capazes de manterem-se no estado semi-sólido, estando de acordo com a Resolução n° 12 do CNNPA (30).

CONCLUSÕES

Os frutos de *Dovyalis abyssinica* apresentaram elevado rendimento de polpa, evidenciando viabilidade econômica para o processamento industrial e para a utilização como matéria-prima na produção de geleias. As análises físico-químicas demonstraram que o processamento térmico, aliado à adição de sacarose, resultou em redução da acidez, aumento do pH e perda parcial de vitamina C. Ainda assim, a geleia manteve-se como fonte relevante dessa vitamina, capaz de contribuir para o atendimento das recomendações diárias de ingestão.

A geleia tipo extra apresentou teor de sólidos solúveis em conformidade com a legislação brasileira, assegurando qualidade, preservação e segurança do alimento. As alterações de cor observadas — incluindo redução da luminosidade, diminuição das tonalidades vermelha e amarela e menor saturação — foram atribuídas à degradação de pigmentos naturais e à ocorrência de reações de escurecimento não enzimático durante o processamento.

No perfil instrumental de textura, a geleia apresentou valores adequados de firmeza, adesividade, coesividade, elasticidade, gomosidade e mastigabilidade, configurando-se como um produto de consistência semi-sólida estável, sensorialmente aceitável e em conformidade com as normas do CNNPA. Esses resultados reforçam o potencial da dovyalis como matéria-prima promissora para a indústria de alimentos.

REFERÊNCIAS

1. Souza LA, Cavalcante Júnior NB, Hunaldo VKL, Santos LN, Santos LH, Costa JR. Estabilidade físico-química de néctar misto de laranja com abacaxi. Braz J Prod Eng. 2024;10(1).

2. Jacques AC, Pertuzatti PB, Barcia MT, Zambiazi RC. Compostos bioativos em pequenas frutas cultivadas na região sul do Estado do Rio Grande do Sul. Braz J Food Technol. 2009;12(2):123-7.

3. Santos MF, Lima A, Almeida SS. Frutas exóticas: potencial nutricional e aplicações na indústria de alimentos. Rev Bras Frutic. 2018;40(2):1-12.

4. Oliveira JP, Costa SC, Ferreira R. Produção e mercado de frutas exóticas no Brasil. Ciênc Rural. 2020;50(4):e20190832.

5. Rinaldi AR, Villa F, Silva DF da, Yassue RM. Stem cuttings and substrates in Dovyalis asexual propagation. Comunicata Scientiae. 2017;8(4):587-95.

6. Cavalcante IH, Martins ABG. Physical and chemical characterization of dovyalis fruits. Int J Fruit Sci. 2005;5(4):39-46.

7. Silva LR, Figueiredo AR, Barbosa MIMJ, Villa F, Morais LAS. Avaliação físico-química de compostos bioativos de frutos de groselha do Ceilão (*Dovyalis hebecarpa Warb*). In: XXII Semana Científica Johanna Dobereiner; 2022.

8. Silva JA, Grizotto RK, Miguel FB, Bárbaro IM. Caracterização físico-química de frutos de clones de dovyalis (Dovyalis abyssinica Warb). Rev Bras Frutic. 2011;33(esp):466-72.

9. Rotili MCC, Villa F, Braga GC, França DLB, Rosanelli S, Laureth JCU, Silva DF. Bioactive compounds, antioxidant and physic-chemical characteristics of the dovyalis fruit. Acta Sci Agron. 2018;40:e35465.

10. Jacques AC, Zambiazi R. Fitoquímicos em amora preta (Rubus spp.). Semina: Ciênc Agrárias. 2011;32(1):245-60.

11. Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. RDC nº 272, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico para produtos de vegetais, produtos de frutas e cogumelos comestíveis. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, Seção 1, pt I; 23 set 2005.

12. Fellows P. Food Processing Technology: Principles and Practice. 4th ed. Cambridge: Woodhead Publishing; 2017.

13. AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Analytical Chemists. 20th ed. Gaithersburg: AOAC International; 2016. 3100 p.

14. Vieira AF, Ferreira Constantino JS, de Sousa Rodrigues LM, Firmino Romão da Silva LP, Almeida RD. Avaliação físico-química e de textura instrumental de geleia mista de jabuticaba e pitanga. Rev Bras Agrotecnol. 2017;7(2):407-11.

15. Lima FM. Processamento de Frutas para a Indústria Alimentícia. Editora Agronômica; 2019.

16. Damiani AC. Tecnologia de Processamento de Frutas e Derivados. 1ª ed. São Paulo: Editora Senac; 2017.

17. Rotili MCC, Villa F, Silva DF, Rosanelli S, Braga GC, Eberling T. Nutraceutical fruit characterization, nutritional aspects and sensory analysis of dovyalis jams. Ciênc Rural. 2021;51(1).

18. Panel on Dietary Antioxidants and Related Compounds, Institute of Medicine (USA). Dietary Reference Intakes for Vitamin C, Vitamin E, Selenium, and Carotenoids. Washington (DC): National Academies Press; 2000. 5, Vitamin C.

19. Lemos DM, Rocha APT, Gouveia JPG, Oliveira ENA, Sousa EP, Silva SF. Elaboration and characterization of jabuticaba and acerola prebiotic jelly. Braz J Food Technol. 2019;22:e2018098.

20. Pereira JM, Moreira M CND, Almeida GL, Nachtigall AM, Vilas Boas BM. Elaboração e avaliação de geleia mista de caqui e morango. Tecn Ciênc Agropec. 2017;11(6):101-5.

21. Ramos EM, Gomide LAM. Avaliação objetiva da cor. In: Avaliação da qualidade de carnes: fundamentos e metodologias. Viçosa: UFV; 2007. p.287-370.

22. Mesquita KS, Borges SV, Carneiro JDS, Menezes CC, Marques GR. Quality alterations during storage of sugarfree guava jam with added prebiotics. J Food Process Preserv. 2013;37:806-13.
23. Dias CS, Borges SV, Queiroz F, Pereira PAP. Influência da temperatura sobre as alterações físicas, físico-químicas e químicas de geleia da casca de banana (Musa spp.) Cv. Prata durante o armazenamento. Rev Inst Adolfo Lutz. 2011;70(1):28-34.

24. Sousa EP, Lima DES, Costa RA, Lemos DM, Almeida RD, Costa JA. Geleia tradicional de açaí e cupuaçu: caracterização físico-química e perfil de textura. Rev GEINTEC. 2020;10(4):5715-26.

25. Damiani C, Vilas Boas EVB, Soares Junior M, Caliari M, Paula ML, Pereira EP, Silva AGM. Análise física, sensorial e microbiológica de geleias de manga formuladas com diferentes níveis de cascas em substituição à polpa. Ciênc Rural. 2008;38(5):1418-23.

26. Chen L, Opara UL. Texture measurement approaches in fresh and processed foods. Food Res Int. 2013;51(2):823-35.

27. Garrido JI, Lozano JE, Genovese DB. Effect of formulation variables on rheology, texture, colour, and acceptability of apple jelly: modelling and optimization. Food Sci Technol. 2015;62(1):325-32.

28. Tuncel NB, Yilmaz N, Kocabiyik H, Uygur A. The effect of infrared stabilized rice bran substitution on B vitamins, minerals, and phytic acid content of pan breads: part II. J Cereal Sci. 2014;59(2):162-6.

29. Curi PN, Carvalho CS, Salgado DL, Pio R, Paqual M, Souza FBM, Souza VR. Influence of different types of sugars in physalis jellies. Food Sci Technol. 2017;37(3):349-55.

30. Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária. Aprova Normas Técnicas Especiais do Estado de São Paulo, relativas a alimentos e bebidas. Resolução CNNPA nº12, de 24 jul 1978. Disponível em: http://e-legis.bvs.br/leisref/public/showAct.php

Capítulo 19

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-19

RESPOSTA DA BATATA (*Solanum tuberosum* L.) SOB DOSES DE FÓSFORO E DE SILÍCIO

César Antônio da Silva *; Paula Gabriela Justino Marques

**Autor correspondente (Corresponding author) – Email: cesar.antonio@ifgoiano.edu.br*

Resumo: A batata (*Solanum tuberosum* L.) apresenta significativa importância econômica, sendo a quarta hortaliça mais consumida no Brasil. Em virtude de sua demanda no mercado, é cultivada em diversas condições de fertilidade de solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta da batata a aplicações de silício e fósforo. O experimento foi conduzido em Itumbiara, numa área situada a aproximadamente 18°23' sul e 49°13' oeste, com altitude de 443 metros. O delineamento foi em blocos ao acaso, com quatro repetições, em esquema fatorial 2x6, sendo presença e ausência de silício via foliar a cada 10 dias e seis doses de fósforo: 0, 100, 200, 300, 400 e 500 kg ha^{-1}. As variáveis avaliadas foram o número de hastes, comprimento de hastes (mm); massa média de tubérculos (g) número de tubérculos comerciais e total, classificação dos tubérculos conforme os defeitos graves ou leves, teste de fritura, sólidos solúveis (ºbrix), massas fresca e seca de tubérculos (g). O silício não apresentou efeito significativo em nenhum parâmetro, porém quando associado ao fósforo apresentou significância a 0,05 na massa média e número de tubérculos. Os resultados demonstraram que a dose de 400 kg ha^{-1} de fósforo foi a mais eficiente, promovendo aumento médio de 2,5 hastes por planta, incremento de 5,7 mm no comprimento das hastes, elevação de 4,6 g na massa média de tubérculos e produção adicional de 26,2 tubérculos por parcela, dos quais 23,75 foram classificados como comerciais. O teor de sólidos solúveis variou de 7,2 ºBrix (100 kg ha^{-1} de P) a 4,8 ºBrix (500 kg ha^{-1} de P), evidenciando a influência direta do fósforo na qualidade. A aplicação isolada de silício não apresentou efeito significativo, embora tenha interagido com o fósforo em alguns parâmetros. Conclui-se que a adubação com 400 kg ha^{-1} de P maximiza a produtividade e a qualidade dos tubérculos, configurando-se como dose ideal para o cultivo da batata sob as condições estudadas.

Palavras–chave: adubação foliar; fosfato; silicato; tubérculos

INTRODUÇÃO

Estudos oficiais apontam que a batata é uma das hortaliças de maior importância econômica no Brasil. Nos levantamentos recentes (2023–2024), a área colhida gira em torno de 130 mil hectares, com produção anual da batata-inglesa variando de 3,4 a 4,3 milhões de toneladas, com produtividade média de 30 a 33 t ha^{-1} dependendo do ano e da safra (IBGE, 2025) (1). É uma das olerícolas mais consumidas no país, com consumo médio *per capita* anual de 16,6 kg por habitante (IGLESIAS, 2021) (2).

Goiás aparece com uma estimativa de produção de batata-inglesa em torno de 235 mil a 267 mil toneladas, com destaque para municípios do leste, como Cristalina, e do sudoeste goiano, os quais aparecem com destaque nas estatísticas de cultivo, produção e geração de empregos (IBGE Cidades, 2025) (3). Graças a novas técnicas de cultivo, como

fertilização e controle de pragas e doenças, nas últimas décadas, a produtividade de batata saiu do patamar de menos de 10 t ha^{-1} para mais de 30 t ha^{-1} nos últimos anos (EMBRAPA, 2023) (4).

Nas últimas décadas, a produtividade média registrou um aumento considerável, atribuível, entre outros fatores, à adoção de cultivares de alto rendimento, durante três períodos distintos: verão (1ª safra), outono (2ª safra) e inverno (3ª safra). Para garantir o sucesso das plantações, são necessárias práticas de adubação adequadas, pois a batata é a que requer a maior quantidade proporcional de fertilizantes por hectare, sendo o fósforo um dos principais nutrientes demandados (EMBRAPA, 2015) (5).

O fósforo é essencial em diversos processos fisiológicos vitais na cultura da batata, incluindo a fotossíntese, respiração, armazenamento e transferência de energia, divisão e desenvolvimento celular, metabolismo de carboidratos, e é componente do DNA (ROSEN et al., 2014; TAIZ et al., 2017) (6 e 7). Apesar de não ser o nutriente mais demandado, o fósforo associado ao silício pode propiciar alta produtividade e qualidade dos tubérculos (MARTINS et al., 2018) (8).

O silício (Si) não é um elemento essencial do ponto de vista fisiológico para o crescimento das plantas e ainda é pouco explorado na agricultura brasileira. Diversos estudos têm evidenciado os efeitos benéficos da sua aplicação em espécies acumuladoras como cana, arroz e milho (GONG; CHEN, 2012; VENÂNCIO, 2021; NUNES et. al., 2020) (9, 10 e 11). Plantas dicotiledôneas, geralmente classificadas como não acumuladoras, como batata (PULZ et al., 2008) (12), também têm demonstrado respostas positivas à aplicação de Si (CRUSCIOL et al., 2009) (13).

A ação positiva do silício tem promovido diversos benefícios, incluindo a maior capacidade fotossintética das plantas, o desenvolvimento de estruturas mais eretas, a diminuição da transpiração, maior resistência mecânica das células e defesa das plantas contra insetos e doenças. Quando o silício é absorvido na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4), ele é depositado e polimerizado abaixo da cutícula dos tecidos vegetais e forma uma dupla camada de sílica. (MORAES et. al.2018) (14). Além disso, atenua os efeitos tóxicos de metais pesados como manganês (Mn) e ferro (Fe), reduz os efeitos da salinidade (SHI et al., 2013) (15) e melhora a absorção e o metabolismo de elementos como o fósforo (SOUSA et al., 2010) (16).

A aplicação de silício por meio de pulverização foliar tem sido considerada uma alternativa eficaz para fornecer esse elemento às plantas, pois atende às suas demandas de silício e promove os efeitos benéficos associados (NUNES et. al., 2020; VENÂNCIO, 2021) (11 e 17).

Há uma interação entre silício e fósforo no solo, estudos indicam que, mesmo em condições de alta disponibilidade de fósforo, a aplicação de silício pode trazer benefícios para as plantas, influenciando o metabolismo do fósforo dentro da planta (MORAES et. al.2018; VENÂNCIO, 2021) (14 e 17).

Alguns estudos relatam que a aplicação de silício influencia na disponibilidade de fósforo no solo, resultando uma absorção mais eficiente pelas plantas e, consequentemente, em uma melhor qualidade de tubérculos comercializáveis, além do aumento do teor de matéria seca (PILON et al, 2014; MARTINS et al, 2018; SORATTO et al., 2019) (18, 19 e 20). Utilização de silício na cultura da batata é considerada uma alternativa viável, capaz de otimizar a eficácia da adubação fosfatada e contribuir para melhores rendimentos (SORATTO et al., 2019) (20).

Em pesquisa realizada por Sorato et al. (2012) (21), estabeleceu uma ligação entre o uso de silício e a redução de incidências de doenças e defeitos graves na produção final dos tubérculos. Consequentemente, sua aplicação pode influenciar positivamente no aumento do

teor de matéria seca, na resistência mecânica das células e na resistência a plantas invasoras, insetos e doenças, ao mesmo tempo intensificar a absorção de nutrientes como o fósforo. Com base nessas informações, o objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta da batata (*Solanum tuberosum* L.) a aplicações foliares de silício e doses de fósforo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de Itumbiara, sul de Goiás, na Horta Comunitária da Escola Municipal Juca Andrade, situada a aproximadamente 18°23' de latitude sul, 49°13' de longitude oeste, numa altitude de cerca de 443 metros.

O cultivo foi realizado a campo, com preparo de solo na forma convencional, no período de abril a setembro de 2022. A recomendação de adubação foi baseada na 5ª Aproximação para o Estado de Goiás (COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLOS DE GOIÁS, 1988) (22), conforme análises químicas de solo da área (Tabela 1).

Tabela 1 – Resultado das análises químicas e físicas do solo

M.O. g kg^{-1}	pH $CaCl_2$	P	S	K	Ca	Mg	Al	H + Al	SB	CTC	Al	Ca	Mg	K	Bases	Razão entre nutrientes		
		------mg dm^{-3}-----			----------cmol$_c$ dm^{-3}----------						---------% de Saturação----------					Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
26,8	5,2	9,1	7,4	160,3	2,2	0,9	0	4,1	4	7,6	0	29	11,8	5,4	46,1	2	5	2
B	Cu	Fe	Mn	Zn	Calcário (t ha^{-1}) p/ V%			Areia		Silte		Argila			Classe textural simplificada			
----------mg dm^{-3}----------					40	50	60	g kg^{-1}	%	g kg^{-1}	%	g kg^{-1}	%					
0,5	0,4	74	3,6	1,3	0	0,3	1,1	500	50	110	11	390	39		Argilosa			

Fonte: Laboratório Agropecuário Curitiba (Bom Jesus – GO), 19/10/2021

Para a propagação foram utilizados mini tubérculos-sementes, da variedade Markies, com aptidão para o processamento industrial. O plantio foi realizado em sulcos espaçados de 0,8 m e 0,30 m entre plantas. Cada parcela foi constituída por quatro linhas, sendo as duas linhas centrais considerada área útil. O delineamento foi em blocos ao acaso, em esquema fatorial 2x6, com quatro repetições, sendo presença e ausência de silício e seis doses de fósforo: 0, 100, 200, 300, 400 e 500 kg ha^{-1}. O fornecimento das doses de fósforo foi parcelado, sendo 80% das doses fornecidas na implantação, em 15 de maio de 2022, e 20% quando realizada a amontoa aos 60 dias após plantio.

A fonte de silício utilizada foi o produto comercial Flex Silício, fertilizante foliar a base de silicato de potássio (165,60 g L^{-1}). As aplicações de silício foram realizadas a cada 10 dias, com pulverizações de acordo com suas respectivas concentrações, iniciando uma semana após a emergência das hastes até a fase final de tuberização.

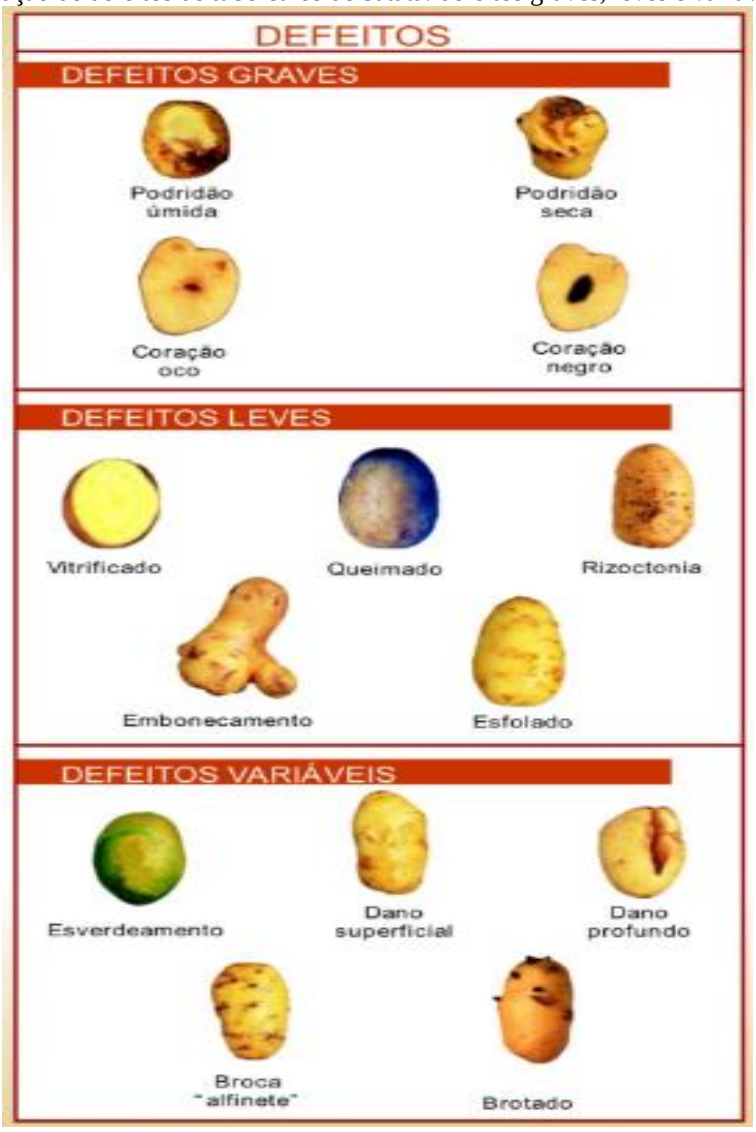
A amontoa foi realizada após 60 dias do plantio, conforme desenvolvimento da cultura, os demais tratos culturais foram plicados de acordo com a necessidade apresentada e de forma manual. A colheita foi realizada em 02 de setembro de 2022, quando as ramas secaram naturalmente.

As variáveis independentes avaliadas foram número médio de hastes por planta, comprimento de hastes principais (mm); massa média de tubérculos (g) número total de tubérculos, número de tubérculos comerciais, classificação dos tubérculos conforme a quantidade de defeitos graves ou leves, teste de fritura, sólidos solúveis (g), massa fresca de tubérculos e massa seca de tubérculos (g).

O número de hastes e comprimento de hastes principais foram avaliados em 06 de julho de 2022, na fase transitiva entre o fim da fase vegetativa e início da tuberização. A classificação de defeitos (Figura 1) foi realizada conforme Portaria 69 do Ministério da Agricultura (1995). O número de tubérculos foi contabilizado na colheita, e a massa de tubérculos comerciais obtida em balança de precisão.

Para a determinação de matéria seca dos tubérculos, foram retirados quatro tubérculos por parcela, fatiados e colocados em estufa de circulação de ar, para a obtenção de peso constante e posteriormente pesados (AOAC, 2007) (23).

Figura 1 – Classificação de defeitos de tubérculos de batata: defeitos graves, leves e variáveis.



Fonte: Meirelles, 2015.

Foram realizadas as avalições de pós colheita no laboratório do Instituto Federal Goiano, Campus Morrinhos. Para o teste de fritura foram selecionados dois tubérculos de cada tratamento, fatiados em chips e submetidos à fritura em óleo vegetal, utilizando fritadeira elétrica aquecida a 180°C por 5 minutos. Para a determinação de massa seca foram utilizados chips fatiados, pesados a massa fresca e submetidos a secagem em estufa, para determinar o percentual de massa seca. Para os sólidos solúveis (brix) foi extraído o sulco, e a sua medição realizada em refratômetro.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, pelo teste F a 5% de probabilidade. As médias oriundas dos tratamentos de silício que apresentaram diferenças significativas, foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%, enquanto as médias das doses de fósforo foram comparadas por meio de equações de regressão, utilizando o Software SISVAR (FERREIRA, 2014) (24).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação de Silício (Si) não foi significativa para nenhuma característica avaliada, porém quando associado com o fósforo foi significativo ao nível de 5% de probabilidade para as variáveis de massa média e número de tubérculos. Apesar das espécies tuberosas não serem plantas acumuladoras de silício, existem evidências de que seu fornecimento em hortaliças tuberosas, além de aumentar o seu teor e a disponibilidade de fósforo no solo, também promove a sua maior absorção de fósforo pela planta, e consequentemente, aumenta a produtividade comercial (CRUSCIOL et al., 2013; FERNANDES, 2013) (25 e 26). O fósforo aplicado teve resposta positiva em todas as características avaliadas, com exceção do número de defeitos graves e teste de fritura (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo de análises de variância de parâmetros avaliados na cultura da batata: número de hastes (NH), comprimento de hastes principais (CH), massa de tubérculos (MT), número total de tubérculos (NT), número de tubérculos comerciais (NTC), tubérculos com defeitos graves (TDG), tubérculos com defeitos leves (TDL), teste de fritura (TF), sólidos solúveis (SS), massa fresca de tubérculos (MF), massa seca de tubérculos (MS), em função da aplicação de silício e doses de fósforo. Itumbiara (GO), 2022

Causas da Variação	GL	Quadrados Médios										
		NH	CH (mm)	MT g tubérculo^{-1}	NT	NTC	TDG	TDL	TF	SS (ºBrix)	MF (g)	MS (g)
Silício (Si)	1	1,33^{NS}	1,33^{NS}	0,00^{NS}	18,75^{NS}	4,69^{NS}	0,021^{NS}	28,52^{NS}	1,02^{NS}	0,11^{NS}	0,44^{NS}	0,028^{NS}
Fósforo (P)	5	19,92**	51,35**	8,35**	447,48**	287,54**	9,9^{NS}	31,07**	1,64^{NS}	5,42**	11,21*	0,603*
Si x P	5	5,42^{NS}	1,03^{NS}	3,28**	137,55**	41,34^{NS}	5,22^{NS}	18,87^{NS}	0,87^{NS}	0,59^{NS}	1,74^{NS}	0,147^{NS}
Bloco	3	0,50^{NS}	1,86^{NS}	0,086^{NS}	6,03^{NS}	17,85^{NS}	4,08^{NS}	5,41^{NS}	1,58^{NS}	0,42^{NS}	4,29NS	0,144^{NS}
Resíduo	33	14,50	4,19	0,172	37,57	51,66	5,152	7,86	1,26	0,49	3,58	0,235
CV		14,46	4,69	11,11	10,89	23,33	117,15	89,14	46,02	11,66	17,15	18,40

GL - Graus de liberdade; ^{NS} - Não significativo pelo teste de F; ** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste de F
* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F; CV - Coeficiente de variação

Conforme a Tabela 2, houve uma interação das aplicações de silício e fósforo nas variáveis de massa média e número total de tubérculos. A dose de 400 kg ha^{-1}, que propiciou melhor desenvolvimento vegetativo das hastes das plantas, apresentou maior massa e número total de tubérculos, mesmo na ausência de silício (Tabela 3). Segundo Soratto et al. (2019) (20), apesar do silício promover alterações metabólicas, nem sempre ocasiona aumento significativo de biomassa ou produtividade dos tubérculos, enquanto a adubação fosfatada promove crescimento e rendimento.

A administração de quantidades crescentes de fósforo até 400 kg ha^{-1} resultou em maior produtividade, observada no aumento do número dos tubérculos. Mesmo o solo do experimento apresentando baixa disponibilidade de fosforo, a resposta produtiva da cultura da batata foi afetada quando se utilizam doses superiores a 400 kg ha^{-1} de P; concordando com estudos de Sausen et al. (2020) (27). Um aumento excessivo na dosagem P pode resultar em dificuldades na absorção de outros nutrientes (Tabela 3).

Tabela **3**. Massa média de tubérculos e Número Total de Tubérculos, em função da aplicação de Silício e diferentes doses de Fósforo. Itumbiara (GO), 2022

Parâmetro avaliado	Silício	Doses de fósforo (kg ha^{-1})						Média
		0	100	200	300	400	500	
Massa de tubérculos (g tubérculo^{-1})	Ausência	1,916a	3,038a	3,314b	4,075a	6,578a	3,467a	3,731
	Presença	2,401a	3,623a	4,171a	3,999a	4,041b	1,140b	3,729
DMS: 0,243 CV: 11,11	Média:	2,159	3,331	3,743	4,037	5,309	3,804	3,729

Número total de tubérculos		Ausência	44,750a	60,250a	45,750b	58,500a	71,000a	61,250a	56,917
		Presença	48,750a	46,750b	56,250a	58,000a	64,500a	59,750a	55,667
DMS: 3,600	CV: 10,89	Média:	46,750	53,500	51,000	58,250	67,750	60,500	56,292

Para cada parâmetro avaliado, médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 0,05 de significância. DMS - Diferença Mínima Significativa; CV - Coeficiente de Variação.

O fósforo (P) desempenha diversas funções relevantes na qualidade dos tubérculos de batata, influenciando a divisão celular, a síntese de amido a partir da triose fosfato via frutose-1,6-bifosfato que depende do fósforo, e seu armazenamento nos tubérculos (TAIZ et al., 2017) (7). Isso pode resultar no aumento tanto do tamanho quanto da porcentagem de matéria seca dos tubérculos (ROSEN et al., 2014) (6).

Desdobrando as interações com diferentes dosagens de fósforo, presença e ausência de silício, verificou-se que a massa média de tubérculos se ajustou ao modelo quadrático de regressão, já o número total de tubérculos foi mais significativo com a utilização da equação linear (Figura 2).

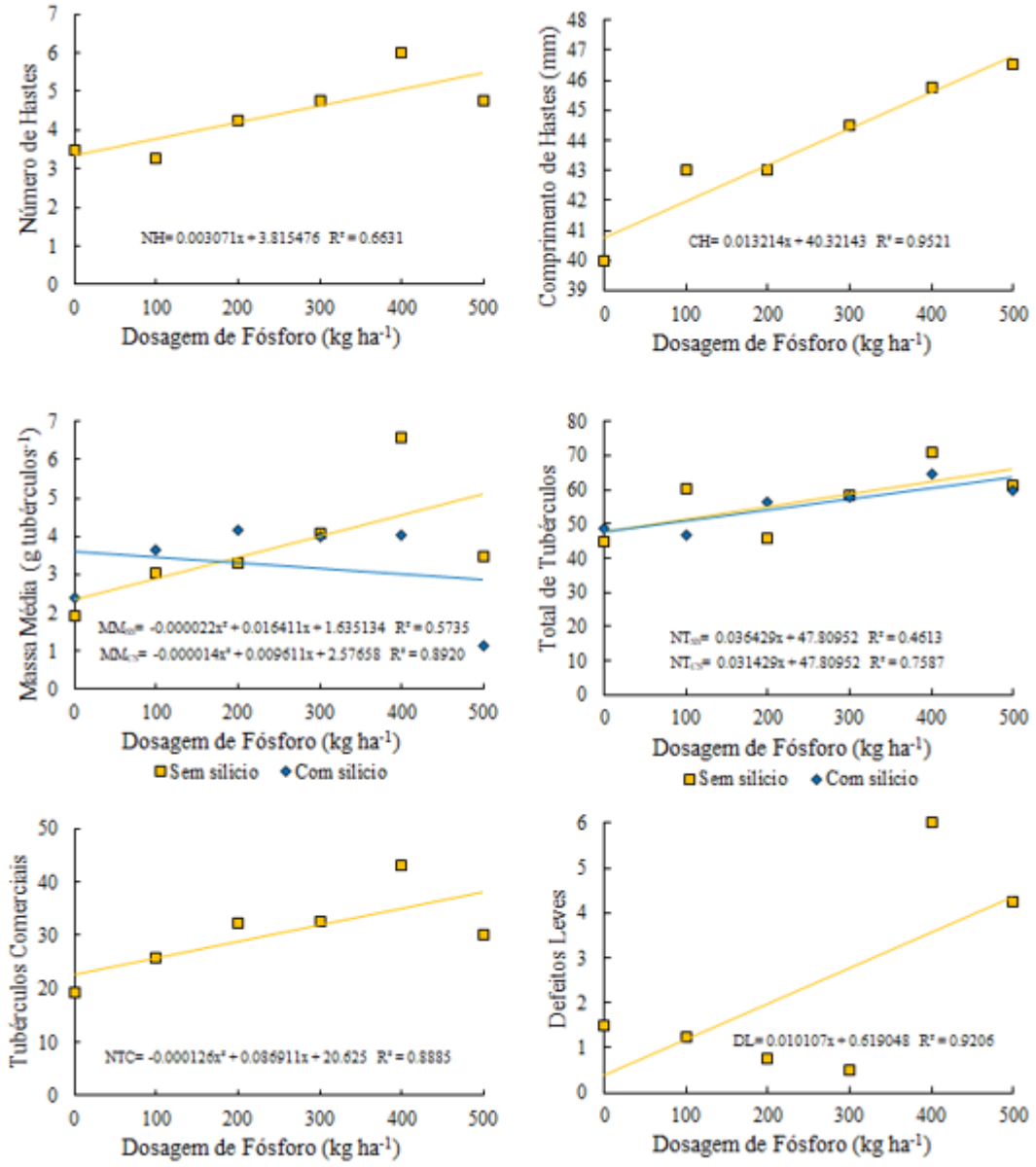
O uso do P se portou eficiente e indispensável para a cultura da batata, podendo ser observados (Figura 2) os ganhos em termos de crescimento, há uma aplicação de 400 kg ha^{-1} na Tabela 2: aumento de 2,5 hastes, 5,7 mm de comprimento, 4,6 g $tubérculos^{-1}$ na massa média, 26,2 tubérculos a mais em cada parcela, sendo destes, 23,75 selecionados como comerciais. Contudo, essa dosagem de P também propiciou fragilidade à considerar o aumento de 4,5 defeitos leves, sendo para essa condição, observada a melhor resistência à aplicação de 300 kg ha^{-1}, que resulta em 0,5 defeitos leves, com diminuição de 1,0, se comparado à testemunha, sem aplicação de P.

Em pesquisa de Fernandes et al. (2015) (28), a disponibilidade inicial de P nos solos também teve um impacto significativo na produtividade comercial, sendo que apenas em solos com menor disponibilidade inicial de P o tamanho dos tubérculos teve um efeito significativo. A resposta da batateira à adubação fosfatada é limitada em solos com considerável disponibilidade de fósforo, tornando desnecessário o uso de doses elevadas de fertilizante fosfatado nessas condições de cultivo.

Segundo Fernandes et al. (2015) (28), a adubação fosfatada tem uma influência limitada na composição nutricional e em características de qualidade dos tubérculos que poderiam afetar a qualidade final da batata frita. É possível realizar adubações fosfatadas mais criteriosas e equilibradas, aumentando a produtividade e a qualidade dos tubérculos, especialmente em solos com deficiência de fósforo. Isso não apenas reduz os custos de produção relacionados ao uso de fertilizantes, mas também minimiza os impactos ambientais decorrentes da contaminação. Desalegn et al. (2016) (29) destacaram que o aumento da disponibilidade de P resulta em maior rendimento comercial e total de tubérculos de batata. Com um suprimento adequado de P, as plantas melhoram a assimilação de CO_2, a eficiência de carboxilação e o processo fotoquímico, influenciando no ganho de biomassa (DOMINGUES et al., 2010; WARREN, 2011) (30 e 31). Estudos recentes indicam que o clone SMINIA 793101-3 não é eficiente na absorção de P em baixa concentração, mas responde eficientemente quando o nutriente é abundante (SAUSEN et al., 2020) (27).

A adição de silício via foliar no cultivo não foi viável para aumento de produção. Independentemente da ausência ou presença de silício, o fósforo promoveu resultados expressivos no número e comprimento de hastes vegetativas da batateira, promovendo maior número de tubérculos comerciais, defeitos leves, sólidos solúveis, massa fresca e massa seca de tubérculos, contudo, há diferenças nesses parâmetros quanto às aplicações de fósforo (Figuras 2 e 3).

Figura 2 – Número de hastes, comprimento de hastes principais, massa média de tubérculos, número total de tubérculos, número de tubérculos e tubérculos com defeitos leves de batata, em função da aplicação de silício e diferentes doses de fósforo. Itumbiara (GO), 2023.



O P aplicado diretamente ao solo ou disponível em solos regularmente corrigidos com adubação fosfatada influencia na qualidade dos tubérculos de batata, propiciando maior quantidade de tubérculos comerciais e menor proporção de defeitos leves até a dose de 300 kg ha^{-1}. Pesquisas recentes indicam que a adubação fosfatada pode aumentar principalmente o tamanho e os teores de amido dos tubérculos, resultando em melhorias na produtividade comercial (FERNANDES et al., 2015; FERNANDES et al., 2016a e 2016b) (28, 32 e 33).

Entretanto, observou-se efeitos positivos do P quando as doses desse nutriente ficaram entre 300 e 400 kg ha^{-1} para as características de qualidade dos tubérculos avaliadas, sendo essas as mais notáveis número de tubérculos, massa média e quantidade de tubérculos

comerciais. Com a aplicação de dosagem elevada de P, observamos decréscimo nas melhorias adicionais da qualidade dos tubérculos.

Com base nos dados observados nesta pesquisa, o silício não influenciou as características relacionadas ao número de hastes, comprimento de hastes, massa média de tubérculos, número total de tubérculos, número de tubérculos comerciais, tubérculos com defeitos graves, tubérculos com defeitos leves, teste de fritura, sólidos solúveis, massa fresca de tubérculos e massa seca de tubérculos. Também foi observado que a menor estatura de planta, foi quando houve aplicação de Si, enquanto a maior altura foi registrada com a aplicação de P.

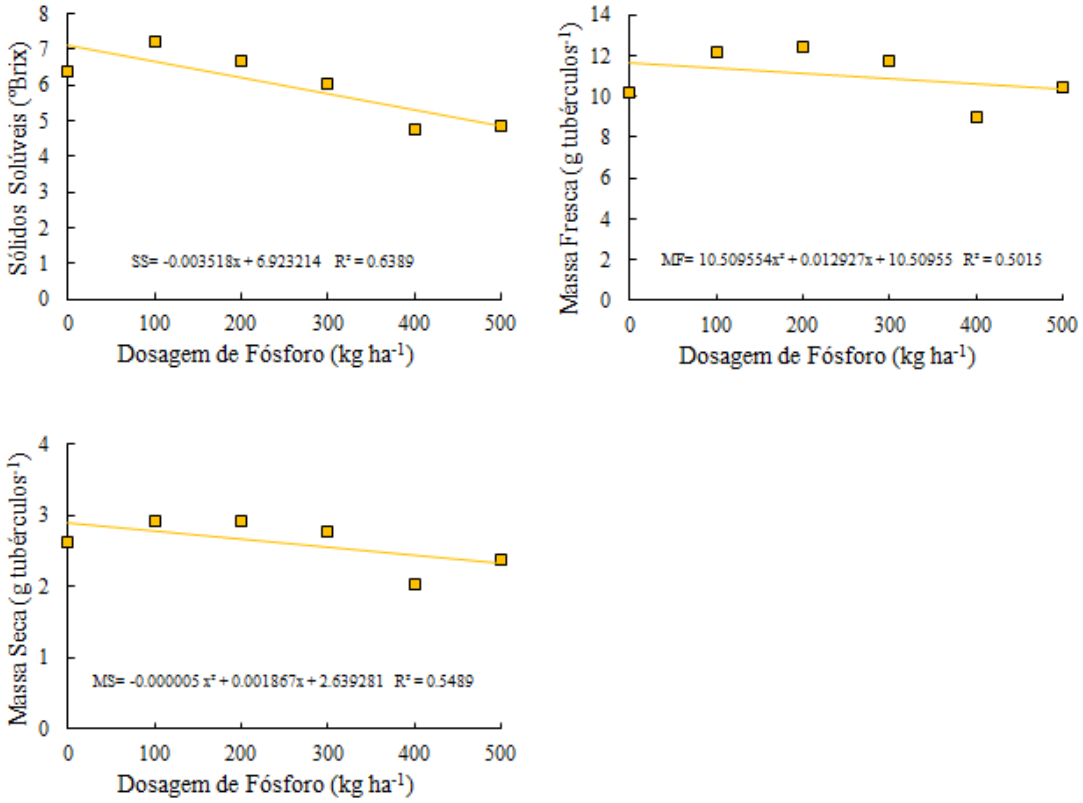
Há influência P nos fatores analisados essa interação refletiu no número de hastes, no comprimento de hastes, na matéria seca e na relação raiz/parte aérea (Figura 2). Dentre as dosagens, as concentrações de 300 e 400 kg ha^{-1} de fósforo foi que teve resultado positivo na parte aérea, indicando que o estresse decorrente da menor disponibilidade de fósforo resultou em uma redução na parte aérea em comparação com o tratamento que oferecia uma adequada disponibilidade de fósforo (Figura 2).

Balemi e Schenk (2009) (34), ao avaliarem genótipos de batata quanto à eficiência de absorção de fósforo, observaram que plantas submetidas a baixas concentrações de fósforo no solo apresentaram crescimento limitado e folhas de menor tamanho, especialmente nos materiais menos eficientes na absorção e utilização de fósforo. Esses resultados corroboram com os encontrados neste estudo. Quando cultivadas com uma disponibilidade adequada de fósforo, as batateiras apresentaram maior desenvolvimento.

Por outro lado, o excesso de fósforo também pode prejudicar a produtividade. Sausen et al. (2020) (27), em seus estudos, concluíram que mesmo em solos com baixa concentração de fósforo, a produtividade da cultura da batata foi impactada negativamente ao aplicar quantidades de fósforo superiores a 500 kg ha^{-1}.

Para sólidos solúveis (Figura 3), constituído principalmente por sacarose, o aumento das doses de fósforo reduziu o brix de 6,4º para 4,8º utilizando 500 kg ha^{-1}, sendo nessas condições recomendada a utilização de 100 kg ha^{-1}, proporcionando a melhor condição de sólidos solúveis, com uma média de 7,2 ºbrix.

Figura 3 – Sólidos solúveis, massa fresca de tubérculos e massa seca de tubérculos de batata, em função de doses de fósforo. Itumbiara (GO), 2023



Embora não exista na literatura uma relação entre °Brix e adubação com fósforo na batata, evidências sugerem que a nutrição equilibrada, incluindo o fósforo, pode melhorar a qualidade dos tubérculos, o conteúdo de matéria seca e de amido.

CONCLUSÕES

A adubação fosfatada promoveu incremento significativo na produtividade da batata, refletido no maior número e massa média de tubérculos, além do aumento expressivo na quantidade de tubérculos comerciais.

O uso de silício, embora tenha apresentado interação com o fósforo em algumas variáveis, não demonstrou efeito consistente nas condições edafoclimáticas avaliadas, não se configurando como prática viável para a cultura.

A dose de 400 kg ha^{-1} de P destacou-se como a mais eficiente, proporcionando melhor desempenho vegetativo e produtivo.

Recomenda-se que futuros estudos avaliem diferentes formas de aplicação e condições de solo para verificar o potencial do silício no cultivo da batata, de modo a ampliar o conhecimento sobre sua interação com o fósforo e seus possíveis efeitos na qualidade e produtividade da cultura.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal Goiano, Campus Morrinhos, por disponibilizar laboratório para a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

1. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção de Batata no Brasil. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA) [Internet]. [acesso em 2025 set 19]. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/batata/br

2. Iglesias R. Ingrediente essencial do prato do brasileiro, a batata enfrenta desafios no campo [Internet]. Pelotas: Revista Cultivar; 2021 [acesso em 2025 set 19]. Disponível em: https://revistacultivar.com.br/noticias/ingrediente-essencial-do-prato-do-brasileiro-a-batata-enfrenta-desafios-no-campo

3. IBGE Cidades. Goiás: Produção agrícola. Batata-inglesa: quantidade produzida (t). Dados municipais/estaduais [Internet]. [acesso em 2025 set 19]. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/pesquisa/14/10334

4. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema de Produção da Batata. 2ª ed. Versão eletrônica. Brasília: Embrapa; 2015 [acesso em 2021 jul]. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/132923/1/Sistema-de-Producao-daBatata.pdf

5. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema de Produção da Batata. Brasília: Embrapa; 2015.

6. Rosen CJ, Kelling KA, Stark JC, Porter GA. Optimizing phosphorus fertilizer management in potato production. Am J Potato Res. 2014;91:145-60.

7. Taiz L, Zeiger E, Moller IM, Murphy A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2017.

8. Martins F, et al. Influência do fósforo e silício na batata. Londrina: Editora UEL; 2018.

9. Gong HJ, Chen KM. The regulatory role of silicon on water relations, photosynthetic gas exchange, and carboxylation activities of wheat leaves in field drought conditions. Acta Physiol Plant. 2012;33:1-6.

10. Venâncio L. Uso de silício na agricultura brasileira. Recife: UFPE; 2021.

11. Nunes R, et al. Efeitos do silício em plantas dicotiledôneas. São Paulo: Editora USP; 2020.

12. Pulz AL, Crusciol CAC, Lemos LB, Soratto RP. Influência de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade da batata sob deficiência hídrica. Rev Bras Ci Solo. 2008;32:1651-9.

13. Crusciol CAC, Pulz AL, Lemos LB, Soratto RP, Lima GPP. Effects of silicon and drought stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato. Crop Sci. 2009;49:949-54.

14. Moraes ER, Reis AC, Silva NEP, Ferreira M, Menezes FG. Nutrientes no solo e produção de quiabo conforme doses de silicato de cálcio e magnésio. Rev Agric Neotrop. 2018;5(1):60-5. doi:10.32404/rean.v5i1.2097

15. Shi Y, Wang Y, Flores TJ, Gong H. O silício diminui o transporte de cloreto em arroz (Oryza sativa L.) em condições salinas. J Plant Physiol. 2013;170:847-53. doi:10.1016/j.jplph.2013.01.018

16. Sousa JV, Rodrigues CR, Luz JMQ, Sousa VBF, Carvalho PC, Rodrigues TM, Brito CH. Silicato de potássio via foliar no milho: fotossíntese, crescimento e produtividade. Biosci J. 2010;26:502-13.

17. Venâncio JB. Produção, morfofisiologia e qualidade de cebola sob salinidade e aplicação de silício [tese]. Mossoró: Universidade Federal Rural do Semi-Árido; 2021 [acesso em 2023 out]. Disponível em: https://ppgfito.ufersa.edu.br/wp-content/uploads/sites/222/2021/12/TESE-JEFFERSON-FITOTECNIA-versao-BIBLIOTECA.pdf

18. Pilon C, Soratto RP, Broetto F, Fernandes AM. Foliar or soil applications of silicon alleviate water-deficit stress of potato plants. Agron J. 2014;106(6):2325-34.

19. Martins JDL, Soratto RP, Fernandes AM, Dias PHM. Phosphorus fertilization and soil texture affect potato yield. Rev Caatinga. 2018;31(3):541-50. doi:10.1590/1983-21252018v31n302rc

20. Soratto RP, Fernandes AM, Pilon C, Souza MR. Phosphorus and silicon effects on growth, yield, and phosphorus forms in potato plants. J Plant Nutr. 2019;42:218-33.

21. Soratto RP, Fernandes AM, Crusciol CAC, Souza-Schlick GD. Produtividade, qualidade de tubérculos e incidência de doenças em batata, influenciados pela aplicação foliar de silício. Pesq Agropec Bras. 2012;47:1000-6.

22. Comissão de Fertilidade de Solos de Goiás. Recomendações de corretivos e fertilizantes para Goiás. 5ª aproximação. Goiânia: UFG/EMGOPA; 1988.

23. AOAC International. AOAC International. 18th ed. Gaithersburg; 2007.

24. Ferreira DF. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. Ciênc Agrotec. 2014;38(2):109-12.

25. Crusciol CAC, Soratto RP, Castro GSA, Costa CHM, Ferrarineto J. Aplicação foliar de ácido silícico estabilizado na soja, feijão e amendoim. Rev Ciênc Agron. 2013;44(2):404-10.

26. Fernandes AM. Adubação fosfatada em cultivares de batata (Solanum tuberosum L.) [tese]. Botucatu: Universidade Estadual Paulista; 2013.

27. Sausen D, Carvalho IR, Farias JG, Dorneles AOS, Pereira AS. Use and response to phosphorus by potato clones in two cropping systems. Biosci J. 2020;36(6):2041-9. doi:10.14393/BJ-v36n6a2020-48194

28. Fernandes AM, Soratto RP, Pilon C. Soil phosphorus increases dry matter and nutrient accumulation and allocation in potato cultivars. Am J Potato Res. 2015;92(1):117-27.

29. Desalegn R, Wakene T, Dawit M, Tolessa T. Effects of nitrogen and phosphorus fertilizer levels on yield and yield components of Irish potato (Solanum tuberosum) at Bule Hora District, Eastern Guji Zone, Southern Ethiopia. Int J Agric Econ. 2016;1:71-7.

30. Domingues TF, Meir P, Feldpausch TR, Saiz G, Veenendaal EM, Schrodt F, et al. Co-limitation of photosynthetic capacity by nitrogen and phosphorus in West Africa woodlands. Plant Cell Environ. 2010;33:959-80. doi:10.1111/j.1365-3040.2010.02119.x

31. Warren CR. How does P affect photosynthesis and metabolite profiles of Eucalyptus globulus? Tree Physiol. 2011;31:727-39. doi:10.1093/treephys/tpr064

32. Fernandes AM, Soratto RP, Evangelista RM, Job AL. Influência do fósforo na qualidade e produtividade de tubérculos de cultivares de batata de duplo propósito. Hortic Bras. 2016a;34:346-55.

33. Fernandes AM, Soratto RP. Response of potato cultivars to phosphate fertilization in tropical soils with different phosphorus availabilities. Potato Res. 2016b;59(3):259-78.

34. Balemi T, Schenk MK. Genotypic variation of potato for phosphorus efficiency and quantification of phosphorus uptake with respect to root characteristics. J Plant Nutr Soil Sci. 2009;172(5):669-77.

35. Meirelles JC. Batata (Solanum tuberosum L.). In: CEAGESP – Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo. Normas de classificação de batata [Internet]. São Paulo; 2015 [acesso em 2025 set 19]. Disponível em: https://ceagesp.gov.br/wp-content/uploads/2015/07/batata.pdf

Capítulo 20

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-20

O FOGO NO CERRADO GOIANO: REVISÃO DOS IMPACTOS ECOLÓGICOS E ESTRATÉGIAS DE MANEJO INTEGRADO

Lidiane Machado Dionizio*; Valeska Cristina de Sousa Silva de Assis; Matheus Carneiro Heinzelmann; Natália Veleda Duailibe; Renato Dusmon Vieira; Flivia Fernandes de Jesus Souza; Ademilson Coneglian

*lidiane.dionizio@aluno.ueg.br

Resumo: O fogo é um fator ecológico intrínseco à formação e manutenção do Cerrado, atuando como um agente de seleção natural que moldou a biodiversidade do bioma ao longo de milênoios. No entanto, mudanças no regime de fogo, principalmente devido à ação antrópica, têm alterado sua função, transformando-o de fator ecológico em agente de degradação. Esta revisão de literatura tem como objetivo sintetizar os conhecimentos científicos sobre os efeitos do fogo nos componentes bióticos e abióticos do Cerrado goiano. A análise da literatura demonstra que a resposta do ecossistema é fortemente influenciada pela frequência, intensidade e sazonalidade das queimadas. Enquanto o fogo prescrito em regimes adequados pode manter a aberta das fitofisionomias e estimular a rebrota e floração de diversas espécies. Incêndios frequentes e de alta intensidade na estação seca promovem a simplificação da vegetação, perda de biodiversidade, alterações negativas nas propriedades do solo e ameaçam os recursos hídricos, especialmente nas veredas. Conclui-se que a implementação do Manejo Integrado do Fogo (MIF) emerge como uma estratégia crucial para a conservação do Cerrado em Goiás, necessitando, contudo, de mais pesquisas de longa duração para aprimorar suas práticas no contexto do Cerrado Goiano.

Palavras–chave: degradação ambiental; goiás; manejo integrado do fogo; queima prescrita; regime de incêndios

INTRODUÇÃO

O bioma Cerrado, que ocupa cerca de 22% do território nacional, é reconhecido como a savana tropical mais biodiversa do mundo e um *hotspot* de biodiversidade global (1). Sua importância ecológica transcende as fronteiras brasileiras, desempenhando funções cruciais na regulação do clima continental, na manutenção de vastos reservatórios de águas subterrâneas que abastecem importantes bacias hidrográficas - como as do Araguaia-Tocantins, São Francisco e Paraná-Paraguai - e na conservação de um patrimônio genético incalculável, com elevado grau de endemismo (2). O estado de Goiás constitui uma das porções mais significativas e representativas do Domínio do Cerrado, abrigando em seus mais de 340 mil km² de extensão um mosaico complexo de fitofisionomias, que variam desde formações abertas como campos limpos e sujos, passando pelo cerrado *stricto sensu*, até formações florestais como matas de galeria e matas secas, intercaladas por veredas, estes últimos, ambientes que funcionam como verdadeiros oásis e corredores ecológicos na paisagem savânica (3).

A relevância do Cerrado goiano não se restringe à sua dimensão ecológica, mas estende-se à esfera socioeconômica. O bioma sustenta uma das atividades agropecuárias mais relevantes do país, sendo simultaneamente palco de tensões entre a conservação ambiental e a expansão do agronegócio (4). Esta dinâmica tem resultado em uma acelerada fragmentação de habitats, isolando remanescentes de vegetação nativa e tornando-os mais vulneráveis a distúrbios antrópicos, entre os quais se destacam os incêndios florestais (5). Neste contexto, compreender os fatores que moldam a resiliência e a estabilidade desse ecossistema torna-se necessário não apenas para a conservação da biodiversidade, mas também para a sustentabilidade das atividades humanas que dele dependem (6).

Intrinsecamente associado à evolução, à estrutura e ao funcionamento desse ecossistema, o fogo emerge como um fator ecológico fundamental e paradoxal. Por um lado, evidências paleoecológicas e biogeográficas indicam que o fogo, seja de origem natural (como raios) ou manejado por povos indígenas há milênios, foi um agente de seleção natural que moldou a fisionomia, a composição de espécies e os processos ecológicos do Cerrado (7). A flora nativa desenvolveu um notável arsenal de adaptações a este distúrbio, incluindo espessamentos suberosos no caule, sistemas radiculares profundos e massivos (xilopódios), gemas de rebrota localizadas abaixo da superfície do solo, serotinia (liberação de sementes induzida pelo calor) e até mesmo *pirophily* (estímulo à floração pós-fogo) (8). Estas adaptações não apenas permitem a sobrevivência e a rápida recuperação após a passagem do fogo, mas, em muitos casos, demonstram uma dependência direta dele para a quebra de dormência de sementes, liberação de nutrientes e controle de competidores. O regime de fogo natural historicamente predominante é caracterizado por queimadas de baixa intensidade que ocorrem predominantemente no fim da estação seca, frequentemente precedidas por chuvas esparsas que umedecem o ambiente e impedem que o fogo assuma proporções catastróficas (9).

Por outro lado, as profundas transformações antrópicas impostas à paisagem do Cerrado, especialmente nas últimas cinco décadas, têm alterado drasticamente este regime natural. A substituição da vegetação nativa por extensos monocultivos e pastagens, a construção de rodovias e o aumento da densidade populacional fragmentaram a paisagem e introduziram novas fontes de ignição, muitas vezes de origem negligente ou criminosa (10). Concomitantemente, a política de supressão total do fogo, outrora vigente, paradoxalmente contribuiu para o acúmulo excessivo de biomassa combustível em remanescentes preservados (11). A conjunção destes fatores resultou na substituição do regime de fogo natural por um novo regime, marcado por incêndios frequentes, extensos, de alta intensidade e concentrados no pico da estação seca, quando a vegetação se encontra mais vulnerável. Esta transformação converte o fogo, de um fator ecológico necessário e benéfico, em um agente de degradação, capaz de provocar perdas irreparáveis de biodiversidade, alterações negativas nas propriedades do solo, assoreamento de corpos d'água e a degradação de ecossistemas sensíveis, como as veredas (12).

O problema dos incêndios florestais é uma questão crítica em todo o território nacional, embora sua distribuição seja heterogênea entre os diferentes biomas. Dados recentes do programa TerraBrasilis/INPE (2025) mostram que, no período de 01 de janeiro a 18 de setembro de 2025 (13), o bioma Cerrado foi responsável por 49.8% de todos os focos de calor detectados no país, liderando ranking e destacando a urgência de estudos e políticas de manejo específicas para esta região (Figura 1). Este trabalho concentra-se justamente na porção goiana deste bioma, que constitui uma de suas áreas nucleares mais significativas e pressionadas.

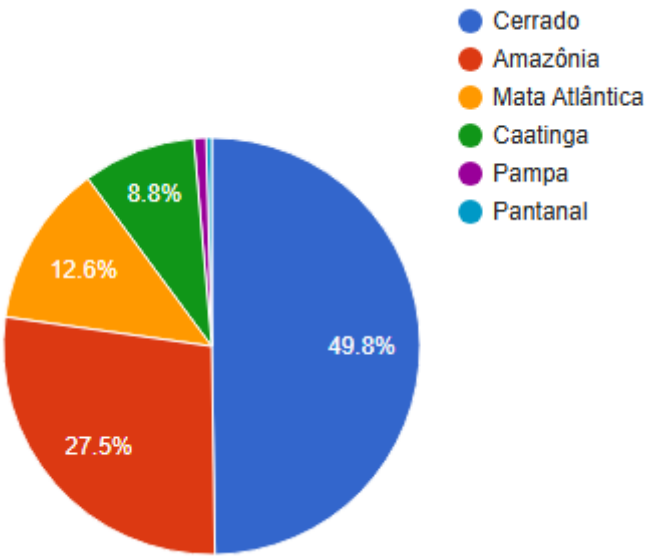


Figura 1. Distribuição percentual dos focos de calor por bioma no Brasil no período de 01/01/2025 a 18/09/2025. Fonte: TerraBrasilis/INPE (2025).

No contexto científico, esta revisão justifica-se pela necessidade de compilar, organizar e analisar criticamente as evidências específicas para a porção goiana do Cerrado. As respostas ecológicas ao fogo não são universais, pois elas variam regionalmente em função de diferenças edafoclimáticas, históricas de uso do solo e da composição específica de cada comunidade (14). Portanto, generalizações baseadas em estudos de outras regiões do bioma podem ser imprecisas ou mesmo enganosas. Um panorama detalhado do estado da arte para Goiás é fundamental para identificar lacunas de conhecimento, direcionar futuras pesquisas e evitar a transferência acrítica de modelos de manejo desenvolvidos em contextos ecológicos e socioeconômicos distintos.

Tecnológica e ambientalmente, este trabalho adquire relevância prática ao aspirar a fornecer subsídios fundamentais e baseados em evidências científicas sólidas para a elaboração de políticas públicas, planos de manejo de Unidades de Conservação, protocolos de prevenção e combate a incêndios, e programas de restauração ecológica. A adoção de práticas de manejo integrado do fogo, notadamente (MIF), deixa de ser uma opção e transforma-se numa necessidade urgente frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas, que projetam um futuro com estações secas mais prolongadas e severas, potencializando o risco de incêndios incontroláveis (15). É precisamente na complexa interface entre o fogo como força ecológica moldadora e o fogo como vetor de degradação antrópica que se insere esta revisão de literatura. Seu objetivo central é sintetizar e analisar criticamente o conhecimento científico existente sobre os efeitos do fogo no Cerrado goiano, investigando seus impactos multidimensionais e contrastantes nos componentes bióticos (vegetação e fauna) e abióticos (solo, água e atmosfera) do ecossistema. Desse modo, esta revisão posiciona-se como uma ferramenta crucial para fundamentar decisões que visem à conservação efetiva e ao uso sustentável desse patrimônio natural, assegurando a perpetuidade de seus serviços ecossistêmicos essenciais para as presentes e futuras gerações.

O CERRADO GOIANO: CARACTERIZAÇÃO E PRESSÕES

O estado de Goiás situa-se integralmente no domínio do bioma Cerrado, abrigando aproximadamente 97% de seu território recoberto por esta formação savânica, considerada

a mais biodiversa do mundo em sua categoria (1). Esta unidade federativa constitui um dos principais núcleos de diversidade biológica e concentração de espécies endêmicas do bioma, posicionando-se como área prioritária para estratégias de conservação (2).

O território goiano apresenta um complexo mosaico de fitofisionomias, seguindo um gradiente edáfico e topográfico que varia desde formações campestres abertas (campos limpos e sujos), passando pelas savânicas típicas (cerrado stricto sensu), até as florestais (matas de galeria, matas secas e matas ciliares), todas intrincadamente conectadas por veredas, ambientes palmáceos úmidos dominados por *Mauritia flexuosa* L. f., os buritis, que funcionam como corredores ecológicos essenciais e reservatórios de água para a manutenção da biodiversidade regional (3, 17).

A notável heterogeneidade ambiental goiana sustenta diversidade florística, estimando-se a ocorrência de mais de 3.000 espécies de plantas vasculares, das quais aproximadamente 15% são endêmicas do bioma (18). A fauna igualmente se destaca pela riqueza, com registros de mais de 200 espécies de mamíferos, 800 espécies de aves e 300 espécies de peixes, muitas delas dependentes exclusivamente dos ambientes de vereda para sua sobrevivência (19, 20).

Esta notável riqueza ecológica, no entanto, enfrenta pressões antrópicas. A expansão acelerada do agronegócio, notadamente da soja, do milho e da pecuária extensiva, tem sido o principal motor de transformação da paisagem natural (4). Dados recentes do Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES) indicam que Goiás perdeu aproximadamente 28% de sua cobertura vegetal nativa nas últimas três décadas, com taxas anuais de desmatamento variando entre 0,8% e 1,2% (21).

Este processo de transformação territorial resulta em uma intensa fragmentação de habitats, onde os remanescentes de vegetação nativa são convertidos em ilhas isoladas em um mar de monoculturas e pastagens (5). Estudos de sensoriamento remoto demonstram que mais de 60% dos fragmentos remanescentes possuem área inferior a 50 hectares e com distância de mais de 500 metros de outros fragmentos, configurando um cenário crítico de isolamento (22). Este padrão de fragmentação torna as unidades de conservação particularmente vulneráveis aos efeitos de borda, à perda de diversidade genética e, crucialmente, a incêndios de grande proporção (6).

O acúmulo de biomassa seca no interior dos fragmentos isolados, associado à sua exposição a fontes de ignição provenientes das atividades agropecuárias vizinhas, cria um cenário de alto risco (10). Análises temporais de séries históricas de incêndios demonstram que a frequência de ocorrência de queimadas em fragmentos menores que 100 hectares é três vezes superior à observada em áreas contínuas (22). Adicionalmente, a conectividade entre as matrizes agrícolas altamente inflamáveis durante o período seco facilita a propagação rápida do fogo, transformando incêndios pontuais em eventos catastróficos de grandes proporções (23).

A fragmentação habitat e mudanças climáticas globais amplifica ainda mais esta vulnerabilidade. Modelos climáticos projetam para a região centro-oeste um aumento na temperatura média de 2-3°C e uma redução de 15-20% na precipitação anual até 2050, condições que potencializam o risco de incêndios severos e frequentes (15). Este cenário coloca em risco não apenas a biodiversidade, mas também os serviços ecossistêmicos essenciais prestados pelo Cerrado goiano, incluindo a regulação hídrica de bacias críticas como a do Araguaia-Tocantins e a manutenção de estoques de carbono equivalentes a mais de 30 bilhões de toneladas (24, 25).

O FOGO COMO FATOR ECOLÓGICO

A flora do Cerrado apresenta adaptações ecológicas especializadas ao regime de fogo, que vão além das já mencionadas cascas grossas e suberosas, sistemas radiculares profundos e gemas de rebrota localizadas abaixo do solo (xilopódios). Essas adaptações incluem:

- **Bancos de gemas subterrâneas (*below-ground bud banks*)**, que abrigam gemas protegidas no solo ou em órgãos radiculares especializados, com reservas de carboidratos que permitem rebrota rápida após danos causados pelo fogo. Estudos com espécies de Fabaceae do Cerrado mostram que os xilopódios e outros órgãos subterrâneos acumulam substâncias de reserva e têm importância funcional crítica para a regeneração pós-fogo (26).

- **Proteção das gemas e estruturas aéreas**: além de gemas subterrâneas, muitas espécies possuem gemas protegidas por casca espessa, tricomas ou pelos que cobrem brotações vulneráveis, o que diminui o dano térmico durante o evento de fogo (27).

- **Crescimento rápido e escape do "*fire trap*"**: árvores ou arbustos que crescem mais rapidamente conseguem atingir alturas ou diâmetros nos quais suas partes vitais ficam acima da zona de chama intensa, favorecendo sua sobrevivência (28).

- **Estrutura da casca (espessura e propriedades isolantes)**: cascas espessas e densas atuam como isolamento térmico que protege tecidos do calor e as gemas do dano direto (29).

A notável resiliência da flora do Cerrado ao fogo é resultado de um longo processo evolutivo, que selecionou um diversificado arsenal de adaptações morfológicas, fisiológicas e reprodutivas. Estas características permitem não apenas a sobrevivência individual à passagem das chamas, mas também a rápida recuperação da comunidade vegetal e a manutenção dos processos ecológicos. A tabela a seguir sintetiza os principais tipos de adaptações ao fogo identificadas na vegetação do Cerrado, ilustrando a sofisticação deste mecanismo de coevolução entre planta e distúrbio.

Tabela 1. Principais adaptações da flora do Cerrado goiano ao regime de fogo natural.

Tipo de Adaptação	Descrição	Exemplo de Espécie
Proteção de Gemas	Gemas localizadas abaixo do solo (xilopódios) ou protegidas por casca espessa	Espécies de *Fabaceae*
Isolamento Térmico	Casca espessa e suberosa que protege os tecidos vitais do calor	*Caryocar brasiliense* A.St.-Hil. (Pequi), *Tachigali paniculata* Aubl. (carvoeiro) e *Cecropia pachystachya* Trécul (embaúba)
Estímulo Reprodutivo	Floração ou liberação de sementes induzida pelo calor (serotinia/pirofilia)	*Anadenanthera peregrina* L. Speg. (Angico)
Rebrota Rápida	Bancos de gemas subterrâneas com reservas de carboidratos	Gramíneas nativas

O conjunto de adaptações apresentado evidencia que o fogo é um agente seletivo intrínseco à história evolutiva do Cerrado. No entanto, é crucial destacar que a eficácia destas estratégias de sobrevivência está intrinsecamente ligada a um regime de fogo específico, caracterizado por baixa intensidade e intervalos espaçados. Quando este regime natural é alterado para incêndios frequentes e de alta intensidade, mesmo essas notáveis adaptações podem ser sobrepujadas, levando à mortalidade de plantas e à degradação do ecossistema, como detalhado na seção anterior. Portanto, a existência de espécies piroadaptadas não justifica a passividade perante os incêndios descontrolados, mas sim reforça a necessidade de um manejo que respeite a ecologia do fogo para o qual estas espécies foram selecionadas.

REGIME NATURAL DE FOGO NO CERRADO

O regime de fogo natural no Cerrado, antes da intensa intervenção humana, é caracterizado por queimadas de baixa a moderada intensidade, que ocorrem tipicamente no fim da estação seca ou nas transições seca-chuvas, e que são desencadeadas muitas vezes por raios (30). Esse regime inclui:

- Intervalos de retorno relativamente espaçados, normalmente de 3 a 8 anos para formações abertas do Cerrado, embora haja variação dependendo da vegetação, topografia e clima local (31).
- Ocorrência sazonal: os incêndios naturais tendem a se dar no fim da estação seca, quando há grande acúmulo de material combustível (gramíneas secas, matéria orgânica morta), mas ainda alguma umidade residual, reduzindo o risco de chamas muito intensas (30).
- Influência climática: a severidade do fogo aumenta quando a umidade residual do solo e da vegetação é muito baixa, especialmente no auge da estação seca (32).

COEVOLUÇÃO E IMPORTÂNCIA ECOLÓGICA

As adaptações apontadas na seção anterior apontam para uma coevolução entre plantas do Cerrado e o distúrbio incêndio ao longo de milhões de anos. Várias linhagens distintas do Cerrado desenvolveram independentemente adaptações como xilopódios, cascas espessas, formas geoxílicas e brotação a partir de gemas protegidas, indicando forte pressão seletiva imposta pelo fogo (33).

Do ponto de vista ecológico, o fogo natural desempenha múltiplas funções: A manutenção da biodiversidade, de maneira que queimadas regulares impedem o fechamento das copas, mantêm espaços para gramíneas e herbáceas e favorecem espécies adaptadas ao fogo (34), o controle de encobrimento florestal: impede que arbustos e árvores dominantes tomem conta de formações de savana, garantindo o mosaico típico Cerrado-veredas-cerradão (35) e a ciclagem de nutrientes, pois fogo altera a dinâmica do solo e da matéria orgânica, influenciando disponibilidade de fósforo, nitrogênio e outros elementos.

ALTERAÇÕES NO REGIME DE FOGO E CONSEQUÊNCIAS

Nas últimas décadas, o regime de fogo natural do Cerrado tem sido alterado por ações humanas, com:

- **Aumento da frequência de queimadas** em algumas regiões, especialmente pela prática de fogo tardio na estação seca, o que pode elevar a intensidade das chamas e aumentar a mortalidade de árvores (7, 11).
- **Queimadas fora da época natural**, especialmente no fim da seca, quando os combustíveis estão extremamente secos, elevando o risco de incêndios mais severos (36).
- **Políticas de exclusão do fogo (“zero-fire”)** que, embora bem intencionadas, em muitos casos têm levado ao acúmulo de material combustível, resultando em incêndios extremos quando ocorrem (6).

Essas mudanças implicam riscos de perda de resiliência dos ecossistemas, diminuição de espécies adaptadas ao regime histórico de fogo, aumento de espécies invasoras, alterações no ciclo de nutrientes e possível promoção de transições de formação vegetal.

EFEITOS DO REGIME DE FOGO NA VEGETAÇÃO DO CERRADO

Estudos ecológicos de longa duração realizados em Unidades de Conservação goianas, como o Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, demonstram que a resposta estrutural e funcional da vegetação é diretamente e complexamente influenciada pela história de fogo do local, compreendida a partir de seu regime de fogo (frequência, intensidade, época e extensão) (10). A relação entre o fogo e a flora do Cerrado é dialética: enquanto muitas espécies evoluíram com adaptações para suportar e até depender do fogo (pirofitismo), o regime imposto pela atividade humana frequentemente difere daquele sob o qual estas espécies se adaptaram, podendo levar a alterações profundas e potencialmente degradantes no ecossistema (8, 11).

De um lado, o uso do fogo como ferramenta de manejo, na forma de queimadas prescritas realizadas em intervalos plurianuais (por exemplo, a cada 3 a 5 anos), tende a mimetizar os regimes naturais históricos. Essa prática é reconhecida por favorecer a diversidade de espécies herbáceas e subarbustivas, além de manter a fisionomia aberta típica dos cerrados *stricto sensu*. O fogo de baixa intensidade e baixa frequência remove a matéria orgânica morta, recicla nutrientes e cria clareiras que permitem a germinação de sementes e a rebrota de diversas espécies, promovendo assim a heterogeneidade ambiental e a biodiversidade (14, 37).

Em contrapartida, incêndios anuais ou bianuais, comuns em áreas de interface com zonas agrícolas onde o fogo é utilizado para limpeza de pastagens ou restolhos de lavoura, representam um regime de distúrbio frequente e de alta intensidade. Este cenário leva a uma drástica simplificação da comunidade vegetal. A seleção contínua favorece a dominância de poucas espécies pirófitas altamente especializadas, como algumas gramíneas do gênero *Melinis* e *Urochloa*, que formam um denso tapete inflamável e positivo para o fogo, criando um ciclo vicioso de queimadas (10, 6). Ecologicamente, esse regime resulta na redução crítica da biomassa aérea, na depleção dos bancos de sementes do solo e na alteração dos ciclos biogeoquímicos.

Um dos impactos mais severos é a impedição da reprodução e do recrutamento de espécies arbóreas de crescimento lento, que são a base estrutural das fisionomias mais florestais do bioma, como o cerradão. Espécies como o pequi (*Caryocar brasiliense*), símbolo do Cerrado e de imensa importância socioeconômica e cultural para o estado de Goiás, além de outras como *Tachigali paniculata* (carvoeiro) e *Cecropia pachystachya* (embaúba), são particularmente vulneráveis. Essas espécies, com suas cascas grossas, são adaptadas a resistir a fogos ocasionais, mas seu sucesso reprodutivo é comprometido por incêndios frequentes, que consomem suas plântulas e jovens antes que estas atinjam um tamanho resistente ao fogo (38), (56). A perda de tais espécies não só empobrece a biodiversidade, mas também impacta diretamente a fauna que delas depende e as comunidades humanas que utilizam seus frutos para subsistência e geração de renda.

Portanto, a gestão do fogo em áreas protegidas do Cerrado deve ser pautada pelo entendimento científico de que o fogo não é inerentemente bom ou mau, mas um agente ecológico cujos efeitos são determinados pelo seu regime. A implementação de programas de Queima Prescrita, baseados em pesquisas locais, surge como a estratégia mais adequada para conciliar a conservação da biodiversidade característica das savanas com a necessidade de se evitar grandes incêndios catastróficos (14, 11).

A resposta do ecossistema do Cerrado ao fogo não é uniforme, mas profundamente influenciada pelo regime de incêndios um conceito que engloba a frequência, a intensidade e a sazonalidade com que o fogo ocorre. Como demonstrado ao longo desta revisão, a mesma força ecológica que mantém a biodiversidade e a estrutura da savana sob parâmetros naturais pode se tornar um agente de degradação quando esse regime é alterado pela ação antrópica. Para sintetizar e contrastar claramente esses efeitos antagônicos, a Tabela 1 apresenta um comparativo sistemático dos impactos gerados por um regime de fogo prescrito, de baixa intensidade, frente aos danos causados por incêndios frequentes e de alta intensidade.

Tabela 2. Dualidade do fogo no Cerrado: impactos contrastantes do manejo prescrito versus incêndios frequentes.

Característica	Fogo Prescrito (Baixa Intensidade, Baixa Frequência)	Incêndios Frequentes (Alta Intensidade)
Efeito na Biodiversidade	Mantém ou aumenta a diversidade de herbáceas e subarbustos	Simplifica a comunidade, favorece gramíneas pirófitas
Estrutura da Vegetação	Mantém a fisionomia aberta típica do Cerrado	Promove a degradação, impede recrutamento de árvores
Ciclagem de Nutrientes	Recicla nutrientes de forma equilibrada	Volatiliza nutrientes (N, S), empobrece o solo
Impacto no Solo	Menor impacto erosivo	Exposição do solo, selamento superficial, erosão
Resposta da Fauna	Cria mosaicos de habitat, menos mortalidade direta	Alta mortalidade direta e perda de habitat

Como fica evidente na Tabela 1, a dicotomia entre os regimes de fogo é absoluta. Enquanto o manejo prescrito, ao mimetizar os parâmetros naturais, sustenta a integridade ecológica e a resiliência do bioma, os incêndios frequentes e de alta intensidade desencadeiam um ciclo vicioso de degradação. Este ciclo se caracteriza pela perda de biodiversidade, empobrecimento do solo e aumento progressivo da inflamabilidade da paisagem. Portanto, a escolha da estratégia de manejo não é meramente operacional, mas sim uma decisão fundamental que define se o fogo atuará como um force restaurador ou como um agente de destruição no Cerrado. Essa compreensão é crucial para embasar as políticas públicas e as práticas de conservação abordadas na sequência deste trabalho.

IMPACTOS DO FOGO NA FAUNA SILVESTRE DO CERRADO

Os impactos do fogo sobre a fauna silvestre do Cerrado goiano são complexos, heterogêneos e variam significativamente conforme o grupo taxonômico, o regime de fogo e a escala da paisagem (39, 40). A resposta da fauna à passagem do fogo vai desde a mortalidade direta e a perda de habitat até a criação de oportunidades ecológicas para espécies generalistas e oportunistas.

Em curto prazo, incêndios de alta intensidade e extensão territorial representam uma catástrofe ecológica para a maioria das espécies. Podem causar mortalidade direta de indivíduos, especialmente daquelas com menor mobilidade ou que empregam estratégias de criprose (permanecem imóveis para se camuflar). Este é o caso de muitos anfíbios, répteis, filhotes de aves em ninhos no chão (como a codorna *Nothura maculosa*) e mamíferos de pequeno porte (41, 42, 43). A fuga para tocas subterrâneas ou para microhabitats úmidos,

como cursos d'água, é uma estratégia de sobrevivência crucial, mas sua eficácia depende da velocidade de propagação e da intensidade do calor liberado pelo fogo (44).

Os impactos indiretos, porém, são frequentemente mais duradouros e igualmente severos. A perda abrupta da cobertura vegetal elimina abrigos essenciais contra predadores e intempéries, expondo a fauna a um estresse fisiológico e a um risco de predação exponencialmente maior (45).

A grande maioria das espécies, especialmente aquelas mais especializadas e com requerimentos de habitat mais específicos, os efeitos são profundamente negativos. Para mamíferos de médio e grande porte, como o tamanduá-bandeira (*Myrmecophaga tridactyla*) e o lobo-guará (*Chrysocyon brachyurus*), a passagem do fogo fragmenta ainda mais seus já extensos territórios (42). Estes animais podem ficar isolados em pequenas manchas remanescentes de habitat não-queimado, o que impacta diretamente sua capacidade de forrageamento, dispersão, busca por parceiros reprodutivos e, consequentemente, sua viabilidade populacional em longo prazo. A perda da vegetação do sub-bosque, por exemplo, reduz drasticamente a disponibilidade de cupinzeiros e formigueiros, principal fonte de alimento do tamanduá-bandeira (42).

A entomofauna é um grupo particularmente afetado, sofrendo altas taxas de mortalidade direta. Incêndios frequentes levam a uma simplificação da comunidade de artrópodes, reduzindo a abundância e a diversidade de polinizadorese decompositores, o que tem efeitos em cascata sobre a regeneração da vegetação e a produtividade do ecossistema (45). Portanto, a gestão do fogo em paisagens do Cerrado deve considerar não apenas a vegetação, mas também a manutenção de refúgios permanentes (como matas de galeria e capões de mata não passíveis de queima) que permitam a sobrevivência da fauna durante e após os eventos de fogo, assegurando a conservação da biodiversidade animal em sua totalidade.

ALTERAÇÕES NO SOLO E RECURSOS HÍDRICOS

O fogo, especialmente os incêndios de alta intensidade e frequência elevada, atua como um agente de transformação radical das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, com consequências diretas e indiretas para os recursos hídricos do Cerrado. As alterações são imediatas e podem perdurar por longos períodos, comprometendo a funcionalidade do ecossistema.

Quimicamente, a combustão da serapilheira e da matéria orgânica do solo provoca a volatilização de nutrientes, com destaque para o Nitrogênio (N) e o Enxofre (S), que são perdidos para a atmosfera (46, 47). Embora haja um aumento de curto prazo na disponibilidade de outros nutrientes, como Cálcio, Magnésio e Potássio, que ficam temporariamente na forma de cinzas, este efeito é fugaz. As cinzas são altamente susceptíveis à remoção pela água da chuva ou pelo vento, podendo levar, paradoxalmente, a um empobrecimento químico do solo em médio e longo prazo (48).

Fisicamente, a destruição da cobertura vegetal e da camada de serapilheira deixa o solo diretamente exposto aos agentes erosivos. A chuva impacta a superfície do solo desprotegido, causando o selamento superficial (formação de uma crosta) que reduz a infiltração de água. Este processo amplifica o escoamento superficial, acelerando a erosão hídrica e a lixiviação dos poucos nutrientes remanescentes (49). O assoreamento de corpos d'água é uma consequência direta, levando ao rebaixamento do nível dos rios, ao aumento da turbidez da água e à degradação de habitats aquáticos.

Biologicamente, o calor intenso altera drasticamente a microbiota do solo. Comunidades de fungos micorrízicos e bactérias decompositoras, essenciais para a ciclagem

de nutrientes e a saúde das plantas, são severamente reduzidas, alterando a dinâmica de decomposição e a disponibilidade de nutrientes para a vegetação em rebrota (50).

O impacto é exponencialmente mais crítico e frequentemente irreversível nos ecossistemas úmidos, como as veredas. Estas fitofisionomias, caracterizadas pelo solo turfoso (orgânico) e pelo lençol freático superficial, evoluíram sob regime de fogo naturalmente raro. Incêndios que atingem essas áreas consomem a palha de buriti (*Mauritia flexuosa*) e a matéria orgânica do solo, que é o próprio substrato da vereda (3). A combustão dessa matéria orgânica seca o solo turfoso, causa um rebaixamento do lençol freático e pode, literalmente, cavar buracos no solo (pipocas), degradando irreversivelmente as nascentes (51). A recuperação desses ambientes é extremamente lenta, quando possível, representando uma perda crítica de serviços ecossistêmicos, especialmente a regulação hídrica e a provisão de água para as bacias hidrográficas da região (51).

MANEJO INTEGRADO DO FOGO (MIF): UMA ALTERNATIVA BASEADA NA ECOLOGIA

Diante do desafio crescente de conciliar a ecologia do fogo do Cerrado, um bioma evolutivamente adaptado às queimadas, com a prevenção de incêndios catastróficos de grandes proporções, o paradigma de combate puro e simples tem se mostrado insuficiente e, por vezes, contraproducente. Neste contexto, o Manejo Integrado do Fogo (MIF) surge como uma estratégia inovadora e robusta, fundamentada entre o conhecimento ecológico tradicional (especialmente de povos e comunidades tradicionais) e o conhecimento científico mais recente (11).

Diferentemente da política de "fogo zero", o MIF reconhece o fogo como um processo ecológico essencial e busca utilizá-lo de forma planejada e estratégica como uma ferramenta de gestão territorial. O cerne da estratégia consiste na execução de queimas prescritas no início da estação seca (geralmente entre maio e junho), quando a vegetação ainda apresenta umidade relativa e as condições meteorológicas são mais amenas (52). Estas queimas são conduzidas com parâmetros rigorosamente controlados (umidade do combustível, velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar) para garantir que o fogo seja de baixa intensidade e se comporte de forma previsível (53).

A fim de reduzir de forma estratégica a carga de combustível fino (biomassa herbácea e serapilheira) que é o principal propulsor de incêndios de alta intensidade e criar uma rede de aceiros naturais ou áreas queimadas que fragmentam a paisagem combustível, funcionando como barreiras que impedem ou dificultam a propagação de grandes incêndios no período crítico, mais seco e quente, da estação seca (julho a setembro) (12).

Para o estado de Goiás, a implementação e ampliação do MIF são urgentes e estratégicas. Isso requer a capacitação de brigadas especializadas, a criação de um marco legal estadual que apoie e regulamente a prática, e o fortalecimento de acordos de cooperação entre gestores de Unidades de Conservação, órgãos ambientais, bombeiros, universidades, proprietários rurais e comunidades tradicionais (54). A adoção do MIF representa uma transição de um modelo puramente reativo de combate a incêndios para um modelo proativo de gestão do fogo, essencial para a conservação do Cerrado goiano frente às mudanças climáticas.

DISCUSSÃO

A literatura revisada evidencia a dualidade intrínseca do fogo no Cerrado goiano: um elemento ecológico necessário e benéfico sob um regime controlado de baixa frequência e intensidade, mas um agente de devastação e degradação sob o regime atual de incêndios frequentes, extensos e de alta intensidade (10). O consenso científico atual aponta que a

maior ameaça à integridade do bioma não é o fogo em si, mas a alteração antropogênica de seu regime natural, substituindo o ciclo natural de queimadas por um ciclo de incêndios destrutivos (11).

Os dados compilados demonstram que esta mudança no regime de fogo desencadeia uma cascata de impactos negativos interconectados. A degradação da vegetação, com a simplificação da comunidade e a supressão de espécies-chave como o pequi, o carvoeiro e a embaúba estão diretamente ligados à perda de habitat e ao declínio da fauna que perde abrigo e recursos alimentares. Por sua vez, a perda da cobertura vegetal é o fator desencadeante imediato para a degradação do solo e a alteração do regime hidrológico, criando um ciclo vicioso de empobrecimento ecológico onde ecossistemas mais degradados se tornam ainda mais inflamáveis (55).

A interação entre o fogo e a vegetação do Cerrado pode ser compreendida como um sistema dinâmico que opera a partir de dois ciclos com *feedback*s opostos. Estes ciclos, um virtuoso e outro vicioso, ilustram de maneira clara como as práticas de manejo influenciam diretamente a estabilidade ecológica do bioma. A Figura 1 abaixo representa graficamente esses dois caminhos, sintetizando a relação crítica entre a intervenção humana e o comportamento do fogo na paisagem.

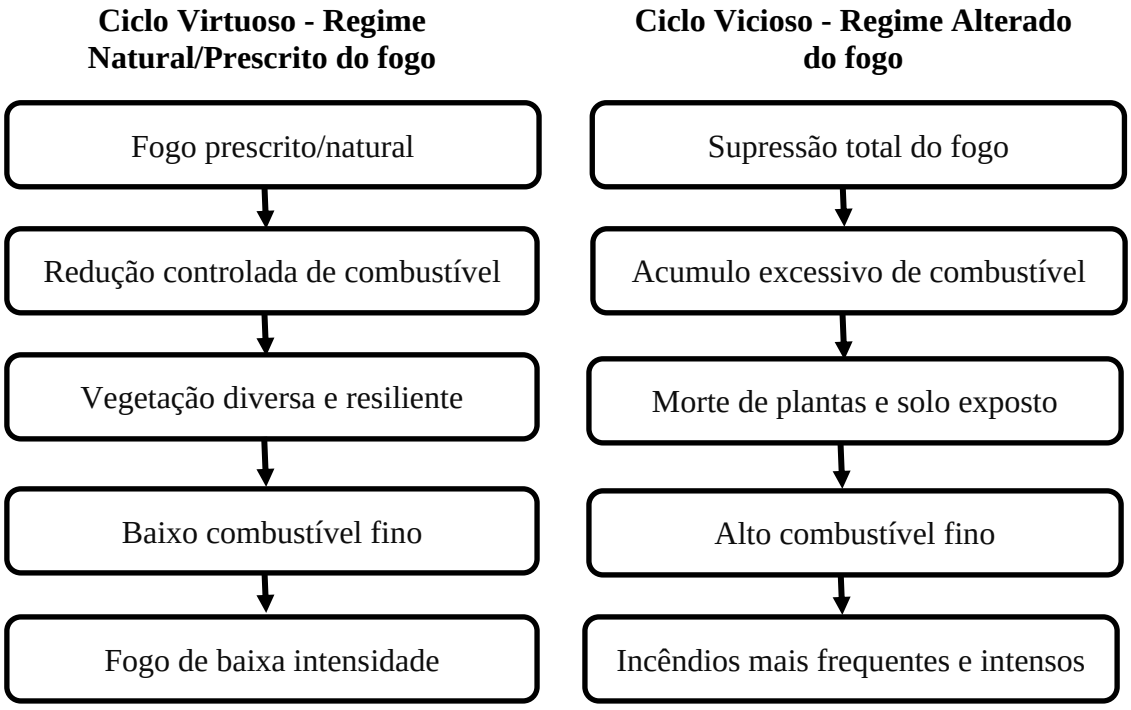


Figura 1. Diagrama dos ciclos de *feedback* do fogo no Cerrado: o ciclo virtuoso - regime natural/prescrito do fogo e o ciclo vicioso regime alterado do fogo resultante da supressão total do fogo e dos incêndios frequentes.

Como demonstrado no diagrama, a supressão total do fogo, uma estratégia aparentemente intuitiva, desencadeia um processo autossustentado de degradação. A acumulação de biomassa combustível cria as condições ideais para incêndios de alta intensidade, que, por sua vez, causam mortalidade generalizada da vegetação nativa e expõem o solo. Este cenário favorece a colonização por gramíneas invasoras altamente inflamáveis, que formam um tapete contínuo de combustível fino, fechando o ciclo vicioso e aumentando ainda mais a frequência e a severidade dos incêndios. Romper este ciclo negativo exige uma mudança de paradigma realizando-se a adoção do MIF, que busca

intervir de forma estratégica no sistema para restabelecer o ciclo virtuoso, utilizando o fogo controlado como uma ferramenta ecológica a serviço da conservação.

Neste contexto, a estratégia MIF, apresenta-se não como uma mera alternativa operacional, mas como uma necessidade para a conservação. Ela representa a transição de uma visão simplista de supressão total do fogo para uma abordagem ecologicamente fundamentada de gestão do território, utilizando o fogo como uma ferramenta a serviço da manutenção da biodiversidade e da prevenção de catástrofes (12). As experiências bem-sucedidas em outras regiões do Cerrado fornecem um modelo validado que precisa ser urgentemente adaptado e implementado nas paisagens goianas.

Contudo, a implementação eficaz do MIF e o avanço do conhecimento sobre a ecologia do fogo esbarram em lacunas de conhecimento críticas. Primeiramente, há uma escassez significativa de estudos de longa duração (*long-term*) que monitorem a recuperação ecológica pós-fogo em diferentes contextos goianos (ex.: cerrado *stricto sensu*, cerradão, veredas) e sob diferentes regimes de queima prescrita. Esses estudos são essenciais para calibrar os protocolos de manejo, definindo com maior precisão os intervalos ideais entre queimas para cada fitofisionomia (3).

Em segundo lugar, é preciso investigar os efeitos do fogo com outras ameaças globais, um campo de pesquisa ainda incipiente. Como as mudanças climáticas, com o aumento da temperatura e a alteração dos padrões de chuva, irão influenciar a inflamabilidade e a recuperação da vegetação do Cerrado? De que forma a invasão de gramíneas exóticas, como *Urochloa* e *Melinis*, que criam um combustível fino e contínuo, intensifica a severidade dos incêndios e dificulta a regeneração da flora nativa? (10), (6). Responder a estas questões é fundamental para desenvolver estratégias de manejo adaptativo, capazes de enfrentar os desafios futuros e garantir a resiliência do Cerrado goiano.

CONCLUSÃO

Conclui-se que os efeitos do fogo no Cerrado goiano exigem uma abordagem de manejo sofisticada que vá além da simples supressão. A proibição total do fogo mostrou-se uma estratégia falha, pois leva ao acúmulo de biomassa combustível e a incêndios subsequentemente mais destrutivos. Portanto, a adoção do MIF, aliada a políticas públicas robustas, monitoramento científico contínuo e envolvimento das comunidades locais, é o caminho mais promissor para garantir a perpetuidade da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos prestados pelo Cerrado em Goiás. Pesquisas futuras devem focar em gerar parâmetros específicos para o manejo do fogo nas diferentes fitofisionomias e contextos socioecológicos do Cerrado goiano.

AGRADECIMENTOS

Universidade Estadual de Goiás- Campus Sul Unidade Universitária Ipameri.

REFERÊNCIAS

1. MYERS N, MITTERMEIER RA, MITTERMEIER CG, DA FONSECA GAB, KENT J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature. 2000;403(6772):853-8.
2. KLINK CA, MACHADO RB. Conservation of the Brazilian Cerrado. Conserv Biol. 2005;19(3):707-13.
3. RIBEIRO JF, WALTER BMT. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO SM, ALMEIDA SP, RIBEIRO JF, editores. Cerrado: ecologia e flora. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; 2008. p. 151-212.

4. SPERA SA, COHN AS, VANWEY LK, MUSTARD JF, RUDORFF BF, RISSO J, et al. Recent cropping frequency, expansion, and abandonment in Mato Grosso, Brazil had selective land characteristics. Environ Res Lett. 2014;9(6):064010.
5. SILVA JMC, BATES JM. Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: a tropical savanna hotspot. Bioscience. 2002;52(3):225-34.
6. DURIGAN G, RATTER JA. The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. J Appl Ecol. 2016;53(1):11-5.
7. COUTINHO LM. Fire in the ecology of the Brazilian cerrado. In: GOLDAMMER JG, editor. Fire in the tropical biota. Berlin: Springer; 1990. p. 82-105.
8. SIMON MF, GRETHER R, DE QUEIROZ LP, SKEMA C, PENNINGTON RT, HUGHES CE. Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. Proc Natl Acad Sci U S A. 2009;106(48):20359-64.
9. MIRANDA HS, SATO MN, NETO WN, AIRES FS. Fires in the cerrado, the Brazilian savanna. In: COCHRANE MA, editor. Tropical fire ecology: climate change, land use, and ecosystem dynamics. Heidelberg: Springer-Praxis; 2009. p. 427-50.
10. PIVELLO VR. The use of fire in the Cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: past and present. Fire Ecol. 2011;7(1):24-39.
11. SCHMIDT IB, ELOY L, PEREIRA AA, SANTOS PA, SANTOS RM, SANTOS RO, et al. Fire management in the Brazilian savanna: first steps and the way forward. J Appl Ecol. 2018;55(5):2094-101.
12. ELOY L, BILBAO BA, MISTRY J, SCHMIDT IB. From fire suppression to fire management: advances and resistances to changes in fire policy in the savannas of Brazil and Venezuela. Geogr J. 2019;185(1):10-22.
13. FIDELIS A, ZIRONDA E. How does the fire regime change after creating a protected area in the Brazilian Cerrado? J Nat Conserv. 2021;64:126068.
14. TerraBrasilis. Plataforma de análise de dados São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); 2025. Disponível em: Programa Queimadas • INPE
15. MARENGO JA, TORRES RR, ALVES LM. Drought in Northeast Brazil: past, present, and future. Theor Appl Climatol. 2017;129(3-4):1189-200.
16. OLIVEIRA-FILHO AT, RATTER JA. Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado biome. In: OLIVEIRA PS, MARQUIS RJ, editors. The Cerrados of Brazil: Ecology and natural history of a neotropical savanna. New York: Columbia University Press; 2002. p. 91-120.
17. MENDONÇA RC, FELFILI JM, WALTER BMT, SILVA JÚNIOR MC, REZENDE AV, FILGUEIRAS TS, et al. Flora vascular do bioma Cerrado: checklist com 12.356 espécies. In: SANO SM, ALMEIDA SP, RIBEIRO JF, editores. Cerrado: ecologia e flora. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; 2008. p. 421-1279.
18. MARINHO-FILHO J, RODRIGUES FHG, JUAREZ KM. The Cerrado mammals: diversity, ecology, and natural history. In: OLIVEIRA PS, MARQUIS RJ, editors. The Cerrados of Brazil: Ecology and natural history of a neotropical savanna. New York: Columbia University Press; 2002. p. 266-84.
19. SILVA JMC. Birds of the Cerrado region, South America. Steenstrupia. 1995; 21:69-92.
20. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Relatório Anual do Desmatamento no Cerrado 2020-2021. Brasília: MMA; 2021.
21. BRANNSTROM C, JOHANNS W, LEI RM, OLIVEIRA W, BROWN JC. Land change in the Brazilian Savanna (Cerrado), 1986-2002: Comparative analysis and implications for land-use policy. Land Use Policy. 2008;25(4):579-95.
22. FRANÇA H, RAMOS-NETO MB, SETZER A. O fogo no Parque Nacional das Emas: primeiro ano de monitoramento. In: MIRANDA HS, organizador. Efeitos do regime do fogo

sobre a estrutura de comunidades de cerrado: resultados do Projeto Fogo. Brasília: IBAMA; 2010. p. 44-53.
23. HOFFMANN WA, ADASME R, HARIDASAN M, DE CARVALHO MT, GEIGER EL, PEREIRA MAB, et al. Tree topkill, not mortality, governs the dynamics of savanna-forest boundaries under frequent fire in central Brazil. Ecology. 2009;90(5):1326-37.
24. BUSTAMANTE MMC, NOBRE CA, SMERALDI R, AGUIAR APD, BARIONI LG, FERREIRA LG, et al. Estimating greenhouse gas emissions from cattle raising in Brazil. Clim Change. 2012;115(3-4):559-77.
25. BUSTAMANTE MMC, ROITMAN I, AIDE TM, ALENCAR A, ANDERSON LO, ARAGÃO L, et al. Toward an integrated monitoring framework to assess the effects of tropical forest degradation and recovery on carbon stocks and biodiversity. Glob Chang Biol. 2016;22(1):92-109.
26. LEAL AS, OLIVEIRA DM, CARVALHO TS, PEREIRA EG, FIGUEIREDO CC. Belowground systems in tropical savanna: Fabaceae morphoanatomical traits and their relation to fire. Plant Biol (Stuttg). 2024;26(7):1118-30.
27. CHIMINAZZO MA, ALVARADO ST, TAMASHIRO JY, BORGES FLG, BARROS MF, FRANCO AC. Your best buds are worth protecting: variation in bud protection in a fire-prone cerrado system. Funct Ecol. 2021;35(11):2424-34.
28. CLARKE PJ, LAWDES MD, DOWNEY PO, FIRE AND PLANT INVASIONS. Resprouting as a key functional trait: how buds, protection and resources drive persistence after fire. New Phytol. 2013;197(1):19-35.
29. DE CASTRO MM, KUSTER VC. Estrutura da casca de espécies do Cerrado e sua relação com o fogo. In: Resumos do 61º Congresso Nacional de Botânica; 2010; Manaus, AM. Manaus: Sociedade Botânica do Brasil; 2010.
30. SCHMIDT IB. Aprendendo a conviver com o fogo: o Manejo Integrado do Fogo (MIF) no Brasil. Biodiversidade Bras. 2018;8(1):51-9.
31. RAMOS-NETO MB, PIVELLO VR. Lightning fires in a Brazilian savanna national park: rethinking management strategies. Environ Manage. 2000;26(6):675-84.
32. GOVENDER N, TROLLOPE WSW, VAN WILGEN BW. The effect of fire season, fire frequency, rainfall and management on fire intensity in savanna vegetation in South Africa. J Appl Ecol. 2006;43(4):748-58.
33. SIMON MF, PENNINGTON T. Evidence for adaptation to fire regimes in the tropical savannas of the Brazilian Cerrado. Int J Plant Sci. 2012;173(6):711-23.
34. HOFFMANN WA, FRANCO AC. Comparative growth analysis of tropical forest and savanna woody plants using phylogenetically independent contrasts. J Ecol. 2003;91(3):475-84.
35. OLIVEIRA PS, MARQUIS RJ, editors. The Cerrados of Brazil: Ecology and natural history of a neotropical savanna. New York: Columbia University Press; 2002.
36. NEPSTAD DC, MOREIRA AG, ALENCAR AA. Flames in the rain forest: origins, impacts and alternatives to Amazonian fire. Brasília: The World Bank; 2004.
37. FIDELIS A, PIVELLO VR. Deve-se usar o fogo como instrumento de manejo no Cerrado e Campos Sulinos? Biodiversidade Bras. 2011;1(2):12-25.
38. FRANÇOSO RD, HAIDAR RF, MACHADO RB. Tree species of South America central savanna: endemism, marginal areas and the relationship with other biomes. Acta Bot Bras. 2016;30(1):78-86.
39. GOMES BF. Efeitos diretos e indiretos do fogo sobre pequenos vertebrados de áreas campestres [tese]. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2024.
40. NETO RJT. Manejo de pastagem com o uso do fogo em unidade de conservação de uso sustentável no Cerrado: estudo comparativo entre a RDS Veredas do Acari (MG) e a APA

Nascentes do Rio Vermelho (GO) [dissertação]. Goiânia: Universidade Federal de Goiás; 2014.
41. BATISTA EKL, BAUMANN J, BRISCHADT F, FRIZZO TLM, MENDONÇA AF, RIBEIRO BR, et al. Em caso de incêndio, fuga ou morte: uma abordagem baseada em características para identificar espécies animais ameaçadas pelo fogo. Fogo. 2023;6(6):242.
42. MACHADO RB, AGUIAR LMS, LOURIVAL R, FONSECA GAB. Impact of wildfires on the megafauna of Emas National Park, central Brazil. Oryx. 2020;54(2):232-9.
43. REIS MG, FIEKER CZ, DIAS MM. The influence of fire on the assemblage structure of foraging birds in grasslands of the Serra da Canastra National Park, Brazil. An Acad Bras Cienc. 2016;88(2):891-901.
44. RIBEIRO ACC, SILVA DP, DINIZ FILHO JAF, MACEDO RH, BASTOS RP, VIEIRA L, et al. The effect of catastrophic fire on the structure of animal metacommunities in a Cerrado landscape: a 10-year survey of anurans, birds and moth assemblages. Birds and Moth Assemblages. 2024; [preprint].
45. DINIZ ALR, MORAIS HC. Efeito do fogo na abundância de insetos do Cerrado: o que sabemos? Heringeriana. 2016;2(1):39-46.
46. CERTINI G. Effects of fire on properties of forest soils: a review. Oecologia. 2005;143(1):1-10.
47. AGBESHIE AA, ABUGA R, TETTEH EN, ADJEI R. Uma revisão dos efeitos do incêndio florestal nas propriedades do solo. J For Res. 2022;33(5):1419-41.
48. SILVA EC, CARVALHO AM, FIGUEIREDO CC, COSER TR, REIN TA, SILVA MR, et al. Temporal evaluation of soil chemical attributes after slash-and-burn agriculture in the Western Brazilian Amazon. Acta Sci Agron. 2019;41:e42609.
49. KLINK CA, MACHADO RB, SILVA JMC, WATER AND FIRE IN THE CERRADO. The role of vegetation on the dynamics of water and fire in the cerrado ecosystems: implications for management and conservation. Plants (Basel). 2020;9(12):1803.
50. DE SOUZA LC, PROCÓPIO LC. As adaptações das comunidades microbianas do solo da savana durante um período de incêndios florestais, após as primeiras chuvas e durante a estação chuvosa. Environ Sci Pollut Res Int. 2022;29(10):14070-82.
51. BORGES SL, SCHMIDT IB, ELIAS RCS, MEDEIROS MB, SATO MN, LIMA GS, et al. Manejo do fogo em veredas: novas perspectivas sobre os sistemas agrícolas tradicionais no Jalapão, Brasil. Ambient Soc. 2016;19:269-94.
52. SANTOS FLM, ARAÚJO FM, FERREIRA D, SILVA JMC, SCHMIDT IB. A queima prescrita reduz incêndios florestais grandes e de alta intensidade e emissões no Cerrado brasileiro. Fogo. 2021;4(3):56.
53. COLAÇO C, MOLINA D. Aprendizagem e treinamento sobre o uso de técnicas de queima prescritas. In: Rumo aos resultados da gestão integrada do fogo do paradoxo do incêndio do projeto europeu. p. 161.
54. DURIGAN G, BERMANN C. Construindo políticas de fogo no Cerrado: a experiência do Manejo Integrado do Fogo no Brasil. Biodiversidade Bras. 2022;12(1):4-21.
55. FIGUEIREDO CC, SILVA JMC. Fogo e degradação do solo no Cerrado: mecanismos e consequências. In: FALEIRO FG, NETO ALF, editores. Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. 2a ed. Planaltina: Embrapa Cerrados; 2020. p. 567-89.
56. CONEGLIAN, A et al. Tempo de letalidade do câmbio de duas espécies arbóreas do cerrado a 60ºC. Revista do Instituto Florestal, v. 34, n. 2, p. 182-187, 2022.

Capítulo 21

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-21

CONTROLE BIOLÓGICO E A COMPATIBILIDADE ENTRE PRODUTOS BIOLÓGICOS E QUÍMICOS

Rogerio Pereira Viana ; Tenille Ribeiro de Souza ; Erasmo Ribeiro da Paz Filho ; Aline Brito Vaz ; Eliza Gonçalves de Sousa Miriam Fumiko Fujinawa Nadson de Carvalho Pontes

Tenille Ribeiro de Souza – Email: tenillemicro@gmail.com

Resumo: A presente revisão discute o desenvolvimento e a consolidação dos bioinsumos e do controle biológico como bases essenciais para o manejo sustentável de pragas e doenças na agricultura brasileira. Os bioinsumos, definidos como processos e tecnologias de origem animal, vegetal ou microbiana, aplicados em sistemas agropecuários, aquáticos e florestais, apresentam benefícios no crescimento e desenvolvimento de plantas, animais e microrganismos, constituindo alternativas viáveis aos defensivos químicos. O controle biológico, caracterizado pelo uso de organismos vivos para reduzir a incidência de patógenos, tem se mostrado eficaz e ambientalmente responsável. No Brasil, a trajetória do setor remonta a 1921, mas ganhou relevância a partir da década de 2010, com mudanças regulatórias que facilitaram registros de novos produtos, o surto da praga *Helicoverpa armigera* em 2013 e a criação do Programa Nacional de Bioinsumos em 2020. Além disso, destaca-se a crescente integração entre agentes biológicos e químicos no manejo integrado de pragas e doenças, desde que sejam avaliadas a seletividade e a compatibilidade entre os produtos. Este trabalho teve como objetivo revisar a evolução dos bioinsumos no Brasil, suas contribuições para a sustentabilidade agrícola e os desafios relacionados à associação entre biológicos e químicos, apresentando avanços, limitações e perspectivas para o fortalecimento de práticas agrícolas inovadoras e ambientalmente seguras.

Palavras–chaves: bioinsumos; controle biológico; manejo integrado; sustentabilidade

INTRODUÇÃO

O uso de agentes de biocontrole na agricultura tem se consolidado como uma abordagem estratégica e sustentável para o manejo integrado de pragas e doenças, resultando em avanços significativos nos sistemas de produção agrícola. No Brasil, o destaque para os bioinsumos tem crescido exponencialmente, refletindo um esforço amplo em diversificar e integrar práticas mais sustentáveis ao manejo agrícola. De acordo com o Decreto n° 10.375, de 26 de maio de 2020 (1), bioinsumos são definidos como processos e tecnologias de origem animal, vegetal e microbiana, aplicados à produção, ao armazenamento e ao beneficiamento em sistemas agropecuários, aquáticos e florestais, com impacto positivo no crescimento, desenvolvimento e na resposta de plantas, animais e microrganismos. Entre os principais bioinsumos utilizados na agricultura, destacam-se os inoculantes, biofertilizantes, insumos para nutrição vegetal e animal, e defensivos biológicos.

O controle biológico, conforme conceituado por Baker & Cook (2), consiste na redução da densidade ou da atividade de patógenos por meio da interação com organismos vivos, sem intervenção humana direta. Esses mecanismos podem incluir antibiose, indução de resistência na planta e inibição por competição, sendo uma alternativa eficaz e ecologicamente responsável no controle de organismos que causam patogenicidade em culturas de interesse econômico (3). O desenvolvimento e a aplicação dos agentes de biocontrole ganharam maior relevância à medida que os impactos ambientais adversos associados ao uso intensivo de agrotóxicos começaram a ser amplamente reconhecidos, como alertado por Rachel Carson em sua obra seminal "Primavera Silenciosa", publicada na década de 1960 (4).

A história do controle biológico no Brasil remonta a 1921, com a primeira importação de um inimigo natural, a vespa *Encarsia berlesei*, utilizada no controle da cochonilha branca do pessegueiro. Apesar do insucesso inicial, esse marco representou o início da utilização de agentes biológicos no país (5). Na década de 1950, novas descobertas começaram a moldar o campo, como o estudo pioneiro de Reinaldo Foster sobre a inativação do vírus do mosaico do fumo por culturas de *Trichoderma sp*. (6).

Entre 2010 e 2015, o setor de bioinsumos no Brasil vivenciou um ponto de inflexão importante devido a mudanças regulatórias no processo de registro, que facilitaram a introdução de novos produtos no mercado. Esse período coincidiu com o surto da praga *Helicoverpa armigera*, em 2013, quando os bioinseticidas demonstraram grande eficácia, consolidando-se como ferramentas essenciais no manejo de pragas (7). A expansão do setor foi ainda mais fortalecida com a implementação do Programa Nacional de Bioinsumos, instituído em 2020 pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), por meio do decreto 10.375 e das portarias 102 e 103. Este programa tem como objetivo ampliar e promover inovações no uso de bioinsumos, assegurando o aproveitamento sustentável do patrimônio genético nacional (8).

A associação de produtos biológicos com químicos tem se mostrado uma prática crescente, especialmente no manejo integrado de pragas e doenças agrícolas. Essa abordagem combina o efeito residual e a eficácia dos produtos químicos com a segurança ambiental e a ação específica dos biológicos. Estudos indicam que combinações bem-sucedidas podem melhorar os resultados no campo, reduzir a pressão ambiental causada pelo uso exclusivo de químicos e promover uma agricultura mais sustentável e integrada (9).

Para obter eficiência, é necessário que haja compatibilidade entre os agentes biológicos e os ingredientes ativos químicos, evitando interações que possam comprometer a viabilidade microbiológica ou a ação dos produtos combinados. (10). Santos & Fernandes (11) mencionam que combinações bem-sucedidas podem melhorar os resultados no campo, reduzir a pressão ambiental causada pelo uso exclusivo de químicos e promover uma agricultura mais sustentável e integrada.

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão de literatura sobre a compatibilidade entre produtos biológicos e químicos no controle biológico. Neste contexto o objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão de literatura sobre a compatibilidade entre produtos biológicos e químicos no controle biológico na agricultura, destacando as potencialidades e limitações dessa associação para promover um manejo integrado, sustentável e eficiente de pragas e doenças.

Controle Biológico Na Agricultura

Os agentes de biocontrole ou bioinsumos são ferramentas indispensáveis no atual manejo de pragas, podem ser constituídos por processos e tecnologias de origem animal,

vegetal e microbiana destinados ao uso na produção, armazenamento e beneficiamento em sistemas de produção agropecuários, aquáticos e de florestas plantadas, de forma a interferir positivamente no crescimento, desenvolvimento e mecanismo de resposta de animais, plantas e microrganismos, sendo substâncias derivadas de processos físico-químicos e biológicos, tal descrição consta do Decreto n°10.375, de 26 de maio de 2020 (1). Considerando esta ampla descrição, podemos destacar, de acordo com a sua importância na agricultura, os inoculantes, biofertilizantes, produtos para nutrição vegetal e animal e defensivos biológicos.

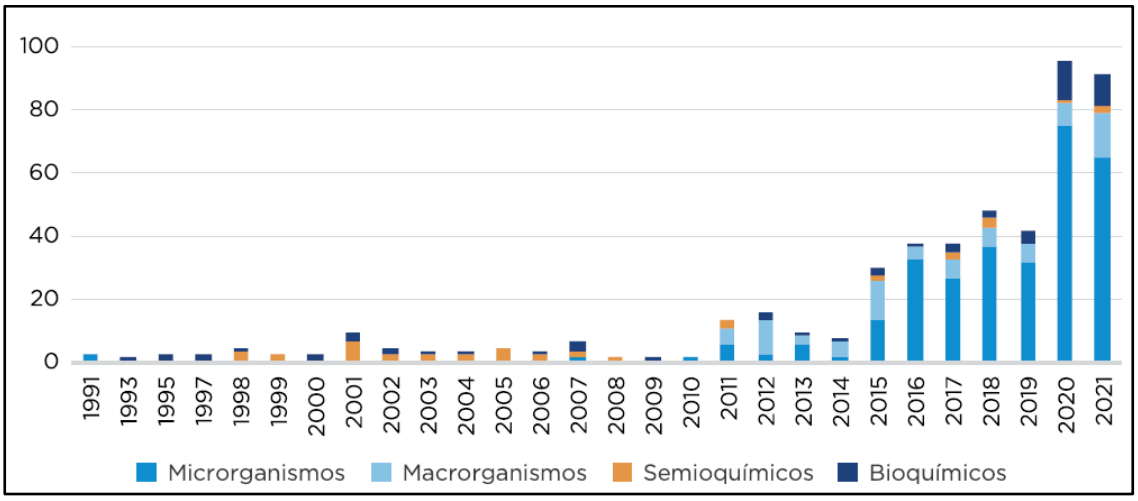
De acordo com Baker & Cook (2), o controle biológico propriamente dito, pode ser definido como a redução da densidade do inóculo ou da atividade de determinadas doenças provocadas por patógenos, pela ação de um ou mais organismos excluindo a ação direta humana. Esta ação pode se dar por produção de substâncias tóxicas com ação direta sobre o patógeno (antibiose), indução de resistência da planta e inibição competitiva (ocupação de espaço), ou seja, o controle biológico ocorre através da utilização de microrganismos não patogênicos para controle de organismos que geram patogenicidade a plantas de interesse econômico (3).

Em relato citado por Parra (4) o autor descreve que o produto químico DDT (Diclorodifeniltricloroetano) teve seu ápice de utilização entre 1939 e 1960, nesse mesmo período Rachel Carson escreveu o livro, Primavera Silenciosa, alertando sobre os impactos do uso de agrotóxicos no meio ambiente. Em contrapartida ainda na década de 1950, houve a primeira publicação de um artigo sobre inativação do vírus do mosaico do fumo por filtração de culturas de *Trichoderma sp.*, de autoria do pesquisador Reinaldo Foster, até então membro do Instituto Agronômico (6).

O primeiro registro de controle biológico no Brasil tem como marco a importação de um inimigo de controle natural em 1921, tratou-se do uso da vespa *Encarsia berlesei* (12) (Hymenoptera: Aphelinidae) no controle da cochonilha branca do pessegueiro (*Pseudaulacaspis pentagona*), porém houve insucesso no controle (5).

O ponto de inflexão para utilização dos produtos de origem biológica no Brasil foi entre 2010 e 2015, com importantes alterações no processo de registro o que foi determinante para incremento de produtos no mercado, bem como na criação de mais empresas no segmento, coincidindo com o surto de *Helicoverpa armigera* em 2013, onde os bioinseticidas se mostraram ferramenta útil no controle da praga (7). A figura 01 ilustra o período citado e o incremento de produtos no mercado de bioinsumos:

Figura 1. Produtos biológicos registrados por ano no Brasil.



Fonte: MAPA (13)

Outro fator relevante para o setor se deu pelo surgimento do programa nacional de bioinsumos, ao qual mediante decreto 10.375 e pelas portarias 102 e 103, criado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento em 2020, visa ampliar e fortalecer a prática de inovações, assegurando conhecimento do patrimônio genético nativo (8)

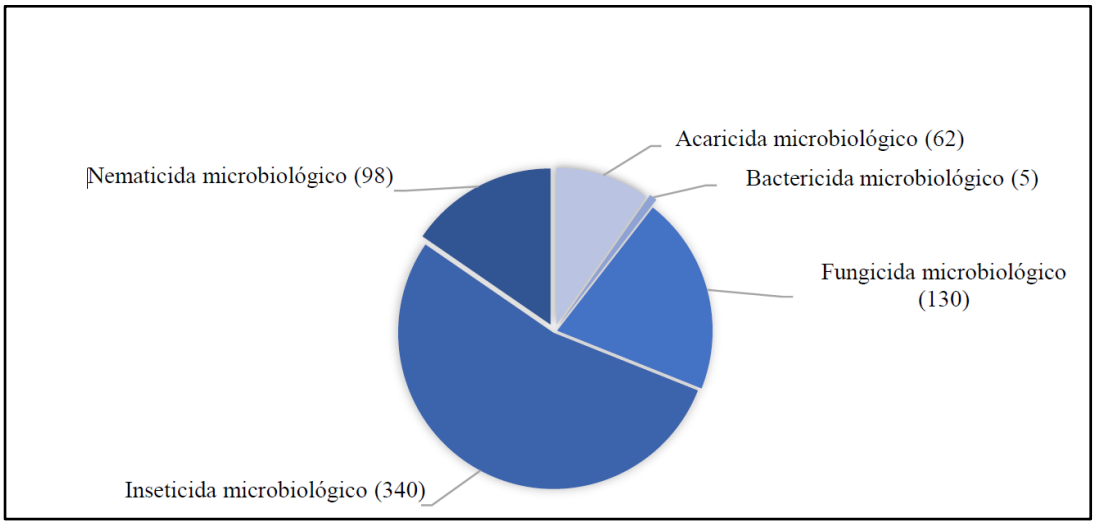
Diversos autores citam os benefícios de inoculação dos organismos com potencial de supressão patogênica no ambiente de produção, pois estes agem de forma mutualística com plantas reduzindo efeitos adversos do estresse biótico e abiótico, atuando como biofertilizantes e bioestimulantes (14). Porém devido a dinâmica populacional, a qual é apresentada no ambiente rizosférico, isso faz com que nem sempre seu uso associado ao manejo acarrete melhora nos rendimentos (15).

Estima-se a capacidade de liberação de 5 a 21 % de fotoassimilados de carbono na forma de açúcares solúveis pelas plantas em sua rizosfera, essa interface é meio de ligação para que sejam atraídos e selecionados os organismos que irão sobreviver com estes recursos (16). A capacidade de promover o crescimento vegetal mediante associação mutualística, ou seja, colonização efetiva do sistema radicular, é fator relevante a se considerar visto que, ocorrem melhorias no aproveitamento de nutrientes, solubilização de fosfatos e produção de hormônios vegetais (17).

Essa associação íntima, ou seja, entre a introdução de organismos e resposta da planta, integrada ao ambiente de produção, cepa bacteriana utilizada, umidade do solo, formulação do inoculante e mistura ou não com produtos químicos irão definir o sucesso ou insucesso da utilização e resposta benéfica às plantas (18).

Filho & Macedo (19) destacam que os agentes de controle biológico podem ser distinguidos de acordo com o modo que agem sobre o alvo, podendo ser descritos como predadores, parasitóides e patógenos, sendo classificados como microrganismos ou macrorganismos. De acordo com dados do Agrofit (20) o maior número de registros para organismos microbiológicos se dá para controle de insetos, (figura 2)

Figura 2- Microbiológicos registrados no Brasil



Fonte: Agrofit, (20).

No Brasil as vendas de insumos agrícolas biológicos se destacaram crescendo 67% na safra 2021/22 (21). Porém a sustentabilidade depende da combinação e uso adequado dos recursos e das tecnologias empregadas nos sistemas de produção (22), tal fato deve despertar a atenção para como a tecnologia dos bioinsumos está sendo empregada a campo, principalmente em associação aos diversos produtos químicos instituídos no manejo clássico da agricultura brasileira. A aplicação prática de bioinsumos na proteção de plantas se faz necessária e eficaz, resultando na inibição de resistência de patógenos às moléculas químicas existentes.

Controle Biológico Na Proteção De Plantas

Desde a década de 60 os agrotóxicos são utilizados no Brasil, quando o governo lançou um plano nacional de defensivos agrícolas, o qual fazia parte das iniciativas para 'Revolução verde" e buscava modernizar a agricultura, oferecendo crédito rural para incentivar o uso desses produtos (23). Desde então diversas moléculas foram perdidas devido ao uso sistemático e sem critérios e danos ambientais causados, deste modo alternativas para redução de uso intensivo de tais produtos devem ser utilizadas (24).

Diante de tais fatos e buscando ferramentas de manejo, os bioinsumos são importantes aliados, representando inovação na gestão agrícola e na aplicação de tecnologias com potencial para combater o declínio da biodiversidade nas terras agrícolas (25). Suprimindo ou controlando os patógenos associados as plantas os microrganismos benéficos podem agir por meio de diferentes mecanismos de ação, como a competição por nutrientes e espaço, pela produção de metabólitos secundários antimicrobianos ou até a ativação do sistema de defesa das plantas. Além disso, são seguros ao ambiente e saúde humana (26):(27).

Dentro deste amplo universo podemos citar os gêneros *Trichoderma* e *Bacillus* os quais são mais comumente utilizados na agricultura (28). *Trichoderma spp.* mudou completamente o cenário de controle biológico de doenças de plantas no Brasil, sendo que o primeiro registro de um produto a base do fungo foi em 2006 (29). As espécies de *Trichoderma* são dotadas de alta capacidade de colonizar a rizosfera das plantas e muitos substratos com características diferentes, podendo produzir estruturas de resistência, clamidósporos e microescleródios, com isso capazes de sobreviver em condições muito adversas. Sua demonstração de eficácia mediante produção de enzimas degradadoras da parede celular é evidenciada na inibição da germinação de esporos, no crescimento de hifas

e no desenvolvimento de estruturas de resistência como escleródios e clamidósporos de um amplo número de patógenos, como por exemplo: *Armillaria, Botrytis, Colletotrichum, Diaporthe, Fusarium, Helminthosporium, Macrophomina, Monilinia, Monilia, Nectria, Phoma, Phytophthora, Plasmopara, Pseudoperenospora, Pythium, Rhizoctonia, Rhizopus, Sclerotinia Sclerotiorum, Ustilago, Venturia, Verticillium, etc.* (30). Nota se também que existe potencial de uso para o fungo no controle de nematoides destacando sua ação sobre a colonização e parasitismo de ovos e de juvenis J2 (segundo estágio), porém ainda não existem trabalhos elucidando os mecanismos envolvidos na ação parasítica deste fungo sobre nematoides (31).

Sendo bactérias gram-positivas e apresentando vasta distribuição ambiental, o gênero *Bacillus* é outra ferramenta indispensável no manejo integrado. Com capacidade de formar estruturas de resistência, conhecidas como endósporos, promovendo maior resistência às adversidades do ambiente ao qual são expostas, possuem forte relação na promoção de crescimento por meio de uma série de mecanismos desencadeados quando em contato com a planta (32), com capacidade de ocupar variados nichos ecológicos em interação com plantas, colonizando diferentes partes vegetativas (33). O potencial de *Bacillus* na inibição do crescimento de fungos fitopatogênicos se dá pela aptidão que essa bactéria possui de sintetizar lipopeptídeos antifúngicos, como iturinas, plipastatinas e surfactinas, que ao interagirem com os fungos, criam canais transmembranares que irão acarretar perda do conteúdo celular e posteriormente na morte (34). Efeitos secundários são observados na planta, pela indução de resistência sistêmica, promvoendo a síntese de ácido salicílico, ácido jasmónico e etileno (35).

Dorighello *et al.*, (36) associou *Bacillus subtilis* a fungicidas sistêmicos o que resultou na redução da severidade de ferrugem asiática e consequentemente gerou ganhos de produtividade na cultura. De Sá *et al.*, (37) avaliou atividade antagonista de bactérias do gênero *Bacillus* e do fungo *Trichoderma* no controle de *Fusarium sp.*, responsáveis por prejuízos em feijão-caupi, observou redução significativa no crescimento micelial do patógeno. Morgado *et al.*, (38) comprovou mediante estudo a efetividade de *B. subtilis* no controle de *Meloidogyne spp. e Pratylenchus zeae* em cana-de-açúcar. *B. methylotrophicus* gerou supressão na população de *M. incógnita* e aumento da produtividade em tomateiro em experimento realizado em campo (39).

No Brasil, estão registrados 142 produtos à base de *Bacillus spp.* (40). *Pseudomonas* também age no controle de doenças através da antibiose, da secreção de metabólitos secundários, além da competição por alimentos e espaço (41). O sistema de secreção T6SS que permite injeção de proteínas tóxicas diretamente em células procarióticas ou eucarióticas adjacentes, neste gênero de bactérias, provocam inibição do crescimento e até morte celular dos organismos patogênicos (42). *P. fluorescenses* em condições de casa de vegetação suprimiu a reprodução de *M. incógnita* em plantas de tomate e soja, tal redução foi significativa, quando comparada ao nematicida carbofurano (43).

Em outro experimento *Pseudomonas* foi capaz de inibir até 75% do crescimento de *Sclerotinia sclerotiorum*, agente causal da doença mofo branco, patógeno que causa expressivos danos a diversas culturas, seu uso é de grande importância no manejo integrado de doenças (44), além do potencial de solubilizar fosfato, atua como promotor de crescimento e ação antifúngica, o que poderá proporcionar estabilidade ao desenvolvimento das plantas e maiores produtividades. *Pseudomonas* se mostra agressiva, pois possui rápido crescimento em diferentes substratos e ambientes, suportando variações do meio em que são instaladas, tais fatos resultam em maior facilidade na formulação desta bactéria como bioinsumo (45). A produção de sideróforos quelantes de ferro são outra característica inerente a este gênero bacteriano, sendo o ferro essencial ao desenvolvimento e proliferação

de diversos patógenos associados ao solo, os sideróforos quelantes produzidos pelo gênero bacteriano capturam o ferro disponível impedindo seu aproveitamento por outros microrganismos, inibindo assim o seu desenvolvimento (46).

Com ampla gama de hospedeiros o fungo *Beauveria bassiana*, mostra-se outro destaque no controle de pragas, o qual infecta o hospedeiro por contato e leva a ocorrência de epizootias naturais (47). Com grande possibilidade de ser utilizado no manejo integrado de pragas, porém existem influências de fatores bióticos (produtos fitossanitários) e abióticos (temperatura, umidade e radiação ultravioleta, fatores relacionados ao hospedeiro, temperatura e composição química das secreções produzidas pela cutícula) afetam drasticamente a sobrevivência e viabilidade do fungo, reduzindo sua eficácia (48). Em condições de laboratório *B. bassiana* foi avaliado no controle de *E. heros* (percevejo marrom), em duas diferentes concentrações 10^8 conídios/ml e 10^6 conídios/ml, resultando em 100% de mortalidade no nono dia de avaliação para a maior concentração e 95% de mortalidade para a menor concentração no décimo primeiro dia de avaliação (49). Para Santos *et al.*, (50) *B. bassiana* isolado IBCB 66 na concentração de 10^{13} apresentou controle de 46,8% na população de *Sphenophorus levis* (Coleoptera: Curculionidae).

No controle de nematoides pesquisas mostram a efetividade de *Purpureocillium lilacinum*, parasita de ovos e cistos de *Meloidogyne incógnita* (51), *Radopholus similis, Heterodera spp., Globodera spp., Rotylenchulus reniformes* (52). A evolução do controle biológico é ferramenta eficaz ao controle de pragas na agricultura brasileira, porém demandam técnica para sua correta utilização.

Associação Entre Produtos Biológicos E Químicos

Fator que pode ser resultante de sucesso ou fracasso na implementação de agentes de controle biológico é a sua possível incompatibilidade com produtos químicos em mistura de tanque, sendo que pode haver inibição de crescimento e proliferação, tal fato gera discussão e polêmica (53). Com adoção da inclusão de organismos biológicos ao tanque de pulverização ou ao tratamento de sementes associados a produtos químicos a questão volta a ser pautada, sendo que, em se tratando de organismos vivos a conservação é diretamente ligada a eficácia de controle a campo. Microrganismos quando submetidos a ação de agrotóxicos na calda, visando otimização de tempo e dos equipamentos disponíveis, pode ocasionar sérios danos ao metabolismo do produto de origem biológica, como redução das colônias formadas e da atividade enzimática (54).

Toscano *et al*., (55) cita que nem sempre os produtos químicos são escolhidos pelo grau de seletividade ou compatibilidade aos agentes de controle biológico, o que segundo Loureiro *et al*., (56) pode vir a ser estratégia segura e eficiente para preservação dos organismos biológicos. Existem claras evidências de que produtos biológicos são amplamente afetados por químicos, podendo ocorrer antagonismo, efeito nulo ou até mesmo sinérgico sobre atividade de fungos utilizados no controle patogênico (57). A toxicidade dos produtos químicos é fator relevante, atuando de forma a inibir o desenvolvimento ou reduzir a persistência dos entomopatógenos no ambiente (58). Em trabalho realizado por Branco *et al.*, (53) avaliando a compatibilidade de fungicidas e *Trichoderma sp* em tratamento de sementes de soja, os seguintes resultados são apresentados:

Tabela 1. Inibição do crescimento micelial de *Trichoderma sp* exposto a fungicidas

Tratamentos	Inibição do crescimento micelial (%)

Controle (Apenas água destilada)	0,0 d
Maxim Advanced® (Metalaxil - M + Tiabendazol + Fludioxonil)	73,45 a
Maxim XL® (Metalaxil - M + Fludioxonil)	54,24 b
Apron RFC® (Metalaxil - M + Fludioxonil)	54,63 b
Standak TOP® (Piraclostrobina + Tiofanato metílico + Fipronil)	20,44 cd
Spectro® (Difenoconazol)	15,43 cd
Certeza N® (Tiofanato Metílico + Fluazinam)	28,28 c
CV (%)	28,4

Fonte: BRANCO *et al*., (53).

O efeito de inibição se torna claro, sendo pior para determinados produtos, como o Difenoconazol.Além do efeito antagônico contra os diversos patógenos que atacam plantas, os microbiológicos podem atuar como promotores de crescimento de plantas, destacando-se as bactérias do gênero *Azopirillum spp.*, *Pseudomonas spp. e Bacillus spp.*, além do fungo *Trichoderma spp.* Diante de tal fato Hassan (32), descreve o gênero de bactérias *Bacillus spp.* a qual vem despertando grande interesse, pois possui capacidade de sintetizar fitormônios que induzem o crescimento vegetal. A produção de fitormônios pela planta auxilia na mitigação dos estresses enfrentados, o que auxilia diretamente na fisiologia, aumento de biomassa e consequentemente maiores rendimentos das plantas de interesse econômico (59). Zhao *et al*., (60) relata a capacidade da bactéria citada em solubilizar minerais, sendo um dos principais o fosfato, permitindo assim uma maior aquisição de fósforo pelas plantas.

Associar os organismos citados ao controle químico irá garantir maior eficácia aos tratamentos, se mostrando ferramenta adequada em associação ao controle patogênico químico, o manejo biológico é indispensável ao conjunto de integração das práticas de controle, promovendo efeito duradouro com proliferação de microrganismos promotores de supressão no meio ao qual as plantas de interesse econômico estão inseridas (61). Porém sabe-se que microrganismos quando em contato com compostos químicos são possíveis de sofrer mutações, além da capacidade de químicos inibirem ou induzirem o crescimento de população microbiana específica, sendo que, a maior dificuldade de se encontra em responder quais associações são viáveis e quais não são, prevendo o que irá afetar o metabolismo do organismo entomopatogênico e quais não irão impactar em sua ação esperada.

Petter *et al*., (62) relata que o conhecimento inerente a possíveis misturas de tanque com produtos fitossanitários, de diferentes classes e formulações, é necessário a fim de evitar possíveis danos à cultura e baixa eficiência no controle da praga alvo. A grande preocupação se dá mediante ao tempo de exposição e contato direto dos organismos de controle biológico aos diversos grupos químicos utilizados, pois podem desencadear bloqueios metabólicos em

fungos, isso se dá pelo acúmulo de íons na superfície da membrana celular, pois se trata de um mecanismo de ação de tais produtos (63). Visto que tais fatos indicam que químicos inibem ou podem inibir o crescimento do antagonista ou até mesmo modificar o modo de ação, o que possivelmente resultará no fracasso de controle do patógeno.

Ao passo que além das bactérias, estudos aprofundados com fungo do gênero *Trichoderma spp.*, o qual é encontrado na rizosfera e no solo, mostram o potencial de antagonismo sobre diversos patógenos em várias culturas (64). Considerado competidor agressivo, pois seu crescimento é rápido e sua colonização atinge vários substratos, *Trichoderma spp.* ajuda na redução do inóculo inicial de determinadas doenças (65).

Ao avaliar *Trichoderma asperellum* na inibição, *in vitro*, de *Fusarium spp.*, Fonseca (66) constatou a eficácia do fungo na inibição do desenvolvimento do patógeno, porém ao associa-lo a diversos tratamentos químicos de fungicidas concluiu que os fungicidas químicos Bixafem, Protioconazol e Trifloxistrobina foram compatíveis com *Trichoderma*, porém não induziram esporulação, enquanto o Pidiflumetofen apresentou compatibilidade e permite esporulação, em contraste Metominostrobina e Tebuconazol não foram compatíveis e inibiram a esporulação e desenvolvimento, o que prejudicou o controle.

Loureiro *et al.*, (67) comparou a interação entre *Trichoderma harzianum e Purpureocillium lilacinum* quando associados a Avicta ® (nematicida e inseticida), Cruiser ® (inseticida) e Maxim XL® (fungicida) em laboratório realizados *in vitro* avaliando a esporulação e a germinação de conídios em relação a testemunha, sendo que Cruiser ® (inseticida) e Maxim XL® (fungicida) foram compatíveis para *Purpureocillium lilacinum* e Avicta ® (nematicida e inseticida) foi classificado como moderadamente tóxico, no caso de *Trichoderma harzianum* os três produtos citados foram classificados como compatíveis.

Entretanto Francisco *et al*., (68) ao estudar thiametoxan, princípio ativo do produto comercial Cruiser ®, concluiu que o produto foi muito tóxico para a espécie *Trichoderma endophyticum*, inibindo totalmente a germinação dos conídios. *Trichoderma asperellum, T. harzianum e B. subitilis* foram estudados por Araújo *et al*., (69) em associação ao nematicida químico fluopiram, *in vitro*, e se mostraram compatíveis, em análise feita por Ávila *et al*., (70) os ingredientes ativos dos fungicidas podem inferir de formas variáveis no desenvolvimento e nos mecanismos de ação dos agentes de biocontrole, sendo assim deve-se prover avaliação antes da associação em tanque, garantindo assim a eficácia e o sucesso da aplicação.

Ao analisar sobrevivência de *B. subtilis* em contato com os fungicidas carbendazim, fosetyl aluminium, difenoconazol, azoxixtrobina e tebuconazol em dosagens moderadas do produto químico, Suneeta *et al.*, (71) considerou a sobrevivência moderada da bactéria (crescimento de 50% em relação ao controle), tal índice pode ser explicado graças a formação de endósporos, os quais permitem uma maior resistência a estresses do meio, como variações de temperatura, pH ou até o contato com agrotóxicos (72). Porém apesar da estrutura protetora a bactéria não sobrevive quando exposta a misturas com produtos formulados a partir do ingrediente ativo Mancozeb (73).

Espécies do gênero *Bacillus* possuem atividade de biorremediação em solos, ou seja, degrada compostos xenobióticos e os utiliza em benefício próprio reutilizando os compostos favoráveis ao seu desenvolvimento (74). Quando associado a espécie *Bacillus velezensis*, cepa HY-3479, o ingrediente ativo carbendazim apresentou taxa de degradação de 76,99%, o que foi relacionado ao aumento nos níveis de expressão gênica dos genes *mhel* e *hdx*, expressos pela bactéria e que são relacionados a degradação deste ingrediente ativo (75).

Lançar mão da utilização de produtos biológicos no controle de doenças em plantas é prática indispensável, Santos *et al.*, (76) destaca a eficácia de *Bacillus subtilis* no controle de doenças foliares da soja, o qual agiu reduzindo a severidade de ferrugem asiática

(*Phakopsora pachirhizi*), míldio (*Perenospora manshurica*), mancha marrom (*Septoria glycines*), mancha alvo (*Corynespora cassiicola*) e mancha parda (*Septoria glycines*) e a antracnose (*Colletrotrichum truncatum*) nas vagens.

Outro fungo que se mostra eficaz no controle de mosca branca (*Bemesia tabacci)* e que vem sendo amplamente utilizado é *Isaria fumosorosaea* a qual foi testada, *in vitro*, quanto a compatibilidade com produtos químicos por Agnes *et al.*, (77), o protocolo de produtos se deu por utilizar os inseticidas Premio®, Engeo Pleno® e Match®, os herbicidas, Glifosato 480® e Flex®, e os fungicidas Comet® e Fox® nas concentrações mínimas e máximas recomendadas pelo fabricante, sendo que, dos inseticidas utilizados o único que não promoveu interferência foi Premio® em dose mínima, dos herbicidas, Glifosato 480® na dose mínima e Flex® nas duas doses foram moderadamente compatíveis, sendo os demais produtos citados considerados tóxicos.

Associação simulando mistura em tanque entre *B. Amyloliquefasciens* e Propiconazol, Azoxistrobina + Ciproconazol, Fenpropimorfe e Piraclostrobina + metconazol resultou em redução significativa do número de colônias em 26,4%, maior que 30%, 56,1% e 43,9% respectivamente, o autor cita que nenhum dos tratamentos inibiu totalmente o crescimento do organismo citado, concluindo que a associação e aplicação a campo resultam em controle de doença e ganhos em produtividade (78).

Carbosulfano e Bifentrina apresentaram efeito negativo no crescimento vegetativo de *B. bassiana* independente da dose utilizada (79). Pinto (80) não constatou efeitos negativos de Engeo Pleno® ao isolado IBCB 276 de *B. bassiana.* Os inseticidas comerciais Singular® e Diamante® foram compatíveis com *B. bassiana* enquanto Diamante® e Actara® foram moderadamente tóxicos ao isolado testado (81).

Algumas metodologias são citadas para avaliar os índices de inibição dos agentes de biocontrole por produtos químicos, como a citada por Branco *et al*., (82), ao testar diversos fungicidas associados ao fungo *Trichoderma sp* no tratamento de sementes de soja, sendo a metodologia descrita da seguinte forma:

1- Padronização de concentração de produtos químicos em PPM.
2- Meio de cultura Batata-Dextrose-Ágar (BDA).
3- Cultivo de colônias puras para extrair disco micelial medindo 5 mm.
4- BOD temperatura de 23 $\pm$ 1°C, fotoperíodo de 12 horas por 7 dias.
5- Avaliação do crescimento micelial em eixos ortogonais, utilizando régua milimetrada, em intervalos de 24 horas.
6- Obtém-se o índice de inibição pelo cálculo abaixo:

$I = ((C - T)/C)*100$

I = índice de inibição

C = diâmetro da colônia na placa controle

T = diâmetro da colônia nos tratamentos

Apesar de muitos trabalhos realizados, nota-se a falta de padronização dos testes, o que dificulta a comparação de resultados de um mesmo produto, sendo que alguns resultados dependem exclusivamente de fatores como o isolado e espécie do fungo, bem como a combinação com diferentes produtos, das concentrações dos ingredientes ativos e da formulação de cada produto testado (83).

CONCLUSÕES

A adoção integrada de agentes biológicos e defensivos químicos configura-se como uma estratégia fundamental para o fortalecimento de sistemas agrícolas sustentáveis e resilientes. O avanço no conhecimento sobre mecanismos de ação dos microrganismos de biocontrole e sua compatibilidade com moléculas sintéticas reforça a necessidade de pesquisas contínuas que orientem a seleção de combinações eficazes e seguras. A associação criteriosa desses insumos pode reduzir a dependência de químicos convencionais, ampliar a biodiversidade funcional nos agroecossistemas e favorecer a saúde do solo e das plantas. Para assegurar a eficácia dessa abordagem, é indispensável o aprimoramento de protocolos de aplicação, a capacitação técnica e o incentivo à inovação, de modo a consolidar o manejo integrado de pragas e doenças como prática central na agricultura moderna.

AGRADECIMENTOS

Ao IF Goiano Campus Morrinhos; FAPEG - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás; Centro de Excelência em Bioinsumos - CEBIO; Fundação De Apoio À Pesquisa -FUNAPE.

REFERÊNCIAS

1. BRASIL. Decreto nº 10.375, de 26 de maio de 2020. Dispõe sobre o Programa Nacional de Bioinsumos. Brasília: Diário Oficial da União, 2020.

2. BAKER, K.F.; COOK, R.J. *Biological control of plant pathogens*. San Francisco: Freeman, 1974.

3. MEDEIROS, F.H.V. *et al*. Controle biológico de doenças de plantas: histórico, bases conceituais e avanços científicos. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v.13, n.2, p. 89-106, 2018.

4. PARRA, J.R.P. Impactos do uso de agrotóxicos e a obra "Primavera Silenciosa". *Revista de Ciências Ambientais*, v.20, n.4, p.77-89, 2014.

5. NAVA, D.E. Histórico do controle biológico no Brasil. *Revista Brasileira de Entomologia*, v.51, p.123-130, 2007.

6. BETTIOL, W.; MORANDI, M.A.B. Trichoderma como agente de controle biológico. São Paulo: Embrapa, 2009.

7. VALENTE, F. Bioinseticidas e o controle da praga *Helicoverpa armigera*. *Revista de Defesa Agropecuária*, v.15, p.55-70, 2021.

8. VIDAL, F.; SILVA, J.; COSTA, R. *et al*. Programa Nacional de Bioinsumos: Inovações e Potencialidades. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2021.

9. SILVA, J.A., *et al*. Eficácia de Produtos Biológicos e Químicos no Controle de Pragas. *Revista Brasileira de Agronomia*, v.36, p.123-134, 2020. / OLIVEIRA, M.;

GOMES, P. Compatibilidade de bioinsumos com químicos. *Journal of Agricultural Research*, v.18, p.45-58, 2019.

10. SOUSA, C.M., *et al*. Compatibilidade de Agentes Biológicos e Produtos Químicos em Sistemas Agrícolas. *Agroecology Journal*, v.22, p.65-78, 2018.

11. SANTOS, L.H.; FERNANDES, A.P. Impacto ambiental do uso de produtos biológicos e químicos na agricultura. *Environmental Science Review*, v.29, p.200-215, 2021.

12. FOERSTER, A. *Encarsia berlesei* (Hymenoptera: Aphelinidae) como inimigo natural. 1878.

13. MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Registro de produtos biológicos no Brasil. Disponível em: [URL]. Acesso em: março de 2021.

14. POVEDA, K.; EUGUI, S. Manejo sustentável de pragas agrícolas através de bioinsumos. *Revista Agrícola Internacional*, v.45, n.3, p.210-225, 2022.

15. GOUDA, S.; MEENA, B.; SHARMA, K. et al. Impacto dos biofertilizantes na produtividade agrícola. *Journal of Agricultural Biotechnology*, v.34, n.7, p.1594-1605, 2018.

16. LU, H.; ZHANG, W.; ZHAO, L. *et al*. Dinâmica da rizosfera e interações planta-microrganismo. *Soil Biology and Biochemistry*, v.120, p.79-90, 2018.

17. GASPARATO, A.; CARDOSO, D.; ALMEIDA, T. *et al*. Avanços recentes em bioestimulantes para cultivo agrícola. *Agronomy Journal*, v.115, n.2, p.135-148, 2023.

18. BARBOSA, A.; SILVA, L.; NEVES, T. Relação entre formulação de inoculantes e condições ambientais no sucesso de bioinsumos. *Ciência Rural*, v.50, n.9, p.150-165, 2021.

19. FILHO, J.R.; MACEDO, P. Classificação de agentes de controle biológico. In: *Manual Avançado de Defensivos Biológicos*. 3ª ed. Rio de Janeiro: AgroBio, 2011.

20. AGROFIT. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Registro de produtos biológicos no Brasil. Disponível em: [URL]. Acesso em: março de 2025.

21. AGROREVENDA. Relatório anual sobre bioinsumos na agricultura brasileira. Associação Nacional de Bioinsumos, Brasília, 2024.

22. ALCANTARA, J. Sustentabilidade agrícola e uso adequado de bioinsumos. São Paulo: Editora XYZ, 2020.

23. GIRALDO, O.F. Revolução verde e o uso de agrotóxicos no Brasil. *Revista de Ciências Ambientais*, v.18, n.2, p.77-85, 2001.

24. LENZ, P.; *et al*. Alternativas ao uso intensivo de agrotóxicos. *Pesquisa em Agroecologia*, v.3, n.1, p.45-60, 2011.

25. VEMUNT, A. *et al*. Inovação e bioinsumos no combate à perda da biodiversidade agrícola. *Agroecology Reports*, v.12, p.56-72, 2022.

26. KUPPER, K.C. *et al.* Microrganismos benéficos e controle de doenças. *Revista Brasileira de Microbiologia*, v.34, p.91-96, 2003.

27. MEYER, J.; *et al*. Biotecnologia aplicada ao controle biológico. *Advances in Agricultural Biotechnology*, v.15, n.2, p.149-161, 2022.

28. MOSELA, M.; et al. Bioinsumos como ferramentas para modernização da agricultura. *Agroecology and Sustainable Agriculture*, v.14, n.3, p.233-243, 2022.

29. BETTIOL, W.; MORANDI, M.A.B.; PINHEIRO, A.P.B. *Trichoderma* como agente de controle biológico. São Paulo: Embrapa, 2006.

30. MONTE, E. Potencial de *Trichoderma* no controle de doenças. *Mycological Research*, v.105, p.1163-1170, 2001.

31. SANTINI, J.B. *Trichoderma* no manejo de nematoides. *Nematologia Brasileira*, v.6, n.1, p.67-74, 2008.

32. HASSAN, S.E. *Bacillus* spp. como promotores de crescimento vegetal. *Journal of Plant Growth Regulation*, v.36, p.753-770, 2017.

33. ONGENA, M.; et al. Interações de *Bacillus* spp. com plantas. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v.67, p.923-935, 2005.

34. DUNLAP, C.A.; BOWMAN, M.J.; ROONEY, A.P. Produtos antimicrobianos produzidos por *Bacillus* spp. *Current Microbiology*, v.77, p.450-456, 2019.

35. ALI, S.; *et al.* Indução de resistência sistêmica por *Bacillus*. *Plant Pathology Journal*, v.34, p.121-132, 2018.

36. DORIGHELLO, J.F.; *et al*. Efeito de *Bacillus subtilis* associado a fungicidas no manejo de ferrugem asiática. *Agronomia Brasileira*, v.39, n.8, p.187-202, 2020.

37. DE SÁ, L.M.; *et al.* Controle de *Fusarium* sp. com *Trichoderma* e *Bacillus*. *Revista de Fitopatologia*, v.44, n.22, p.233-240, 2019.

38. MORGADO, D.R.; *et al*. Efeitos de *Bacillus subtilis* no manejo de nematoides. *Nematology*, v.17, p.123-130, 2015.

39. ZHOU, X.; *et al*. Supressão de *M. incógnita* por *Bacillus methylotrophicus*. *Biological Agriculture & Horticulture*, v.32, p.123-130, 2016.

40. AGROFIT. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Registro de produtos biológicos no Brasil. Disponível em: [URL]. Acesso em: março de 2023.

41. RAHMAN, M.; BORAH, B.; BORA, T. Atividade de antibiose de *Pseudomonas*. *Microbiology Journal*, v.11, p.233-242, 2020.

42. MONJARÁS, J.A.; VALVANO, M.A. Sistema de secreção T6SS em *Pseudomonas*. *Microbial Pathogenesis*, v.149, p.104296, 2020.

43. SIDDIQUI, Z.A.; HAAS, D.; HEEB, S. Uso de *Pseudomonas fluorescens* no controle de nematoides. *Biological Control*, v.32, p.205-210, 2005.

44. CASTALDI, L.; *et al*. Efeito de *Pseudomonas* spp. no controle de *Macrophomina phaseolina*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.56, n.5, p.450-460, 2021.

45. DORJEY, T.; DOLKAR, T.; SHARMA, R. Uso de *Pseudomonas* na agricultura. *Agricultural Microbiology Journal*, v.23, p.33-40, 2017.

46. WELLER, D.M. Produção de sideróforos por *Pseudomonas*. *Annual Review of Phytopathology*, v.45, p.15-31, 2007.

47. VEGA, F.E.; *et al*. Uso de *Beauveria bassiana* no controle de pragas. *Fungal Biology*, v.113, p.1-10, 2009.

48. POLAR, P.; *et al*. Influências ambientais no desempenho de *Beauveria bassiana*. *Journal of Invertebrate Pathology*, v.109, p.1-10, 2015.

49. ZAMBIAZZI, D.R.; *et al*. Avaliação de *Beauveria bassiana* no controle de percevejos. *Neotropical Entomology*, v.41, p.123-130, 2012.

50. SANTOS, V.C.; *et al*. Utilização de *Beauveria bassiana* no manejo de *Sphenophorus levis*. *Journal of Pest Science*, v.90, p.387-396, 2017.

51. YUE, Q.; et al. Controle de nematoides com *Purpureocillium lilacinum*. *Journal of Nematology*, v.51, p.45-52, 2019.

52. KANNAN, R.; VEERAVEL, R. Controle de nematoides com *Purpureocillium lilacinum*. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, v.80, n.3, p.197-201, 2012.

53. BRANCO, J.D.S. *et al*. Compatibilidade de *Trichoderma* com fungicidas utilizados no tratamento de sementes de soja. *Observatório de la Economía Latino Americana*, v.23, n.1, p.e8643, 2024.

54. TOSCANO, L.C.; *et al*. Compatibilidade de biológicos com químicos em misturas. *Journal of Agricultural Research*, v.20, n.4, p.233-240, 2012.

55. LOUREIRO, J.A.; *et al*. Seletividade de produtos químicos para agentes biológicos. *Agrochemical Sciences*, v.10, p.33-41, 2002.

56. SILVA, R.; NEVES, T.; SANTORO, L. Efeito de produtos químicos sobre fungos entomopatogênicos. *Journal of Biological Control*, v.18, p.221-230, 2005.

57. BARBOSA JÚNIOR, A. Impacto de produtos químicos no desenvolvimento de entomopatógenos. *Revista Brasileira de Agricultura Sustentável*, v.10, n.3, p.120-134, 2020.

58. KOSOVÁ, K.; *et al*. Mitigação de estresses abióticos com fitormônios. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.60, p.35-52, 2012.

59. ZHAO, L.; *et al*. Solubilização de fosfato por *Bacillus* spp. *Plant and Soil*, v.345, p.45-52, 2011.

60. SRINIVAS, P.; RAMAKRISHNAN, P. Manejo integrado com microrganismos. *Indian Journal of Microbiology*, v.42, p.45-55, 2002.

61. PETTER, F.A.; *et al*. Misturas de tanque e eficiência no controle biológico. *Journal of Integrated Pest Management*, v.6, p.45-54, 2012.

62. GHINI, R.; KIMATI, H. Efeito de produtos químicos sobre fungos entomopatogênicos. *Summa Phytopathologica*, v.26, p.55-60, 2000.

63. RUBIO, R.O.; *et al*. Competitividade de *Trichoderma* spp. em diferentes substratos. *Brazilian Journal of Microbiology*, v.48, p.421-430, 2017.

64. SILVA, T.; *et al*. Redução de inóculo com *Trichoderma*. *Plant Disease*, v.99, p.152-159, 2015.

65. FONSECA, J.P. Compatibilidade de fungicidas com *Trichoderma asperellum*. *Revista Brasileira de Fitopatologia*, v.42, n.2, p.88-97, 2024.

66. LOUREIRO, J.A.; et al. Interação entre *Trichoderma harzianum* e *Purpureocillium lilacinum* com químicos. *Agrochemical Sciences*, v.12, p.77-85, 2020.

67. FRANCISCO, R.; *et al*. Efeito de thiametoxam sobre *Trichoderma endophyticum*. *Revista de Biotecnologia Agrícola*, v.18, p.143-150, 2019.

68. ARAÚJO, A.S.F.; *et al.* Compatibilidade de biocontroladores com nematicidas. *Biological Control*, v.159, p.104-110, 2021.

69. ÁVILA, C.J.; *et al.* Influência de fungicidas no desenvolvimento de agentes de biocontrole. *Revista Brasileira de Agrociência*, v.11, n.3, p.297-303, 2005.

70. SUNEETA, D.; *et al*. Sobrevivência de *Bacillus subtilis* em presença de fungicidas. *Journal of Environmental Biology*, v.37, p.1203-1209, 2016.

71. BAHADIR, M.; LÌAQAT, I.; ELTEM, R. Estruturas de resistência em *Bacillus* e tolerância a estresses. *Microbial Biotechnology*, v.11, p.432-441, 2018.

72. BRONZATTO, L. Inibição de *Bacillus subtilis* por Mancozeb. *Revista Brasileira de Fitopatologia*, v.48, p.65-73, 2023.

73. MOHSIN, A.; *et al.* Atividade de biorremediação de *Bacillus* spp. em solos agrícolas. *Journal of Soil Biology*, v.39, p.22-31, 2021.

74. SONG, J.; HWANG, S. Degradação de carbendazim por *Bacillus velezensis*. *Environmental Microbiology Reports*, v.15, p.76-84, 2023.

75. SANTOS, R.; *et al.* Eficácia de *Bacillus subtilis* no controle de doenças da soja. *Plant Protection Science*, v.58, p.101-112, 2022.

76. AGNES, J.; *et al.* Compatibilidade de *Isaria fumosorosea* com químicos. *Brazilian Journal of Agricultural Microbiology*, v.45, p.321-330, 2013.

77. DREBES, L. Associação de *Bacillus amyloliquefaciens* com fungicidas. *Revista de Fitossanidade*, v.27, n.4, p.341-352, 2022.

78. OLIVEIRA, R.; *et al*. Efeitos de inseticidas no crescimento de *Beauveria bassiana*. *Neotropical Entomology*, v.45, p.389-397, 2016.

79. PINTO, J. Compatibilidade de *Beauveria bassiana* com Engeo Pleno®. *Ciência Rural*, v.46, p.220-226, 2016.

80. ROSSI-ZALAF, L.S.; *et al*. Compatibilidade de inseticidas com *Beauveria bassiana*. *Biological Control*, v.45, p.144-150, 2008.

81. BRANCO, J.D.S.; *et al*. Compatibilidade de *Trichoderma* com fungicidas em soja: metodologia de avaliação. *Observatório de la Economía Latino Americana*, v.24, n.2, p.e9731, 2025.

82. CASTIGLIONI, V.B.R.; et al. Metodologias de avaliação de compatibilidade de biocontroladores. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.38, n.1, p.19-27, 2003.

83. CASTIGLIONI, V.B.R.; *et al*. Metodologias para avaliar índices de inibição em agentes de biocontrole. *Revista Brasileira de Agrociência*, v.9, n.2, p.201-209, 2003.

Capítulo 22

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-22

MICOVÍRUS NA AGRICULTURA: A REVOLUÇÃO SILENCIOSA PARA O CONTROLE BIOLÓGICO

Aline Brito Vaz *; Laryssa Marcia Caetano ; Luis Felipe Paulino ; Beatriz Aparecida da Silva ; Miriam Fumiko Fujinawa ; Leonardo Cunha Albuquerque Nadson de Carvalho Pontes

**Autor correspondente (Aline Brito Vaz) – Email:alinefito@gmail.com*
Filiação: Centro de Excelência em Bioinsumo-CEBIO/ IFGoiano Campus Morrinhos

RESUMO:
A agricultura moderna enfrenta o desafio de conciliar aumento de produtividade com sustentabilidade ambiental. O uso intensivo de insumos químicos impulsiona a busca por alternativas biológicas para o manejo de doenças de plantas. Neste contexto, os micovírus — vírus que infectam fungos — emergem como agentes promissores de controle biológico. Esta revisão de literatura visa reunir e analisar evidências científicas sobre a diversidade, os mecanismos de ação e o potencial de aplicação dos micovírus no controle de doenças fúngicas de plantas. A pesquisa abrangeu artigos publicados entre 2000 e 2024, indexados nas bases Web of Science, Scopus e SciELO, utilizando os descritores "mycovirus", "biocontrol" e "agriculture". Foram selecionados estudos que abordam biologia, mecanismos de hipovirulência e aplicações práticas desses vírus em culturas agrícolas. A análise evidenciou casos emblemáticos, como o uso do micovírus *Cryphonectria hypovirus 1* (CHV1) no controle do cancro do castanheiro (*Cryphonectria parasitica*), e apontou avanços recentes em genômica e bioinformática que têm revelado novos *Micovírus* em fungos patogênicos de importância estratégica para o Brasil (soja, milho e cana-de-açúcar). Apesar do potencial, ainda existem desafios quanto à produção em larga escala e à eficiência de transmissão em campo. Os micovírus representam uma "revolução silenciosa" no campo da fitopatologia, oferecendo uma alternativa inovadora e sustentável ao uso de fungicidas químicos.

Palavras-chave: inovação biotecnológica; sustentabilidade agrícola; fungo patogênico; bioagentes; hipovirulência.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda global por alimentos, aliada à urgência de mitigar os impactos ambientais, impulsiona a busca por soluções mais sustentáveis na agricultura. O modelo agrícola convencional, que frequentemente depende de insumos químicos sintéticos para o controle de pragas e doenças, tem levantado preocupações significativas sobre a saúde do solo, a contaminação da água e a segurança alimentar (1). Diante desse cenário, o controle biológico emerge como uma abordagem promissora, alinhando a produtividade com a proteção dos ecossistemas (2).

Nesse contexto de inovação, uma "revolução silenciosa" está ocorrendo no campo da fitopatologia. Micovírus, vírus que infectam fungos, representam uma ferramenta biotecnológica de grande potencial (3). Ao contrário de outros vírus, eles podem alterar a fisiologia e a virulência de seus hospedeiros fúngicos, resultando em um fenômeno conhecido como hipovirulência—uma redução ou perda da capacidade do fungo de causar doenças em plantas (4). Essa característica única os posiciona como candidatos ideais para o desenvolvimento de agentes de controle biológico.

Esta revisão de literatura busca fornecer um panorama atualizado sobre os micovírus, explorando sua diversidade, mecanismos de ação e, principalmente, suas aplicações como agentes de controle biológico em sistemas de agricultura sustentável (5). O texto abordará desde a biologia fundamental desses vírus até os desafios e as inovações tecnológicas que moldam seu uso prático, destacando seu papel fundamental na construção de uma agricultura mais resiliente e ecologicamente equilibrada (6).

Origem e descoberta dos micovírus

A história dos micovírus tem suas raízes no ano de 1948, com a descoberta de uma doença devastadora em cogumelos comestíveis, o *Agaricus bisporus*, na França. Conhecida como "La France", a doença causava sérias perdas na produção, manifestando-se com a deformação dos corpos de frutificação, crescimento lento e amadurecimento precoce (7). Apenas uma década depois, os micovírus foram identificados como os agentes causadores dessa enfermidade.

No entanto, o campo da micovirologia só teve um avanço significativo na década de 1970, quando pesquisadores descobriram a hipovirulência do fungo *Cryphonectria parasitica*, que causava a praga do cancro do castanheiro. Essa revelação impulsionou um grande número de pesquisas, levando à descoberta de novas infecções por micovírus em diversos fungos filamentosos (8,9).

Para explicar a origem dos micovírus, a comunidade científica propõe duas hipóteses principais. A primeira, conhecida como **"teoria da coevolução antiga"**, sugere que a relação entre os micovírus e seus hospedeiros fúngicos é um fenômeno de longa data, refletindo uma coevolução milenar. A segunda, a **"teoria dos vírus de plantas"**, postula que os micovírus se originaram a partir de vírus de plantas que, em algum momento da história evolutiva, fizeram a transição de um hospedeiro vegetal para um hospedeiro fúngico (6, 9). Os micovírus passaram por diversas fases desde sua descoberta até as aplicações atuais

no controle biológico (Figura 1). Essas teorias refletem o complexo panorama da virologia fúngica, que ainda é um campo em plena expansão.

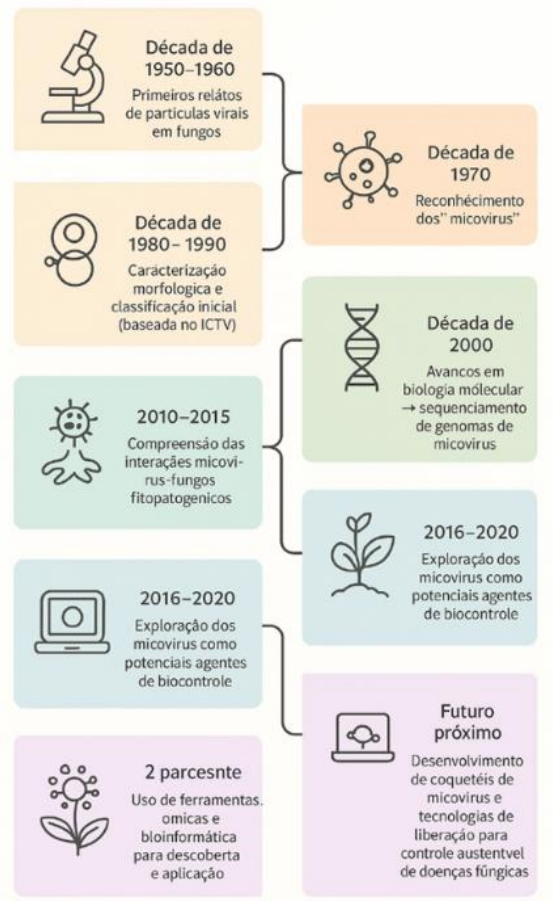


Figura 1. Linha do tempo dos principais marcos da descoberta e aplicação dos micovírus, desde os primeiros relatos até o uso atual no controle biológico de doenças fúngicas. Adaptado de: (Elaboração própria)

O que são *Micovírus*? Uma visão geral da biologia e diversidade

Micovírus são vírus que infectam fungos, estabelecendo com seus hospedeiros uma relação única, muitas vezes de endossimbiose persistente. Eles se distinguem de vírus de plantas e animais por uma característica fundamental: a maioria não forma uma partícula infecciosa externa (vírion) capaz de se mover pelo ambiente (10). Sua transmissão é primariamente interna, ocorrendo de célula a célula dentro do fungo ou verticalmente, através da formação de esporos ou da fusão celular de hifas (anastomose) (11).

A classificação dos micovírus é complexa e baseada principalmente no tipo de genoma viral. A maioria dos micovírus descritos possui RNA de fita dupla (dsRNA), abrangendo famílias como ***Totiviridae***, ***Partitiviridae*** e ***Chrysoviridae,*** que estão entre as mais comuns e bem estudadas. Também existem micovírus com RNA de fita simples positivo [ssRNA(+)], representados por gêneros como *Hypovirus* (atualmente alocado em ***Hypoviridae***, reconhecida pelo ICTV como uma família distinta de vírus de fungos não encapsidados). Além disso, micovírus com genoma de DNA fita simples (ssDNA) já foram identificados, como o *Sclerotinia sclerotiorum hypovirulence-associated DNA virus 1*. Essa

diversidade genômica — dsRNA, ssRNA(+) e ssDNA — reflete a ampla e ainda pouco explorada variedade de interações que esses vírus podem estabelecer com seus hospedeiros fúngicos (12).

A relação entre o micovírus e o fungo hospedeiro é o cerne de sua importância para a agricultura. Em vez de causar uma infecção lítica que mata a célula do hospedeiro, o micovírus coexiste com o fungo em um estado crônico de infecção. Essa coexistência pode ter efeitos variáveis, desde a ausência de sintomas aparentes (infecção latente) até a indução de mudanças profundas na fisiologia, crescimento e reprodução do fungo (13). A alteração mais relevante do ponto de vista agrícola é a hipovirulência, onde o micovírus suprime a capacidade do fungo de causar doenças em plantas. Esse fenômeno é resultado da interferência do vírus na expressão de genes do fungo essenciais para sua patogenicidade, como os que codificam enzimas de degradação da parede celular ou toxinas (14). A compreensão desses mecanismos moleculares é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de controle biológico.

Onde encontrar e isolar os micovírus?

A busca por micovírus é um campo de pesquisa ativo e complexo, pois eles não existem livremente no ambiente. A principal fonte de isolamento são os próprios fungos, que atuam como seus hospedeiros. Os pesquisadores procuram por micovírus em populações de fungos patogênicos que exibem sintomas de enfraquecimento ou hipovirulência em plantações ou ecossistemas naturais. A estratégia consiste em coletar isolados fúngicos de diferentes regiões, como solo, raízes de plantas doentes ou mesmo corpos de frutificação, e cultivá-los em laboratório (15). Uma vez em cultura, os isolados são testados para a presença de micovírus. Isso é feito através de técnicas de biologia molecular, como a extração de ácidos nucléicos e o Sequenciamento de Nova Geração (NGS), que podem identificar o genoma viral dentro das células fúngicas, mesmo que em baixas concentrações.

A Era da Genômica e Bioinformática marca pelo (NGS) permitem a rápida e massiva identificação de sequências virais em isolados fúngicos, revelando uma diversidade de micovírus antes desconhecida. A bioinformática complementa esse processo, com ferramentas que comparam genomas, preveem funções de genes virais e rastreiam a evolução desses vírus (16, 17).

A complexa interação micovírus-fungo hospedeiro

A pesquisa em micovírus está se expandindo rapidamente, impulsionada por avanços tecnológicos que permitem uma compreensão mais profunda desses agentes e de suas interações com os fungos. No contexto da agricultura brasileira, a busca por soluções sustentáveis para as culturas de larga escala é um foco central.

A relação entre o micovírus e o fungo hospedeiro é o que torna esses vírus tão interessantes para a agricultura. O vírus não destrói o fungo, mas vive em uma relação de simbiogênese. Essa coexistência pode ter efeitos variados, desde a ausência de sintomas até mudanças profundas na fisiologia do fungo. O mais importante para o nosso tema é que essa interação pode induzir a hipovirulência (13). A hipovirulência acontece quando o micovírus interfere na expressão de genes do fungo que são essenciais para sua patogenicidade. Por exemplo, o vírus pode afetar a produção de enzimas que degradam a parede celular da planta, ou toxinas que causam danos aos tecidos vegetais. O conceito de hipovirulência, a redução da capacidade de um fungo causar doença, é a base para a aplicação dos micovírus como bioagentes. Essa estratégia é uma alternativa promissora ao uso de fungicidas químicos, oferecendo uma solução duradoura e ecologicamente correta para o manejo de doenças de plantas. O fenômeno da hipovirulência não é um simples enfraquecimento do fungo, mas sim o resultado de complexas interações moleculares entre o vírus e a célula hospedeira (Figura 2).

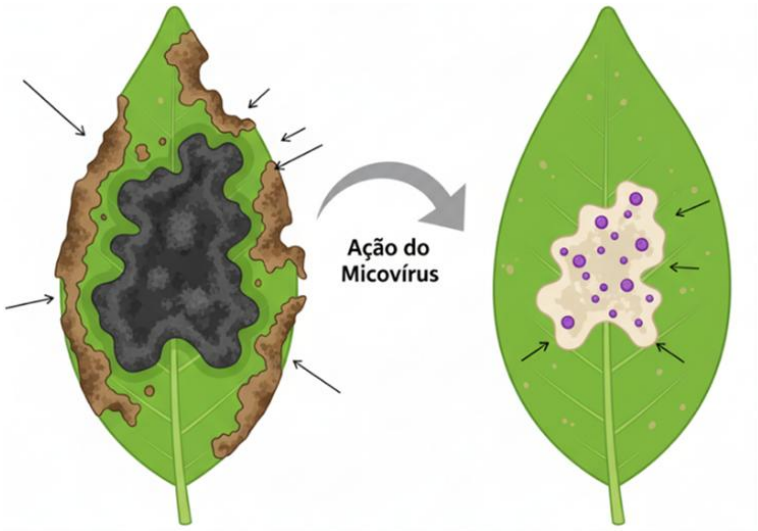


Figura 2: Representação esquemática do fenômeno da hipovirulência induzida por Micovírus. À esquerda, uma folha de planta infectada por um fungo patogênico livre de micovírus, resultando em doença severa e danos extensos. À direita, a mesma folha infectada pelo mesmo fungo, mas agora com a presença de um micovírus, demonstrando uma redução drástica nos sintomas da doença (hipovirulência). A seta indica a ação do micovírus em converter o fungo de patogênico severo para hipovirulento (Elaboração própria).

A estratégia do micovírus é manter uma infecção crônica e persistente, sem matar o hospedeiro. Isso é alcançado por meio da ação de proteínas virais que interferem na fisiologia do fungo. Por exemplo, o *Cryphonectria hypovirus 1* (CHV1) codifica uma proteína que desativa a maquinaria de crescimento e a produção de esporos do fungo hospedeiro. Essa interferência desvia a energia metabólica do fungo para a replicação viral, causando um estado de estresse celular crônico que resulta em crescimento mais lento e perda da capacidade de causar doenças (17). Em vez de uma toxina que mata, o vírus atua como um parasita que enfraquece gradualmente, garantindo sua própria sobrevivência. O caso mais emblemático de controle biológico bem-sucedido com micovírus é o da praga da canela-do-arroz, causada pelo fungo *Cryphonectria parasitica*. Esse fungo devastou florestas de castanheiras nos Estados Unidos e na Europa. A descoberta de isolados do fungo que apresentavam sintomas de enfraquecimento levou à identificação do micovírus (CHV1) (18).

A inoculação controlada de cepas do fungo infectadas com o CHV1 em árvores doentes restaurou a saúde das florestas, demonstrando o potencial da hipovirulência em grande escala (19). Esse sucesso abriu caminho para a pesquisa em outros sistemas agrícolas, provando que micovírus podem ser ferramentas poderosas contra patógenos. O sucesso inicial impulsionou a busca por micovírus que pudessem controlar outros fitopatógenos agrícolas de grande impacto. Micovírus que afetam o *Fusarium graminearum*, que causa a giberela no trigo, mostraram potencial para diminuir a produção de micotoxinas, substâncias prejudiciais à saúde humana e animal (20). De forma similar, micovírus que infectam *Sclerotinia sclerotiorum*, responsável pela podridão-branca em culturas de soja, têm sido estudados, com resultados que indicam a redução na severidade da doença (21).

O potencial dos micovírus se estende até mesmo a organismos que, embora causem doenças similares às de fungos, pertencem a um reino biológico diferente: os oomicetos. A pesquisa recente tem demonstrado que micovírus também infectam esses patógenos e podem

ser usados para controlá-los. Um estudo notável se concentrou no oomiceto fitopatogênico *Globisporangium ultimum*, que causa podridão de raízes. Os pesquisadores descobriram que a infecção por um micovírus tipo "toti" (da família *Totiviridae*) não apenas enfraquecia o oomiceto, mas também aumentava sua sensibilidade ao fungicida metalaxil, um dos mais utilizados no controle de doenças de solo. Isso significa que, em vez de substituir completamente os fungicidas, os micovírus podem atuar em sinergia com eles, tornando o manejo da doença mais eficiente e possivelmente permitindo a redução da dose de agrotóxicos (22). Esse achado é de grande importância, pois sugere uma nova abordagem para o controle de doenças causadas por oomicetos. Esses estudos reforçam a relevância dos micovírus como uma solução para os problemas agrícolas locais e globais.

A capacidade do vírus de se replicar e se espalhar para outras células fúngicas sem matar o hospedeiro é o que o torna um agente de controle biológico tão promissor. Como o fungo não morre, o vírus pode se replicar continuamente dentro dele e se mover através das conexões celulares das hifas, um processo chamado anastomose. Essa é a principal forma de transmissão horizontal, permitindo que o micovírus se espalhe para outros fungos em uma população (12). Além disso, a transmissão vertical ocorre através da formação de esporos, que já contêm o vírus, garantindo que a nova geração de fungos já nasça hipovirulenta. Outro mecanismo fundamental para a ação do vírus é a interferência de RNA (RNAi). O micovírus pode ativar o sistema de RNAi do fungo, usando-o para silenciar genes essenciais para a virulência do hospedeiro, o que amplifica o efeito de enfraquecimento e ajuda a manter a infecção controlada (23).

Mecanismo de transmissão:

Anastomose: O mecanismo de transmissão horizontal

A anastomose é um processo biológico central na vida dos fungos filamentosos. Ela se refere à fusão de hifas (os filamentos celulares do fungo) de duas colônias distintas. Esse processo natural é o principal meio de transmissão horizontal dos micovírus (12). Quando uma colônia fúngica infectada se expande e encontra uma colônia não-infectada da mesma espécie, suas hifas podem se fundir. Através dessa fusão, os vírus — que residem dentro do citoplasma das células fúngicas e não possuem uma partícula externa para se mover no ambiente — podem passar de uma colônia para a outra, espalhando a infecção. É por isso que, em campo, a eficácia do micovírus é limitada pela proximidade física entre os fungos, o que torna a anastomose um gargalo para a aplicação em larga escala. A transmissão vertical, por sua vez, acontece quando o micovírus é transportado para os esporos durante a reprodução do fungo, garantindo que a descendência já nasça infectada.

Interferência de RNA (RNAi): Uma Arma de Duplo Gume

A interferência de RNA (RNAi) é um mecanismo de defesa natural presente em muitos organismos, incluindo os fungos, que serve para silenciar a expressão de genes indesejados, como os de um vírus invasor. No entanto, em uma reviravolta evolutiva fascinante, os micovírus têm demonstrado a capacidade de "sequestrar" essa maquinaria do fungo hospedeiro para sua própria vantagem (23). O vírus produz pequenas moléculas de RNA de fita dupla que, quando detectadas pelo sistema RNAi do fungo, levam à degradação

de moléculas de RNA mensageiro (mRNA) específicas. Surpreendentemente, esses mRNAs são codificados por genes do próprio fungo, e muitos deles estão relacionados diretamente à virulência ou ao crescimento. Ao ativar o RNAi contra o fungo, o micovírus consegue silenciar genes-chave, enfraquecendo o hospedeiro de forma precisa e controlada, e intensificando o estado de hipovirulência (23).

Produção em laboratório e desafios para a escala comercial

A pesquisa com micovírus no Brasil tem focado em patógenos de culturas economicamente estratégicas. Fungos como o *Fusarium verticillioides*, que afeta o milho e a cana-de-açúcar, e o *Sclerotinia sclerotiorum*, agente da podridão-branca em soja e feijão, já foram investigados. Estudos têm identificado micovírus nesses patógenos, buscando a hipovirulência para reduzir danos e a produção de micotoxinas (21, 22, 23).

Contudo, a aplicação comercial em larga escala ainda enfrenta barreiras significativas. A principal delas é a transmissão ineficiente dos micovírus em campo, já que eles não formam partículas infecciosas que possam ser facilmente disseminadas. Isso inviabiliza, no momento, a aplicação por pulverização, como se faz com fungicidas químicos. A produção em massa de bioagentes à base de micovírus também é um desafio, exigindo o desenvolvimento de protocolos de multiplicação em larga escala de fungos infectados (14).

Desse modo, a produção de micovírus para fins de pesquisa em laboratório é um processo controlado, mas ainda muito dependente do seu hospedeiro. Geralmente, a propagação é realizada pela co-cultura de uma linhagem de fungo não-infectada com uma que carrega o micovírus. Essa transferência ocorre pela anastomose, a fusão de hifas entre os dois isolados, permitindo que o vírus se espalhe para a nova colônia fúngica (12). No entanto, essa abordagem é lenta e de baixa eficiência, tornando a produção em larga escala um enorme desafio.

A produção de micovírus em escala comercial, seja em biorreatores ou de forma on-farm, não é uma realidade atualmente. Ao contrário de bactérias e alguns fungos, que podem ser cultivados em grandes volumes de meio líquido, os micovírus exigem um hospedeiro vivo para se replicar. Isso inviabiliza os métodos tradicionais de biorreatores e exige um processo de produção complexo e caro, focado na multiplicação controlada do fungo infectado (12). Da mesma forma, a aplicação *on-farm* é inviável, pois requer equipamentos especializados e um alto nível de conhecimento técnico que o agricultor não possui. A pesquisa, portanto, tem se voltado para alternativas, como a utilização de leveduras geneticamente modificadas para atuar como "fábricas" de proteínas virais, ou a engenharia de micovírus que possam ser encapsulados para uma aplicação mais fácil e eficiente em campo no futuro.

CONCLUSÃO

A crescente urgência por soluções agrícolas sustentáveis posicionou o controle biológico no centro das estratégias de manejo de doenças de plantas. Dentro desse campo, os micovírus emergiram como uma ferramenta biotecnológica de grande potencial. Esta revisão de literatura demonstrou que, ao causarem o fenômeno da hipovirulência em fungos patogênicos, esses vírus oferecem uma alternativa eficaz e ecologicamente amigável aos fungicidas químicos.

O sucesso do uso do micovírus no combate à praga da canela-do-arroz (*Cryphonectria parasitica*) e a pesquisa em andamento em culturas-chave para o agronegócio brasileiro, como soja, milho e cana-de-açúcar, servem como um poderoso exemplo da viabilidade dessa tecnologia. Embora os desafios para a aplicação em campo,

como a produção em massa e a transmissão limitada, persistam, o avanço de tecnologias como o NGS e a bioinformática tem aberto novas portas.

Em suma, os micovírus representam uma "revolução silenciosa" no campo da fitopatologia, e a pesquisa futura deve focar na superação das barreiras de aplicação para que a promessa desses bioagentes se torne uma realidade na construção de uma agricultura global mais resiliente e sustentável.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro de Biotecnologia (CEBIO) pelo suporte técnico, infraestrutura de laboratório e incentivo à pesquisa, fundamentais para a realização desta revisão. Também expressamos nossa gratidão ao IFGoiano – Campus Morrinhos pelo apoio institucional, disponibilização de recursos e espaço acadêmico que possibilitaram o desenvolvimento deste trabalho. Reconhecemos ainda a contribuição de toda a equipe de pesquisadores e colaboradores que enriqueceram este estudo por meio de discussões científicas e fornecimento de materiais.

REFERÊNCIAS

1. Tilman D, Balzer C, Hill J, Befort BL. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *PNAS.* 2011; 108(5):20260–4. doi:10.1073/pnas.111643710
2. Earth.Org. Nearly Two-Thirds of World's Farmland at Risk From Pesticide Pollution, Prompting Fears of Food Insecurity [Internet]. 2021 [acesso em 5 Set 2025]. Disponível em: https://earth.org/nearly-two-thirds-of-worlds-farmland-at-risk-from-pesticide-pollution/
3. Hough B, Steenkamp E, Wingfield B, Read D. Fungal Viruses Unveiled: A Comprehensive Review of Mycoviruses. *Viruses.* 2023;15(5):1202. doi: 10.3390/v15051202.
4. Yu X, Li B, Fu Y, Jiang D, Ghabrial SA, Li G, et al. A geminivirus-related DNA mycovirus that confers hypovirulence to a plant pathogenic fungus. Proc Natl Acad Sci U S A. 2010 May 4;107(18):8387-92. doi: 10.1073/pnas.0913535107.
5. Buivydaite Z. Mycoviruses as biocontrol of plant pathogens [Internet]. 2025 [acesso em 5 Set 2025]. Disponível em: https://pure.au.dk/portal/en/publications/mycoviruses-as-biocontrol-of-plant-pathogens
6. Ayllón MA, Vainio EJ. Mycoviruses as a part of the global virome: Diversity, evolutionary links and lifestyle. *Adv Virus Res.* 2023; 115:1-86. doi:10.1016/bs.aivir.2023.02.002
7. Sahin E, Akata I. Viruses infecting macrofungi. *Virusdisease.* 2018;29(1):1-18. doi: 10.1007/s13337-018-0434-8.
8. Xie J, Zhang R, Ma Z. A review paper mycovirus. *Journal of Plant Pathology & Microbiology* 2016; 7:12. doi:10.4172/2157-7471.1000390
9. Jo Y, Choi H, Chu H, Cho WK. Unveiling Mycoviromes Using Fungal Transcriptomes. *Int J Mol Sci*. 2022;23(18):10926. doi: 10.3390/ijms231810926.
10. Wu M, Li G. Mycoviruses and their ecological impacts on fungi. *Virology*. 2025;610:110562. doi: 10.1016/j.virol.2025.110562.
11. Umer M, Mubeen M, Shakeel Q, Ali S, Iftikhar Y, Bajwa RT, et al. Mycoviruses: Antagonistic Potential, Fungal Pathogenesis, and Their Interaction with *Rhizoctonia solani*. *Microorganisms*. 2023;11(10):2515. doi: 10.3390/microorganisms11102515.

12. ICTV. International Committee on Taxonomy of Viruses. *Virus Taxonomy: 2023 Release* [internet]. 2024[acesso em 28 Set 2025]. Disponível em: https://ictv.global/taxonomy/
13. Suzuki, N. Frontiers in fungal virology. *J Gen Plant Pathol*. 2017;83:419-423. doi:10.1007/s10327-017-0740-9
14. Yu J, Kim KH. Exploration of the interactions between mycoviruses and *Fusarium graminearum*. In: Kielian M, Mettenleiter TC, Roossinck MJ, editors. ***Advances in Virus Research***. 1st ed. [place unknown]: Academic Press; 2020. p. 109-141. doi:10.1016/bs.aivir.2020.01.004.
15. Yamada T, Saito M, Matsumoto T, et al. Mycoviruses: Future therapeutic agents of invasive fungal infections in humans? Eur J Clin Microbiol Infect Dis. 2010;29(7):755–63. doi:10.1007/s10096-010-0946-7
16. Nuss DL. Hypovirulence: mycoviruses at the fungal-plant interface. *Nat Rev Microbiol*. 2005 Aug;3(8):632-42. doi: 10.1038/nrmicro1206
17. Hillman BI, Suzuki N. Viruses of the Chestnut Blight Fungus, *Cryphonectria parasitica*. *Adv Virus Res*. 2004;63:423–72. doi:10.1016/S0065-3527(04)63007-7
18. Muñoz-Adalia, EJ., Fernández, MM., Diez, JJ. The use of mycoviruses in the control of forest diseases. *Biocontrol Sci Technol.* 2016;26(5):577–604. doi:10.1080/09583157.2015.1135877
19. Galli, M., Sede, A., Heinlein, M. et al. A biocontrol perspective on mycoviruses in fungal pathogen management. *J Plant Dis Prot.* 2025;132:43. doi: 10.1007/s41348-024-01006-9
20. Higuchi A, Tojo M, Mochizuki T. Sensitivity of *Globisporangium ultimum* to the fungicide metalaxyl is enhanced by the infection with a toti-like mycovirus. *Microbiol Res*. 2024;285:127742. doi:10.1016/j.micres.2024.127742
21. Coy LR, Plummer KM, Kalipha ME, MacDiarmid RM. Mycovirus-encoded suppressors of RNA silencing: Possible allies or enemies in the use of RNAi to control fungal disease in crops. *Front Fungal Biol*. 2022;3:965781. doi:10.3389/ffunb.2022.965781
22. Borges LL, Pimentel ICL, Souza JT. Detecção e Caracterização Molecular e Biológica de Vírus Associados a Fungos Fitopatogênicos. [Monografia]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2021.
23. Rossetto R, Santiago AD. Micovírus de RNA dupla fita em fungos fitopatogênicos *Colletotrichum falcatum* e *Fusarium verticillioides* isolados de cana-de-açúcar [Tese de Doutorado]. Piracicaba: Universidade de São Paulo; 2024.
24. Suaste Dzul AP. Identificação e Caracterização de Isolados de *Verticillium dahliae* de Hortaliças e Detecção de Micovírus [Tese de Mestrado]. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco; 2021.

Capítulo 23

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-23

BARU: POTENCIAL NUTRICIONAL E COMERCIAL PARA PRODUTOS ALIMENTÍCIOS FUNCIONAIS DO CERRADO

Maria Clara Alves de Souza*; Maria Clara Pacheco Fontes ;Maria Eduarda Bianchini Araujo; Maria Fernanda Chiquetti Gondim Peixoto; Maria Luiza Lemes Couto; Maria Paula Martins Mamede; Miguel Gabriel Florindo Rodrigues; Nicolly Oliveira Silva;Vanessa Mendes Cardoso;Yasmin dos Santos Silva [1]; Josianny Alves Boêno [2].

**Autor correspondente (Corresponding author) – Email: josianny.boeno@ifgoiano.edu.br*

1 Discente do curso de Técnico em Alimentos Integrado ao Ensino Médio, Instituto Federal Goiano Campus Morrinhos, 2 Docente do curso de Tecnologia em alimentos e Técnico em alimentos, Instituto Federal Goiano, Morrinhos, Brasil. <josianny.boeno@ifgoiano.edu.br>

Resumo: Este estudo avaliou a aceitação da castanha de baru, um produto típico do Cerrado, com foco na sua viabilidade como alimento saudável e funcional. O objetivo foi divulgar a castanha do baru, entre os participantes da 5ª Senacer e 1ª Feira do Cerrado realizada no IF Goiano Campus Morrinhos. O estudo buscou despertar a curiosidade entre os participantes em relação ao baru e às potenciais aplicações da castanha do baru em produtos alimentícios, a fim de avaliar seu potencial para o mercado de alimentos nutritivos e sustentáveis. A metodologia envolveu a exposição de um banner e a apresentação do mesmo pelos estudantes, com a exposição do fruto e das castanhas de baru. Participaram desta apresentação cerca de 60 pessoas. Os comentários realizados pelos participantes indicaram uma alta aceitação do produto, com uma ótima repercussão. Conclui-se que o baru tem grande potencial para ser inserido no mercado de alimentos funcionais, especialmente entre os jovens consumidores, sendo uma alternativa saudável e sustentável. A pesquisa destaca a importância de valorizar produtos nativos do Cerrado, promovendo a sustentabilidade e o desenvolvimento econômico local.

Palavras–chave: aceitabilidade; agroextrativismo; desenvolvimento sustentável

INTRODUÇÃO

O Cerrado brasileiro, o segundo maior ecossistema do país, é um dos biomas mais ricos do mundo em termos de biodiversidade e possui grande relevância ecológica e socioeconômica. A região, que abrange grande parte do estado de Goiás, tem se tornado um polo de interesse crescente, especialmente devido à sua vasta diversidade de espécies vegetais e animais. Porém, apesar dessa riqueza, muitas das plantas nativas do Cerrado ainda permanecem subutilizadas, tanto para a alimentação quanto para o desenvolvimento de novos produtos alimentícios e farmacêuticos (1).

A biodiversidade do Cerrado, embora de importância vital para a manutenção dos ecossistemas, enfrenta sérios desafios devido ao alto grau de degradação e pressão sobre os recursos naturais. É nesse contexto que produtos nativos, como o *Dipteryx alata* Vogel (baru), ganham destaque, não apenas pela sua importância ecológica, mas também pelo potencial nutricional e comercial que possuem (2). O baru é uma leguminosa típica do Cerrado, cujos frutos apresentam atributos significativos, como a polpa comestível e a amêndoa, conhecida como castanha do baru, de sabor similar ao amendoim. Este fruto tem atraído cada vez mais a atenção da indústria alimentícia, sendo valorizado por suas propriedades nutricionais e funcionais, que incluem a presença de lipídios insaturados, proteínas de alto valor biológico, fibras e minerais essenciais (3, 4).

Os frutos são coletados entre julho e outubro por agricultores familiares que, após extrair sua amêndoa, vendem-na para empresas, cooperativas e associações representativas de agricultores familiares, que a processam, principalmente, para elaboração de produtos alimentícios que irão para o mercado (5).

Embora o baru seja tradicionalmente consumido pelas comunidades locais do Cerrado, sua aceitação fora dessa região tem se expandido nos últimos anos, à medida que o público consumidor busca por alternativas alimentares saudáveis e nutritivas. Diversos estudos têm evidenciado os benefícios do baru para a saúde humana, destacando seu potencial para contribuir com a redução de doenças metabólicas e cardiovasculares, além de ser uma excelente fonte de antioxidantes e compostos bioativos (6). Nesse cenário, o novo foco sobre o consumo do baru e de seus derivados reflete a crescente demanda por produtos alimentícios sustentáveis e funcionais, alinhados às tendências globais de alimentação saudável.

A amêndoa do baru é considerada um alimento funcional devido à sua composição nutricional única. Contendo cerca de 40% de lipídios, entre eles ácidos graxos mono e poli-insaturados (como ômega-3 e ômega-6), proteínas que representam 30% de sua composição e minerais como cálcio, ferro, zinco e potássio, a castanha do baru apresenta alto valor energético, com variações de 476 a 560 kcal/100g (7, 8). Além disso, a amêndoa é rica em compostos antioxidantes, como polifenóis e carotenóides, que conferem propriedades benéficas à saúde, protegendo o organismo contra processos inflamatórios e danos celulares (6). No entanto, são encontradas algumas substâncias antinutricionais neste fruto, como tanino, ácido fítico e inibidor de tripsina. O teor de tanino é elevado na polpa, não sendo detectado na semente (amêndoa), tanto crua quanto torrada. Este componente tende a decrescer com a maturação do fruto e o inibidor da tripsina pode ser inativado pela simples torragem da semente (9).

Já a polpa do baru, considerada um subproduto, embora rica em carboidratos e fibras, é frequentemente descartada durante o processamento da amêndoa, o que levanta questões sobre a necessidade de práticas mais sustentáveis para aproveitar integralmente o fruto (10).

Além dos aspectos nutricionais, é importante destacar as etapas de processamento do baru, que envolvem desde a coleta dos frutos até a comercialização da amêndoa. O processo começa com a seleção de frutos recém-caídos, que são então despolpados e submetidos a processos de higienização, torrefação e embalagem. A principal dificuldade do processamento está na resistência do endocarpo lenhoso, que exige técnicas específicas para a extração da amêndoa sem danificá-la. Em Goiás, especialmente na cidade de Pirenópolis, têm sido adotadas tecnologias como o quebrador de corte transversal e a alavanca para facilitar a extração da castanha (11). Esses métodos, juntamente com a aplicação de processos de torrefação, garantem a preservação das propriedades nutricionais da amêndoa, ao mesmo tempo em que aumentam sua durabilidade (12).

O cultivo e o processamento sustentável do baru têm se mostrado essenciais para promover a conservação do bioma Cerrado e, ao mesmo tempo, gerar benefícios econômicos para as comunidades locais. O agroextrativismo do baru tem contribuído para a geração de renda nas áreas rurais, ajudando a fixar populações no campo e evitando o êxodo rural. Além disso, a utilização de resíduos do processamento, como o endocarpo lenhoso, tem gerado novas oportunidades econômicas, como a produção de biocombustíveis sólidos e artesanato (13). Portanto, o desenvolvimento de políticas públicas voltadas à promoção do cultivo sustentável e ao manejo adequado do baru é fundamental para garantir a preservação ambiental e a viabilidade econômica a longo prazo (14).

A aceitação de um novo produto alimentar depende de diversos fatores, incluindo aspectos sensoriais, culturais e nutricionais. Nesse sentido, os resultados do teste de aceitação podem fornecer uma visão valiosa sobre o grau de familiaridade e apreciação do público com relação à castanha do baru, além de indicar potenciais estratégias de *marketing* e desenvolvimento de novos produtos. Tendo em vista que o mercado de alimentos saudáveis está em constante crescimento, é essencial que a indústria alimentícia compreenda os gostos e a aceitação dos consumidores em relação a novos ingredientes funcionais, como o baru (17). O estudo da aceitação da castanha do baru realizado com os estudantes está alinhado com a crescente valorização dos produtos do Cerrado e com o aumento da demanda por alimentos com propriedades funcionais e benéficas à saúde. Os resultados obtidos podem proporcionar informações importantes para a indústria alimentícia, ampliando a inserção do baru no mercado nacional e internacional. Além disso, este trabalho contribui para a divulgação do baru e de suas potencialidades, reforçando sua importância não apenas como alimento, mas também como um agente de desenvolvimento sustentável para as comunidades do Cerrado.

Neste estudo teve-se como objetivo divulgar a castanha do baru, especificamente em um grupo de estudantes e servidores do durante a 5° Senacer (Semana Nacional do Cerrado), uma feira do Cerrado realizada no IF Goiano Campus Morrinhos. A escolha desse público-alvo foi motivada pela crescente demanda entre jovens consumidores por alimentos saudáveis e inovadores, com alto valor nutricional. O estudo buscou despertar a curiosidade entre os participantes em relação ao baru e às potenciais aplicações da castanha do baru em produtos alimentícios. Este tipo de abordagem é fundamental para determinar a viabilidade de inserção de novos produtos no mercado e para entender as barreiras e oportunidades que podem surgir ao introduzir um ingrediente novo no contexto alimentício (15).

MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho, a turma do 1° ano do técnico em alimentos integrado ao ensino médio, foi dividida em três grupos. Cada grupo ficou com uma função, o primeiro grupo ficou responsável por encontrar um fruto do Cerrado, processá-lo e deixá-lo pronto para expor na 5° Senacer (Semana Nacional do Cerrado) e 1° Feira do Cerrado do IF Goiano. O segundo grupo foi responsável por fazer a revisão de literatura e organizar o *banner* que seria exposto no evento, enquanto o terceiro grupo seria responsável por apresentar o trabalho e obter o resultado do estudo.

Para divulgar a castanha de baru, os frutos do baru foram obtidos no próprio Instituto Federal Goiano Campus Morrinhos, enquanto as castanhas já processadas, torradas, prontas para o consumo, foram adquiridas no comércio local em Goiânia-GO. A exposição dos produtos foram feitas durante a 5° Senacer (Semana Nacional do Cerrado) e 1° Feira do Cerrado do IF Goiano, realizado no IF Goiano Campus Morrinhos, (Figura 1), onde no

período matutino foram expostos trabalhos realizados pelos alunos com produtos oriundos do Cerrado.

Figura 1 – 1° Feira do Cerrado do IF Goiano



Fonte: IF Goiano Campus Morrinhos (16)

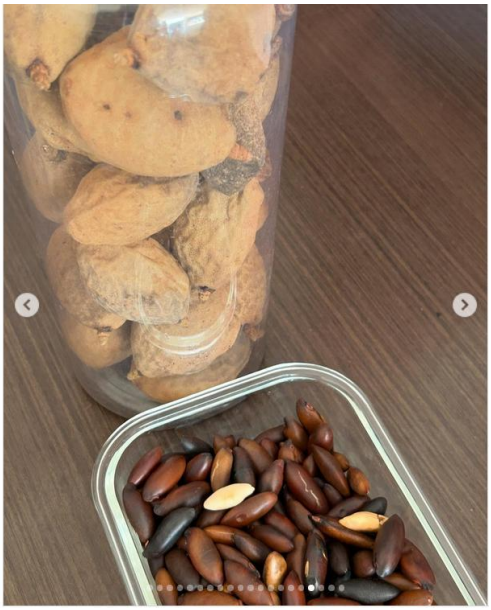
Passaram pela exposição cerca de 60 pessoas entre eles, servidores e estudantes do Instituto Federal Goiano Campus Morrinhos, com idades entre 16 e 55 anos, de ambos os sexos, onde se aproximaram de forma aleatória para o evento.

Neste momento os estudantes apresentaram o trabalho aos participantes da Feira por meio do *banner* confeccionado por eles (Figura 2) e expuseram os frutos do baru e também as castanhas (Figura 3) que poderiam ser consumidas, caso quisessem.

Figura 2 – *Banner* para apresentação do trabalho


I FEIRA DO CERRADO
Curso Técnico em Alimentos
IF Goiano – Campus Morrinhos
Campus Morrinhos
CASTANHA DE BARU
1º Alimentos
INTRODUÇÃO
A Castanha do Baru (Dipteryx alata) é um fruto típico do Cerrado brasileiro, reconhecido por seu elevado valor nutricional e sabor característico (CARVALHO; NAVES, 2010). Entretanto, em sua forma crua,como demonstrado na imagem 1,apresenta compostos antinutricionais que dificultam a ingestão e reduzem sua aceitação (NAVES et al., 2020). Para consumo humano, a castanha passa por um processo de torra,como demonstrados nas imagens 2, que elimina substâncias indesejáveis, e por uma quebra, que permite o acesso à amêndoa (LIMA; OLIVEIRA; SILVA, 2021).
FIGURA 1) CASTANHA DE BARU
RESULTADOS E DISCUSSÃO
FIGURA 2) CASTANHA DE BARU TORRADAS
OBJETIVOS
Avaliar a aceitação afetiva da castanha de baru torrada, por meio de teste sensorial aplicado a provadores não treinados, verificando o grau de preferência (BRASIL, 2021).
MATERIAL E MÉTODOS
Foram utilizadas castanhas de baru in natura, provenientes do Cerrado brasileiro (BRASIL, 2021). As amostras passaram por um processo de torra em forno convencional, em temperatura controlada, com o objetivo de eliminar compostos antinutricionais e realçar as características sensoriais do fruto (CARVALHO; NAVES, 2010). Em seguida, as castanhas foram quebradas manualmente para a retirada das amêndoas, que constituíram as amostras oferecidas aos provadores (NAVES et al., 2020).
CONCLUSÃO
Conclui-se que o processo de torra da castanha de baru é fundamental para tornar o alimento seguro e palatável, eliminando compostos antinutricionais e facilitando a quebra da castanha para consumo (CARVALHO; NAVES, 2010). Além disso, a torra influencia diretamente nas características sensoriais, como aroma, sabor e textura, aspectos essenciais para sua aceitação pelo consumidor (NAVES et al., 2020).
AGRADECIMENTOS
IF-GOIANO CAMPUS MORRINHOS

Figura 3 – Fruto e castanhas de baru



Fonte: IF Goiano Campus Morrinhos (16)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aceitação da castanha de baru, com base nas observações realizadas durante a 5ª Senacer e 1ª Feira do Cerrado do IF Goiano Campus Morrinhos, mostrou resultados bastante promissores. A escolha do público-alvo foi estratégica, considerando a faixa etária predominantemente jovem, sendo a idade média geral de 21 anos, sendo a maioria dos participantes do sexo masculino. Esse aspecto é relevante, pois a aceitação de novos produtos alimentícios pode ser influenciada por variáveis demográficas, como idade e gênero, o que permite uma visão mais ampla sobre o comportamento do consumidor em potencial. No momento da exposição, 36 pessoas comentaram que já conheciam o baru e 16 disseram que não o conheciam. Esta informação é valiosa, já que normalmente uma pessoa que já conheceu algo e gostou tende a ouvir novamente sobre o assunto, mostrando uma atitude

positiva. Enquanto aquele que em um primeiro contato não gostou de um determinado produto, ao se deparar com ele novamente, tende a recusar até mesmo a ouvir falar dele, não dando uma nova chance ao produto em questão.

Desta forma, com a exposição do baru na feira foi possível perceber que tanto o fruto do baru, quanto a sua castanha têm potencial para ser incorporados no mercado de alimentos saudáveis e funcionais, especialmente considerando a crescente demanda por produtos derivados de biomas nativos e sustentáveis, como o Cerrado.

Este dado é particularmente importante, pois além de indicar uma aceitação positiva, sugere que a castanha de baru pode ser uma alternativa atraente para consumidores que buscam alimentos nutritivos e inovadores. O interesse demonstrado pela maioria dos participantes em consumir o produto regularmente reflete a viabilidade comercial do baru, especialmente quando levado em conta o crescente interesse por alimentos funcionais e saudáveis.

Os comentários realizados durante a exposição reforçam os bons resultados: muitos elogiaram o sabor da castanha de baru, destacando seu gosto interessante e similaridade com o amendoim. Além disso, o fato de muitos participantes não conhecerem o baru anteriormente e ainda assim demonstrarem apreciação pelo produto sugere que há um potencial de expansão para a inclusão do baru em novos mercados consumidores. A associação com atributos positivos como "nutritivo", "saudável" e "produto do nosso bioma" indica que os consumidores estão cada vez mais inclinados a valorizar não apenas o sabor, mas também o valor ambiental e cultural dos produtos alimentícios.

CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo demonstraram a excelente aceitação da castanha de baru entre os participantes, apontando uma ótima repercussão do produto. Sugerindo um grande potencial de inserção do baru no mercado de alimentos saudáveis e sustentáveis. A análise mostrou que, apesar de ser um produto tradicionalmente consumido em regiões específicas, o baru tem potencial para conquistar novos consumidores, especialmente aqueles em busca de alimentos inovadores e nutritivos, alinhados às tendências de consumo do século XXI. A aceitação do baru pode ser impulsionada ainda mais por sua valorização como alimento funcional, rico em compostos antioxidantes, lipídios insaturados, proteínas e minerais essenciais. Além disso, o fato de o produto ser oriundo de um bioma único, como o Cerrado, reforça seu apelo para consumidores conscientes, preocupados com a sustentabilidade e o uso de produtos locais. Esse estudo, portanto, contribui para a compreensão do mercado potencial do baru e abre caminho para o desenvolvimento de novos produtos alimentícios baseados nesse ingrediente, com foco na inovação e na promoção da saúde.

O próximo passo para promover ainda mais a aceitação do baru será continuar a investigação sobre suas diferentes formas de processamento, conservação e formas de agregação de valor, além de trabalhar estratégias de *marketing* direcionadas a públicos específicos, como os jovens consumidores, que estão cada vez mais em busca de alternativas alimentares saudáveis e sustentáveis. Além disso, deve-se considerar a importância de políticas públicas que incentivem o cultivo sustentável e o manejo do baru, garantindo a preservação do Cerrado e a geração de benefícios econômicos para as comunidades locais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Morrinhos e à Coordenação do evento 1° Feira do Cerrado do IF Goiano pela oportunidade de exposição e realização do trabalho.

REFERÊNCIAS

1. EMBRAPA. O Cerrado brasileiro: um bioma de riqueza biodiversa e importância econômica. 20--. Disponível em: [link]. Acesso em: 19 de setembro de 2025.

2. Macedo FX, Amorim LR. Aproveitamento agroextrativista do baru: multifuncionalidade e pluriatividade em áreas rurais de Cerrado. In: III Sustentare – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas, VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade; 2021 Nov 16-18; Campinas, SP. p. 1-10.

3. Louredo EG, Razia JR, Lima LP, Silva VA, Filgueiras MLM, Oliveira LF, Oliveira IP. Biscoito tipo cookie enriquecido com baru. Rev Fac Montes Belos. 2014;7(1):16-25.

4. Oliveira, D. E. C., Resende, O., & Costa, L. M. (2017). Efeitos da secagem na coloração dos frutos de baru (Dipteryx alata Vogel). Revista Agro@mbiente On-line, 10(4), 364-370. http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v10i4.3584

5. Magalhães RM. A cadeia produtiva da amêndoa do baru (Dipteryx alata Vog.) no Cerrado: uma análise da sustentabilidade da sua exploração. Ci Florest. 2014;24(3):665-76.

6. Santos JM, Borges JAT, Santos SM, Silva RMMF, Trichez VDK. Baru (Dipteryx alata): a comprehensive review of its nutritional value, functional foods, chemical composition, ethnopharmacology, pharmacological activities and benefits for human health. Braz J Biol. 2024;84:e278932.

7. Vallilo MI, Tavares M, Aued S. Composição química da polpa e da semente do fruto de cumbaru (Dipteryx alata Vog.): caracterização do óleo e da semente. Rev Inst Florest. 1990;2(2):115-25.

8. Takemoto E, et al. Composição química da semente e do óleo de baru (Dipteryx alata Vog.) nativo do município de Pirenópolis, Estado de Goiás. Rev Inst Adolfo Lutz. 2001;60(2):113-7.

9. Togashi M, Sgarbieri VC. Caracterização química parcial do fruto do baru. Ciênc Tecnol Aliment. 1994;14(1):85-95.

10. Monteiro GM, Carvalho EEN, Vilas-Boas EVB. Baru (Dipteryx alata Vog.): fruit or almond? A review on applicability in food science and technology. Food Chem Adv. 2022;1:100103.

11. Carrazza L, Ávila JCC. Manual tecnológico de aproveitamento integral do fruto do baru. Brasília (DF): Instituto Sociedade, População e Natureza (ISPN); 2010. 56 p.

12. Melo SABX, Silva FS, Melo AX, Bento TS. Cadeia produtiva do cumbaru (Dipteryx alata Vogel) em Poconé, Mato Grosso. Cienc & Tecnol. 2014;34(1):37-58.

13. Teixeira HM, Santos SB, Araujo NCC, Silva TAA, Alves NM. Propriedades energéticas do endocarpo de baru (Dipteryx alata Vog.). Braz J Dev. 2020;6(9):72110-9.

14. Barbosa AK, Silva FG, Perin A, Dornelles P, Melo APC, Neto AR, Dornelles DP, Dário BMM. Initial development of *Dipteryx alata* Vog consortium with cover plants. Res Soc Dev. 2021;10(3):e55810313673.

15. Brasil. Instituto Adolfo Lutz (IAL). *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*. 4ª ed. Brasília (DF): Ministério da Saúde; 2005.

16. IF Goiano Campus Morrinhos. Disponível em: https://www.instagram.com/p/DohHR-zktNC/?img_index=1&igsh=Z3poeTEwaWl6d3c0. Acesso em: 12/09/2025.

17. Martins BA, Pimentel NM, Del Menezzi CH, Schmidt FL. Processamento de Baru (Dipteryx alata Vog.) - Estado da Arte. In: VI Encontro Nacional de Engenharia de Desenvolvimento Sustentável (ENEDS); 2009 set; Campinas, SP, Brasil.

Capítulo 24

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-24

EFEITO DOS MICRORGANISMOS EFICIENTES NO DESENVOLVIMENTO DO REPOLHO (Brassica oleracea var capitata) NO VERÃO

Thiago Mendonça Martins; Janete Golinski; Anselmo Afonso Golynski; Ênio Eduardo Basílio; Danilo Silva de Oliveira e Mateus Antonio Sousa Oliveira

RESUMO

O repolho (*Brassica oleracea var. capitata*) é uma hortaliça de grande importância econômica e nutricional, porém sua produção enfrenta limitações relacionadas ao manejo inadequado do solo e à dependência de insumos químicos. Neste contexto, avaliou-se a eficiência de microrganismos eficientes (EM) na produção de repolho em delineamento em blocos casualizados, com seis tratamentos e quatro repetições: T1 (100ml de EM), T2 (200 mL de EM), T3 (300 mL de EM), T4 (400 mL de EM), T5 (250 mL de EM) e T6 (Controle). Foram avaliados massa fresca da cabeça (MFC), diâmetro da cabeça (DC), altura da cabeça (AC), matéria seca (MS) e comprimento do caule (CC). Os resultados mostraram que o tratamento com 100 mL de EM (T1) apresentou maior MFC (1,92 kg), DC (60,1 cm) e AC (18,2 cm), superando os demais tratamentos. A aplicação de 400mL de EM (T4) não apresentou ganhos adicionais, sugerindo saturação do efeito. Conclui-se que a utilização de EM, especialmente na dose de 100 mL, constitui alternativa viável e sustentável para o cultivo do repolho, reduzindo a necessidade de adubação química e contribuindo para sistemas agrícolas mais resilientes.

Palavras chave: Brassica oleracea; Agricultura sustentável; Microrganismos eficientes.

INTRODUÇÃO

O repolho (*Brassica oleracea var. capitata*) é uma hortaliça pertencente à família Brassicaceae, amplamente cultivada e consumida no Brasil e no mundo. Apresenta alto valor nutricional, sendo rico em vitamina C, fibras, compostos antioxidantes e minerais, como cálcio e potássio. Pode ser encontrado em diferentes colorações, incluindo o branco, o verde e o roxo, sendo esta última devido à presença de antocianinas. É caracterizado por folhas arredondadas e cerosas que se sobrepõem, formando uma cabeça compacta, resultado da interrupção do crescimento do meristema apical . (1)

Introduzido no Brasil durante o período colonial, o cultivo do repolho se consolidou, especialmente nas regiões Sul e Sudeste, adaptando-se bem às condições climáticas locais e sendo uma cultura de ciclo relativamente curto, com boa aceitação no mercado consumidor. (2) Com o aumento da demanda por alimentos mais saudáveis e produzidos de maneira sustentável, práticas agrícolas que reduzem o uso de defensivos químicos vêm ganhando destaque. Nesse contexto, a utilização de microrganismos eficientes (EM) surge como uma alternativa promissora, pois favorece a biodiversidade microbiana do solo, melhora suas propriedades físicas e químicas, e potencializa o crescimento das plantas. (3)

Além disso, o uso de coberturas mortas ou plásticos (mulching) no cultivo de hortaliças tem demonstrado benefícios como a redução da evaporação da água, controle de plantas invasoras e proteção contra mudanças bruscas de temperatura do solo. (4) Neste trabalho, buscou-se avaliar a influência da aplicação de EM no cultivo de repolho durante o verão, com foco nas características produtivas da cultura, visando contribuir com tecnologias acessíveis e sustentáveis para a agricultura.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos, entre 17/10/2024 e 15/01/2025, no município de Morrinhos (GO), em área com altitude de 904 m, próxima à rodovia BR-153, nas coordenadas Zona 22K, 17°48'58" S e 49°12'26,79" O. O clima local, segundo Köppen-Geiger, é classificado como tropical com inverno seco (AW), com temperatura média anual de 23 °C. (5) A precipitação registrada em 2024 foi de 1.903,4 mm, conforme dados da estação meteorológica do campus (09/02/2025). (6) O solo, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, é um Latossolo Vermelho distrófico. (7)

A área foi limpa em 10/10/2024. Em 17/10/2024, construíram-se os canteiros elevados devido à ocorrência de chuvas. Utilizou-se trator com enxada rotativa encanteiradora para destorroar o solo e incorporar a adubação. Em cada m² 10 L de esterco bovino, 250 g de adubo químico 04-14-08, aplicado a lanço. A irrigação por gotejamento em duas linhas por canteiro, totalizando quatro fitas gotejadoras nos dois canteiros. A irrigação foi acionada conforme necessidade, ocorrendo quase diariamente.

O transplantio das mudas de repolho (cultivar híbrido Astrus) ocorreu em 28/10/2024, 21 dias após a semeadura. As mudas, produzidas em bandejas de isopor, por um viveiro idôneo, apresentavam quatro folhas definitivas e altura entre 0,10 e 0,15 cm. O plantio foi manual.

Utilizou-se delineamento em blocos casualizados (DBC), com seis tratamentos e quatro repetições, totalizando 24 parcelas e 48 m² de área experimental. Cada parcela media 2 m² (1 m × 2 m), com 12 plantas úteis espaçadas em 0,33 m entre plantas e 25 cm entre linhas. Os blocos foram sorteados e identificados com placas de PVC.

Os tratamentos consistiram na aplicação de diferentes volumes de EM (100, 200, 250, 300 e 400 mL), além de adubação orgânica e química. Um tratamento controle não recebeu EM. As soluções foram preparadas com microrganismos eficientes coletados no bosque do campus, fermentadas em garrafas PET tampadas e abertas a cada dois dias para liberação de gás. Após cessar a fermentação, armazenaram-se em local arejado. Antes de cada aplicação, adicionaram-se 150 g de açúcar mascavo à solução, com uma hora de antecedência. As aplicações foram feitas via solo, com intervalo de 7 dias, totalizando cinco ao longo do ciclo da cultura.

A primeira aplicação foi realizada em 19/11/2024, aos 22 dias após o transplantio (DAT). As demais ocorreram em 26/11 (29 DAT), 03/12 (36 DAT), 10/12 (43 DAT) e 17/12 (50 DAT). A irrigação foi feita diariamente, inclusive nos dias de aplicação. Utilizou-se um pulverizador manual de 5 L, e um copo medidor para dosagem. Cada tratamento foi diluído em 5 litros de água e aplicado via solo.

A colheita ocorreu em 14/01/2025, aos 79 DAT, quando 90% das parcelas apresentavam cabeças firmes, pesadas e compactas, com início de desprendimento das folhas externas. A colheita foi feita com faca, cortando rente ao solo, removendo folhas laterais indesejáveis e mantendo algumas centrais para proteção da cabeça.

Ao final do ciclo, foram avaliados os componentes de rendimento. Coletaram-se quatro plantas da parte central de cada parcela, analisando as variáveis:

- **MFC** (Matéria Fresca da Cabeça): pesagem individual em balança digital
- **DC** (Diâmetro da Cabeça): medição da circunferência com fita métrica
- **AC** (Altura da Cabeça): medição da base ao topo com fita métrica
- **MS** (Matéria Seca): pesagem de 100 g de amostras em bandejas
- **CC** (Compacidade da Cabeça): avaliação visual com corte transversal, atribuindo notas de 1 (fofa), 2 (média) e 3 (firme), com média de dois avaliadores
- As análises foram realizadas no Laboratório de Fertilidade e Compostagem do Instituto.

Os dados foram submetidos à análise de variância (teste F) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. (8)

3. RESULTADOS E DISCURSÃO

Os resultados obtidos durante o experimento referentes a avaliação dos respectivos variaveis analisadas: MFC; DC; AC; MS e CC. Na (**tabela 1**) temos os tratamento submetidos a analise de variância e bloco, valores médios e coeficiente de variação para as variáveis analisadas na cultura do repolho . Observa-se que houve efeito significativo para os fatores MFC (Matéria fresca da cabeça); DC (Diâmetro da cabeça) e AC (Altura da cabeça) apenas em relação ao 6 tratamento (testemunha). Nas demais variáveis MS (Matéria seca) e CC (Compacidade da cabeça) não houve efeito significativo, não apresentando diferenças significativas em função dos diferentes tratamentos.

Tabela 1: Tratamentos e bloco, valores médios e coeficiente de variação para as variáveis analisadas na cultura do repolho : MFC = Matéria fresca da cabeça; DC = Diâmetro da cabeça; AC= Altura da cabeça; MS= Matéria Seca; CC= Compacidade da cabeça.

Tratamentos	MFC (g)	DC (cm)	AC (cm)	MS (g)	CC
1	1924,375	60,125	18,250	6,750	1,950
2	1673,625	59,375	17,000	6,750	1,988
3	1877,250	60,000	17,125	6,500	2,138
4	1688,000	58,250	17,000	7,000	2,062
5	1877,250	58,500	16,500	6,750	1,950
6	976,500	50,625	14,750	7,250	1,800
C V (%)	18,020	6,320	7,610	10,400	7,770
Dms	685,84	8,39	2,93	1,64	0,59

Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de tukey ($p<0,05$)

De acordo com a imagem 1, observa-se que para a característica MFC nos repolhos, de acordo com a classificação de repolho é caracterizado pela sua classe de tamanho, qualidade e grupo varietal. O tamanho do repolho é definido pelo peso médio do repolho nas embalagens, o tamanho mais aceito pelo mercado é um peso médio de 2Kg por unidade, o valor menor a ser embalado para o consumidor, deverá ter no mínimo 1,5 kg e no máximo 2,5 kg sendo permitido até 20 % de cabeças inferiores a esses pesos . Verifica-se na , que o tratamento controle (T6) teve peso médio de 976,5 g, inferior ao mínimo exigido pelo mercado (1,5 kg), de acordo com os critérios da . (9) Os outros tratamentos não diferem entre

si com um peso médio variando entre 1,6 kg e 1,9 kg, sendo aceito para os padrões exigidos pelo mercado consumidor.

O diâmetro da cabeça apresentou variação entre os tratamentos. O maior valor foi observado no T1 (60,1 cm), enquanto o menor foi no T6 (50,6 cm). A adição de EM contribuiu para o aumento do diâmetro, indicando melhor desenvolvimento da cultura .

Os resultados encontrados de altura da cabeça é fator importante para a classificação comercial das cabeças de repolho. De acordo com a classificação para o consumidor a preferência e uma altura que pode variar entre 15 a 20 cm. Observa-se na que o tratamento T1 apresentou a maior média (18,25 cm), dentro da faixa comercialmente aceitável (15–20 cm). O tratamento controle obteve o menor valor (14,75 cm), indicando menor vigor das plantas.

Para a variavel matéria seca (MS), foi realizada no dia 14/01/2025 ao dia 15/01/2025 no Laboratório de Fertilidade, foi realizado o peso das amostras em bandejas (elas contém peso de 5 g), as bandejas foram taradas o peso e logo após colocados partes vegetais da cabeça do repolho e pesado 100 g de cada amostra, no total foram 24 amostras, 4 amostras por tratamento, as amostras foram colocadas em estufas de ventilação forçada de ar a temperatura de 90°C no dia 14/01/2025 ás 14hrs. No dia seguinte após aproximadamente 24 horas, foram retirados e novamente pesados todas as amostras secas, foi constatado os seguintes resultados em gramas, não apresentou diferenças estatísticas.

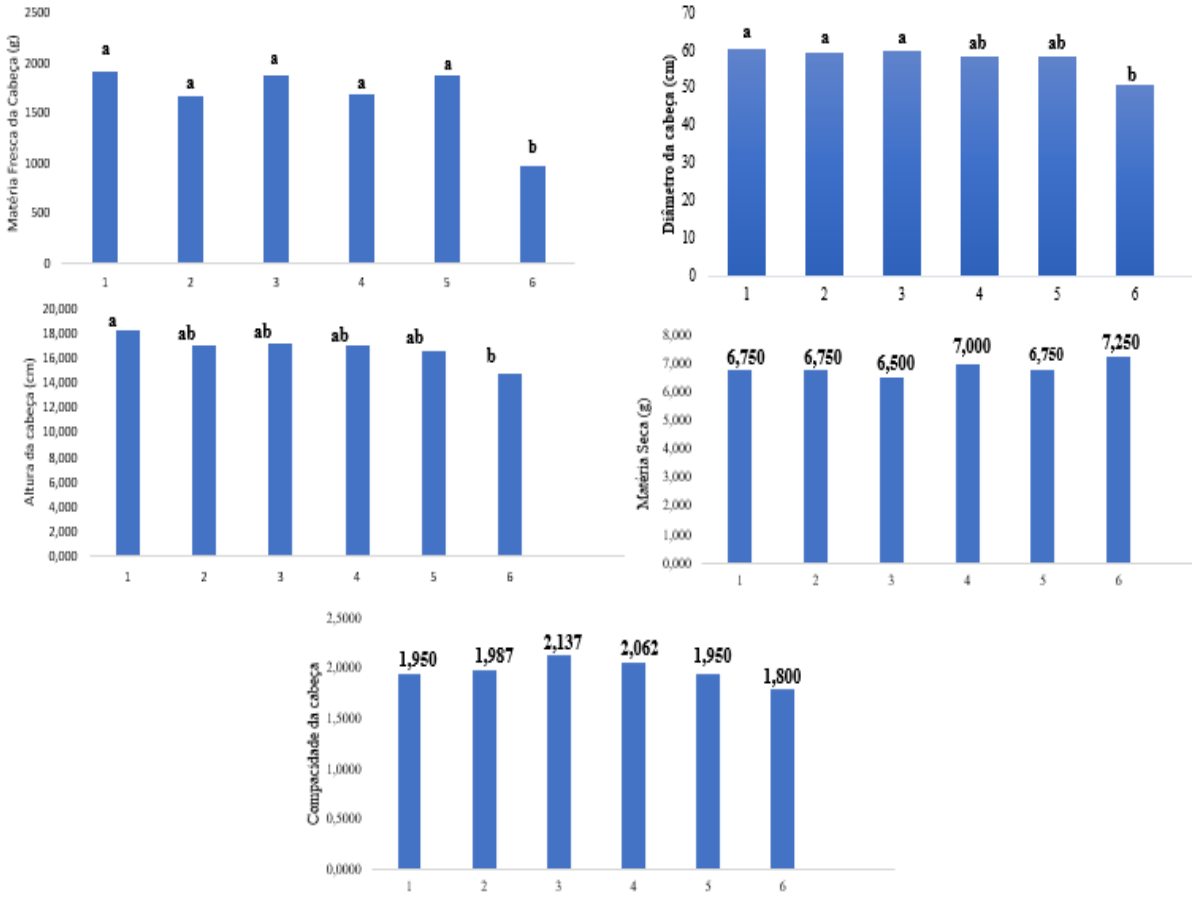


Imagem 1

De acordo com Castro, (9) a compacidade da cabeça (CC) e avaliado por notas de 1 ao 3, segundo a classificação de compacidade (1= frouxa); (2=Média); (3=Firme), após à avaliação pode ser observado na em seguida a média das notas de todos os tratamentos, foi

constatado que assim como a matéria seca, a compacidade da cabeça também não apresentou diferença estatística significativa entre os tratamentos. Todos os tratamentos foram classificados como médios a firmes, com notas entre 1,8 e 2,1, o que é aceitável comercialmente notas médias na classificação da compacidade.

Avila et al. (10), demonstrou que o uso de EM na agricultura, alegam que a maioria dos estudos registram efeitos positivos na produtividade de hortaliças, especialmente em variáveis relacionadas ao crescimento vegetativo e qualidade comercial.

Os resultados obtidos na presente pesquisa convergem com as observações de Oliveira et al. (11), tal como observado nesse experimento em doses superiores a 100 ml não superaram o desempenho do tratamento T1,também relataram que doses maiores de EM não implicaram em ganhos adicionais na produtividade

De maneira geral, os resultados deste trabalho se alinham ao corpo crescente de evidências que indicam o potencial do EM como alternativa viável para o aumento da produtividade e da qualidade do repolho em ambientes tropicais.

4. CONCLUSÃO

A aplicação de microrganismos eficientes (EM) via solo promoveu efeitos positivos no cultivo de repolho, principalmente nas variáveis matéria fresca da cabeça (MFC), diâmetro da cabeça (DC) e altura da cabeça (AC), com destaque para o tratamento com 100 mL de EM (T1). Apesar da ausência de diferença estatística nas variáveis matéria seca (MS) e compacidade da cabeça (CC), os resultados indicam que o uso de EM pode ser uma alternativa viável e sustentável para o aumento da produtividade e qualidade do repolho. Recomenda-se a realização de novos estudos para avaliação de diferentes formas de aplicação, épocas e combinações com outras práticas de manejo sustentável.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) Vênancio WS, Nakatani AS, Gato IMB, Modesto VN, Slusarz GM, Klipan TF. Desempenho da cultura do repolho inoculada com formulações à base de diferentes Bacillus spp. em condição de campo. REVISTA DELOS, v. 18, n. 64, p. e3965-e3965;2025.

(2) Ferreira RF, Neto AS, Souza SL. Cultivares de repolho em sistema orgânico de produção em Rio Branco-Acre. Scientia Naturalis, v. 3, n. 1; 2021.

(3) Dourado ER. Microrganismos eficientes (EM) no tratamento de sementes de milho. Dissertação. Universidade Federal de Viçosa; 2018.

(4) De Moura EG, Rezende AKD, Araújo CJ, Castro FM. Efeito de métodos de irrigação e do uso de cobertura vegetal sobre o cultivo de repolho em São Luís-MA. Horticultura Brasileira, v. 24, p. 410-413; 2006.

(5) Cardoso MRD, Marcuzzo FFN, Barros JR. Classificação climática de Köppen-Geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal; 2014.

(6) IF Goiano. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano Campus Morrinhos. Dados Meteorológicos. IF GOIANO. Disponível em: < https://www.ifgoiano.edu.br/home/index.php/meteorologia-2.html >. Acesso em: 09 fev; 2025

(7) Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Sistema Brasileiro de Classificação de solos**.** 5º ed. Revista ampliada. Brasília, DF; 2018

(8) Ferreira DF. Sisvar a computer statístical analysis system. Ciência e Agrotecnologia, v.35, p. 1039-1042; 2011.

(9) Castro TJD. Produtividade e qualidade do repolho adubado com nitrogênio e boro em ambiente protegido no Amazonas; 2015.

(10) Ávila GMDA, Gabardo G, Clock DC, Lima. JODS. Use of efficient microrganisms in agriculture. Research, Society and Development, v.10, n. 8; 2021.

(11) Oliveira ED, Sales R, Silva JAD, Tosta DS, Merson AA, Gravina GD,. et al. Influência de microrganismos eficazes EM-4 no desenvolvimento do repolho liso (*Brassica oleracea. Var. Capitata*) em manejo agroecológico de produção. Comunicata. Scientiae, Bom Jesus, v. 15; 2024.

Capítulo 25

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-25

POTENCIAL DE BORRA DA CAFÉ ESPECIAL COMO SUBSTRATO PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS DE QUIABEIRO (*Abelmoschus esculentus*)

Sullamitha Costa Pereira Toledo*; Rodrigo Vieira da Silva ; Amanda Caroline Silva Batista;

**Engenheira Agrônoma, Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos, sullamitha.toledo.agro@gmail.com*

Resumo: Na produção de mudas de hortaliças, um bom substrato é fundamental para o sucesso nesta etapa de desenvolvimento inicial da planta. O quiabeiro é uma hortaliça de grande importância econômica e nutricional no Brasil, amplamente cultivada em diferentes regiões e com forte participação da agricultura familiar. Sua produtividade depende diretamente de substrato adequado, capaz de garantir boa drenagem, aeração e disponibilidade de nutrientes, refletindo em um maior rendimento e qualidade dos frutos. Paralelamente, o café constitui numa das principais commodities brasileiras, destacando-se pela expressiva produção e consumo nacional. Vale salientar o cafés especiais, cujo crescimento de mercado tem ampliado, onde a geração de resíduos, especialmente a borra de café. Esse subproduto, frequentemente descartado de forma inadequada, é rico em compostos orgânicos e minerais essenciais, apresentando potencial agronômico para uso como fertilizante e componente de substratos agrícolas. Trabalhos científicos evidencia que, a incorporação da borra de café em substratos pode melhorar suas propriedades físico-químicas, aumentar a retenção de água e fornecer nutrientes essenciais como nitrogênio, fósforo e potássio, favorecendo o desenvolvimento radicular e o crescimento inicial das mudas. Além disso, essa prática contribui para a sustentabilidade, ao reduzir impactos ambientais e promover a economia circular no setor agrícola. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma revisão de literatura sobre o papel da borra de café especial como componente de substrato para a produção de mudas de quiabeiro, visando unir ganhos agronômicos à redução de resíduos e o fortalecimento de práticas agrícolas eficientes e sustentáveis.

Palavras–chave: Hortaliças, insumo orgânico, cafeeiro, resíduo, sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

O quiabeiro (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) constitui numa hortaliça de ampla difusão no território brasileiro, em virtude de seu elevado conteúdo nutricional e da expressiva aceitação por parte dos consumidores (8). No ano de 2023, no Brasil, registrou-se a comercialização de aproximadamente 49 mil toneladas de quiabo ao valor médio de R$ 4,92 por quilograma, resultando em um montante financeiro estimado em 244 milhões de reais, considerando apenas as operações realizadas nas centrais de abastecimento (1).

O café configura-se como um dos principais produtos agrícolas cultivados no Brasil, representando significativa fonte de divisas e contribuindo de maneira expressiva para a economia nacional (35). A tradicional bebida está presente cotidianamente na maioria dos lares brasileiros, consolidando-se como elemento cultural e alimentar. Atualmente, o país ocupa a segunda posição no ranking mundial de consumo da commodity. Conforme dados de 2023 (2), o consumo per capita de café torrado e moído alcançou 5,12 kg por habitante/ano. Já na safra de 2024, a produção nacional foi estimada em aproximadamente 55 milhões de sacas beneficiadas (3).

A borra de café, um subproduto da produção de café solúvel e também nas cafeterias e lares dos consumidores, possui altas concentrações de nutrientes, o que a torna altamente benéfica na agricultura como fertilizante orgânico (4). Seu emprego proporciona diversos benefícios quando aplicado em diversas culturas, podendo ser utilizada diretamente após a extração ou após a sua fermentação.

A utilização de borra proveniente de café convencional e de café especial (Figura 1) como componente de substrato para a produção de mudas hortícolas configura-se em uma alternativa promissora, tanto sob os aspectos agronômico quanto ambiental. Esse resíduo apresenta propriedades físico-químicas capazes de melhorar a estrutura do substrato, elevando a capacidade de retenção hídrica e aeração, condições que favorecem o bom desenvolvimento do sistema radicular das plântulas (5). Ademais, a borra de café contém concentrações relevantes de nutrientes, como nitrogênio, fósforo e potássio, indispensáveis ao crescimento adequado das plantas.

Figura 1: Borra de café especial *in natura* após secagem.



Fonte: TOLEDO, S. C. P. (29)

No cultivo do quiabeiro, o uso de substratos adequados é fundamental para a produção de uma boa muda, devido às exigências da planta em termos de drenagem e disponibilidade de nutrientes, que impactam diretamente na produtividade e na qualidade dos frutos (36). Substratos enriquecidos com matéria orgânica, como compostos vegetais e resíduos agrícolas, têm demonstrado eficazes na melhoria das condições do solo, contribuindo para o aumento da eficiência na absorção de nutrientes e, consequentemente,

para a obtenção de maior rendimento e qualidade na produção de quiabo. Assim, as escolhas corretas do substrato constituem estratégias essenciais para o sucesso do cultivo (6)

Nos últimos anos, observar-se um notável aumento na demanda por cafés especiais, tanto no Brasil quanto no cenário internacional. Esse crescimento reflete a valorização de produtos de alta qualidade e o aprimoramento de técnicas de cultivo e processamento (37). No entanto, esse cenário também traz desafios relacionados à sustentabilidade, uma vez que a maior produção e consumo de cafés especiais geram um volume crescente de resíduos, com destaque a borra de café. Esses resíduos, quando descartados de forma inadequada, podem acarretar problemas ambientais, como contaminação do solo e emissão de gases de efeito estufa (7).

Diante desse cenário, torna-se fundamental buscar alternativas sustentáveis para o reaproveitamento desses resíduos orgânicos. Entre as diversas possibilidades, destaca-se a utilização da borra de café como componente de substratos agrícolas, especialmente na produção de mudas. Essa prática apresenta um grande potencial, sobretudo na horticultura, onde a produção de mudas ocorre em larga escala e exige substratos de boa qualidade para garantir o desenvolvimento inicial das plantas. Nesse sentido, torna-se importante investigar alternativas mais sustentáveis para a produção de mudas de quiabeiro, utilizando diferentes proporções de borra de café especial como componente do substrato (29).

O presente trabalho teve por objetivo de trazer informações relevantes sobre o papel da borra de café especial, no crescimento de mudas de quiabeiro, além de possibilitar, o reaproveitamento de resíduos orgânicos, reduzindo impactos ambientais e fomentando práticas agrícolas mais sustentáveis. Assim, espera-se contribuir para o desenvolvimento de técnicas inovadoras e ecológicas que atendam às demandas da agricultura moderna do terceiro milênio.

REVISÃO

A cultura do Quiabo

O quiabeiro é originário da África e pertence à família Malvaceae, apresenta ciclo anual, manejo simples e rápido desenvolvimento vegetativo, o que a torna bem adaptada ao clima tropical. Embora seja muito disseminada no Nordeste, sua produção se expandiu para outras regiões do país, especialmente nos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Sergipe (8). Em Goiás, o quiabo é parte da culinária tradicional e amplamente consumido, configurando-se como uma alternativa econômica vantajosa para os produtores rurais.

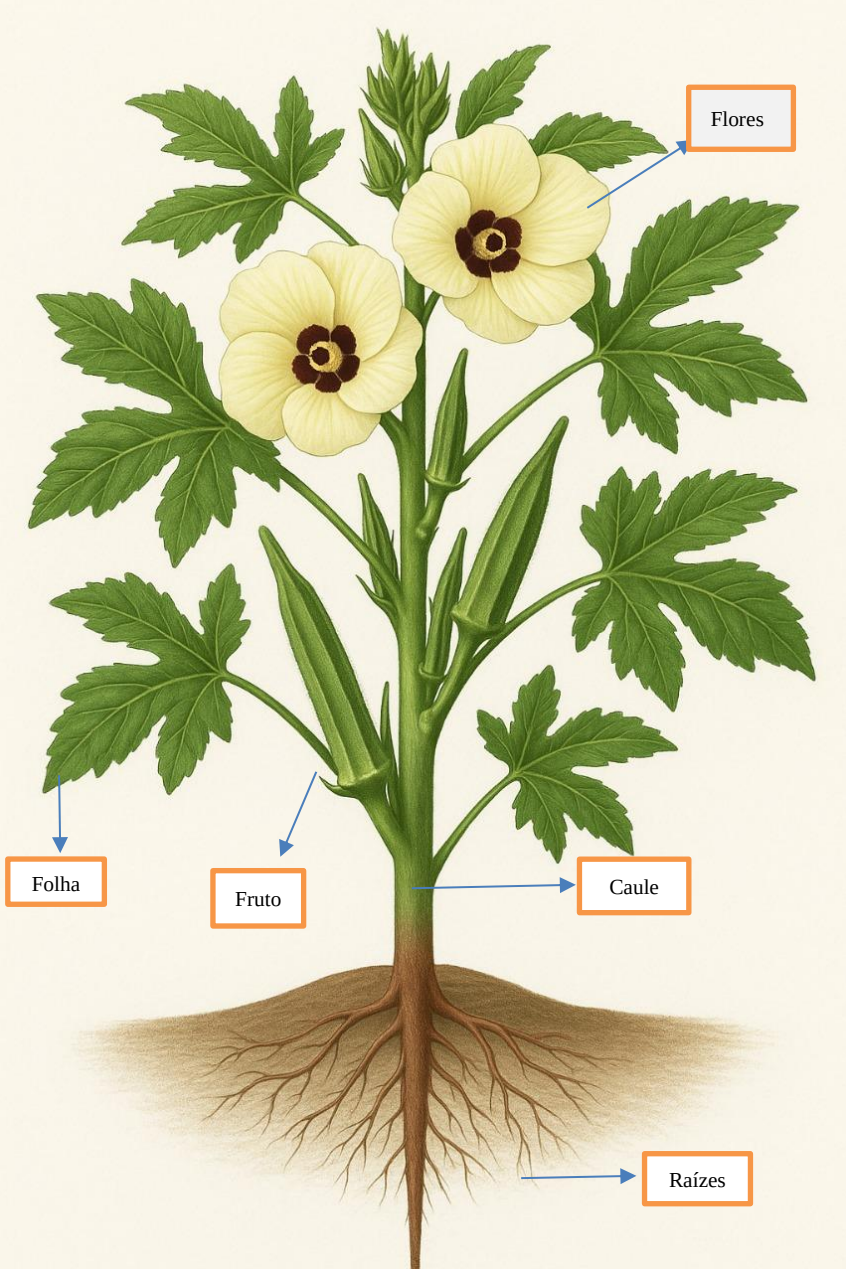
Grande parte da produção de quiabo no Brasil é realizada pela agricultura familiar, responsáveis por garantir o abastecimento interno e fortalecer a economia local (9). O quiabo (Figura 2) é rico em diversas vitaminas, como A, B1 e C, além de minerais como cálcio e ferro (10). Além disso, essa hortaliça destaca-se por seu elevado potencial econômico, decorrente da diversificação de seus usos, tais como produção de óleo e proteínas, suas folhas também podem ser consumidas em saladas, enquanto as sementes apresentam aplicação tanto na alimentação humana quanto na produção de margarinas (11).

O quiabeiro caracteriza-se como uma espécie de hábito arbustivo e porte ereto, apresentando caule de consistência semilenhosa, que pode atingir até três metros de altura. Seu sistema radicular é profundo, composto por raiz pivotante capaz de alcançar cerca de 1,90 m de profundidade (12), embora a maior densidade de raízes concentre-se nos primeiros 20 cm do perfil do solo (8). A espécie possui ciclo vegetativo compreendido entre 0 e 64 dias após a semeadura (DAS), seguido pelo período reprodutivo, que ocorre entre 65 e 120 dias DAS. A floração inicia-se entre 40 e 60 dias após a semeadura, manifestando-se

primeiramente no caule principal e, aproximadamente três semanas depois, nos ramos laterais. Suas flores, de grandes dimensões e coloração amarela, antecedem o processo de frutificação, o qual pode estender-se por mais de 200 dias (12). O fruto consiste em uma cápsula pubescente, de formato alongado e seção transversal variável, podendo ser circular ou pentagonal, com coloração que varia do branco a tonalidades de verde-escuro (13). Ressalta-se que a duração dos períodos de floração e frutificação é condicionada tanto pela cultivar quanto pelos fatores ambientais. Em locais onde a variação térmica entre o dia e a noite é reduzida, observa-se maior produtividade de sementes (8).

A planta de quiabo requer par o seu bom desenvolvimento temperaturas mais elevadas, variando entre 21,1°C e 29,4°C, médias máximas de 35°C e as mínimas de 18,3°C (14). O crescimento dessa cultura é prejudicado em condições de clima frio, caracterizadas por dias curtos e noites longas, uma vez que o quiabeiro demanda de temperaturas altas para otimizar seu desempenho no campo (15), para se desenvolver. O quiabeiro é sensível ao frio, podendo provocar atraso na frutificação, abortamento de flores e redução na produtividade (8). Quanto ao solo, não é uma cultura muito exigente, pois se desenvolve bem em diversos tipos, desde areno-argilosos até argilo-arenosos. No entanto, não tolera solos excessivamente ácidos, e o pH ideal para seu cultivo varia de 6,0 a 6,8.

Figura 2: Desenho digital de uma planta de quiabo (*Abelmoschus esculentus*), exibindo suas estruturas: raízes, caule, folhas, flores e frutos.



Fonte: TOLEDO, S. C. P. (29)

A seguir está discriminado a composição química de 100 g de quiabo, no ponto ideal de consumo (Tabela 1).

Tabela 1: Principais constituintes químicos presentes em 100 g de fruto do quiabo, que equivalem de 8 a 12 frutos no ponto de consumo.

Constituintes do Quiabo	Teor presente no fruto (%)
Calorias	39 calorias
Água	90 %
Proteínas	2g
Carboidratos	6g
Vitamina A	850 mg
Vitamina B2	75mg
Vitamina C	25,8 mg

Vitamina B1	130 mg
Vitamina B5	0,70 mg
Fósforo	53 mg
Ferro	0,6 mg
Tiamina	0,12 g
Ácido ascórbico	30 g

Fonte: Revista da Série Produto Rural, 1998.

O Café

O Brasil é responsável por aproximadamente um terço da produção mundial de café, consolidando-se como o principal país produtor dessa commodity por mais de 150 anos consecutivos, conforme dados (16). Além de ser a segunda bebida mais popular globalmente, sendo superado somente pela água. Essa estatística sublinha a significativa relevância do café em escala mundial.

No atual contexto, referente as exigências dos consumidores de café, sua bebida é buscada por uma experiência sensorial de alta qualidade; visando a valorização na cadeia de produção (17). Contudo, a excelência do grão está ligada a uma série de elementos, como suas propriedades físicas, químicas e sensoriais, bem como os fatores genéticos e ambientais que influenciarão no resultado final da bebida (18).

Quando o grão cru passa pelo processo de torrefação, ocorrem várias reações que são responsáveis por cada uma dessas características sensoriais. Na Tabela 2 estão descritos os principais constituintes do grão de café cru.

Tabela 2: Principais constituintes das sementes ‘grãos’ do cafeeiro *in natura*.

Constituintes do grão	Teor presente no grão (%)
Lipídeos	13 a 20
Água	8 a 11
Proteínas	6 a 12
Ácidos clorogênicos	6 a 9
Cafeína	1 a 2,5
Açúcares	7 a 30
Mineiras	3 a 4
Celulose	15 a 20

Fonte: HOFFMANN, 2011.

Borra de café especial como substrato

A utilização de substâncias orgânicas como fertilizantes para melhorar a qualidade do solo representa uma importante opção ambiental para promover a sustentabilidade na agricultura (19). No entanto, faz-se necessário continuar investindo em pesquisas para aprimorar esse processo. A reutilização de resíduos agrícolas confere um benefício, o que resulta na redução dos impactos ambientais (20).

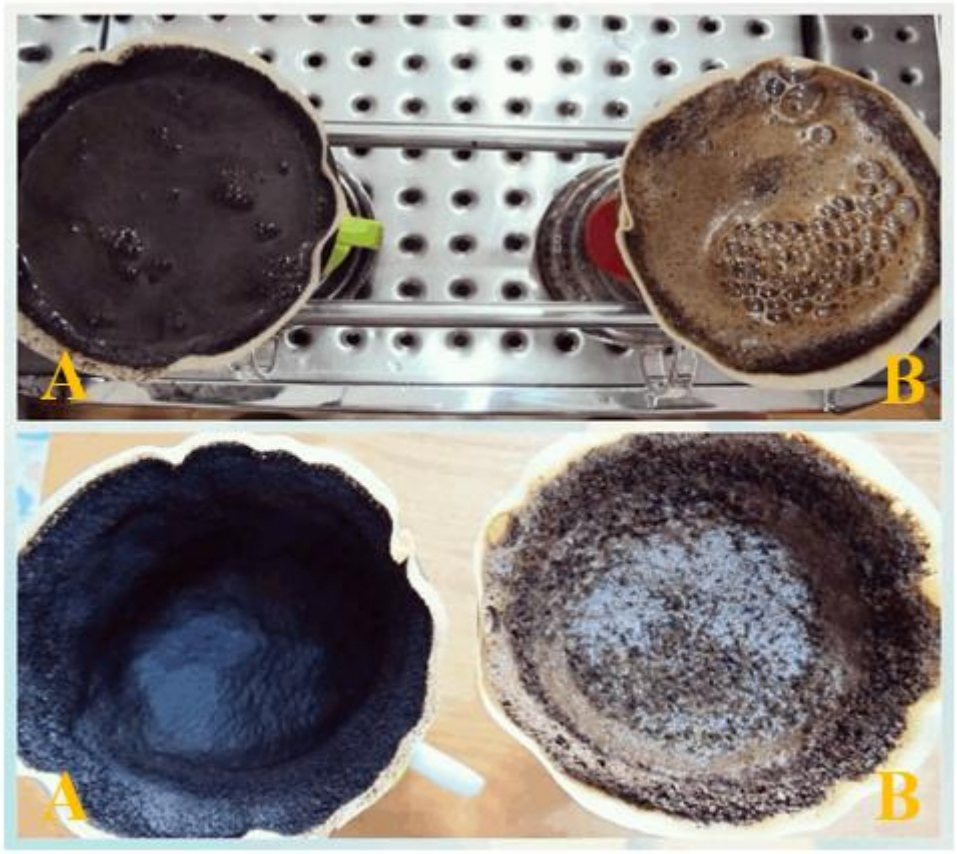
A borra de café representa um desafio ambiental para cafeterias, sendo considerada um subproduto sem aproveitamento, frequentemente destinado ao lixão ou a incineração (21). Tanto a borra de café proveniente de domicílios quanto a industrial, constituem num resíduo que pode ser reutilizado como composto orgânico, ou como substrato para a

produção de mudas, contribuindo para a redução do impacto ambiental causado pela sua disposição, podendo ser incorporada diretamente ao solo, seja ela úmida ou seca (22).

A borra de café comum, tradicionalmente utilizada, exibe uma tonalidade de mais escura, caracterizada por um tom de marrom profundo, que resulta de seu processo de preparo e da composição dos grãos. Em contraste, a borra de café especial apresenta uma cor mais suave e ligeiramente mais clara, com um tom que remete ao chocolate, evidenciando não apenas a diferença na variedade do grão, mas também nos métodos de processamento e nas características organolépticas do café (Figura 3). Essa variação na coloração pode estar associada a diferentes níveis de torra e composição dos grãos utilizados, o que pode influenciar o perfil de nutrientes presentes na borra de café, afetando, por consequência, suas propriedades agronômicas quando utilizadas como substrato ou fertilizante.

Os perfis de torrefação podem ser agrupados em três categorias principais: claro, médio e escuro. A torra clara distingue-se pela aplicação de temperaturas elevadas em intervalos de tempo reduzidos. A torra intermediária, por sua vez, é conduzida sob condições térmicas moderadas e em duração mediana. Já a torra escura caracteriza-se pela utilização de temperaturas relativamente mais baixas associadas a um período de exposição prolongado (23).

Figura 3: Diferença entre café comum e café especial. **A:** Café Comum; **B:** Café Especial. É possível observar uma diferença clara entre a borra de café comum e a borra de café especial, sendo essa distinção particularmente evidente na coloração dos resíduos.



Fonte: TOLEDO, S. C. P. (29).

O processo de preparo da bebida café resulta na geração de um subproduto conhecido como borra de café, que apresenta características significativas tanto do ponto de vista químico quanto agronômico (5). Esse subproduto é rico em açúcares e matéria orgânica, elementos que desempenham um papel fundamental na melhoria das propriedades físico-químicas do solo. Além disso, a borra de café contém uma diversidade de compostos orgânicos e inorgânicos, incluindo minerais essenciais como potássio, fósforo e magnésio. A seguir, serão detalhados os nutrientes identificados em uma amostra de borra de café especial, conforme os resultados obtidos por meio de uma análise laboratorial, ressaltando seu potencial para aplicações agrícolas e de compostagem.

A reutilização desses resíduos na agricultura tem sido uma prioridade para os países produtores como uma fonte material orgânico, principalmente devido a motivos econômicos e a busca por uma agricultura autossustentável (4). De modo que é considerada um recurso de grande valor em diversas áreas, como na agricultura podendo até ser repelente de insetos para as plantas (24). Além disso, tem sido amplamente investigada para aplicações nas indústrias alimentícia e cosmética, bem como em outras áreas. Outro uso relevante da borra de café é na produção de bioplásticos, o que tem atraído crescente interesse (25).

A crescente demanda por café especial tem levado a um aumento significativo na produção de resíduos, especialmente a borra de café, que é o principal subproduto gerado após a extração do café com água quente ou vapor. Esse resíduo sólido, de cor marrom-clara e alta umidade, é rico em compostos bioativos. A borra de café é gerada tanto no preparo

doméstico da bebida, em residências, cafeterias e restaurantes, quanto na produção industrial de café solúvel, o que tem despertado grande interesse na busca por alternativas que possibilitem a agregação de valor a esse subproduto (26). Este rico subproduto, muitas vezes descartado sem aproveitamento, possui potencial considerável para ser utilizado como substrato em diversas aplicações, o que não apenas contribui para a mitigação do impacto ambiental, mas promove a sustentabilidade na cadeia produtiva do café. A utilização da borra de café especial como substrato em meu trabalho justifica-se pela necessidade de explorar alternativas ecológicas para o manejo de resíduos orgânicos, além de investigar suas propriedades físico-químicas e o potencial para melhorar o desenvolvimento de plantas em sistemas de cultivo, oferecendo uma solução viável.

Em relação ao ponto de vista ambiental, o uso da borra de café contribui significativamente para a redução do volume de resíduos orgânicos descartados em aterros sanitários, onde poderiam gerar metano, um gás de efeito estufa. Ao reutilizar este resíduo como substrato, promove-se a economia circular e a sustentabilidade, minimizando o impacto ambiental associado à produção de café e ao descarte inadequado de seus subprodutos. Essa prática, além de agregar valor ao resíduo, também pode reduzir a dependência de substratos comerciais, que muitas vezes são produzidos a partir de recursos naturais não renováveis, como a turfa, contribuindo assim para a conservação dos ecossistemas naturais (27).

O uso da borra de café especial como substrato no cultivo do quiabo apresenta-se como uma prática inovadora voltada à agricultura sustentável. De acordo com levantamento realizado pela Federação dos Cafeicultores do Cerrado (30), o consumo de cafés especiais no Brasil tem crescido em média 15% ao ano, impulsionando a necessidade de destinação adequada dos resíduos gerados em cafeterias gourmet. A borra de café, subproduto resultante do preparo da bebida, constitui uma fonte rica em nutrientes minerais, de fácil obtenção e com potencial para uso tanto na adubação quanto na composição de substratos, contribuindo para a redução de custos produtivos (24).

No cultivo do quiabo, cultura que demanda substratos de qualidade e nutrição equilibrada, esse resíduo apresenta benefícios ao desenvolvimento da planta e, simultaneamente, atua na mitigação de impactos ambientais, ao reduzir o descarte inadequado e incorporar práticas de manejo sustentável. Os resultados obtidos (Tabela 3) demonstram a eficiência da borra de café como insumo alternativo, evidenciando sua capacidade de promover práticas agrícolas mais sustentáveis e diversificadas.

Tabela 3: Análise laboratorial da borra de café especial e comum pelo laboratório SoloCria, seguindo integralmente os protocolos descritos nos Capítulos 1, 2, 3 e 4 do Método (31).
Fonte: TOLEDO, S. C. P. (29)

Tabela 3: Análise química da borra de café especial em comparação com a borra de café tradicional

Nutrientes	Café Especial (%)	Café Comum (%)
P	**0,3**	**0,96**
N	**2,26**	**1,62**
K	**0,5**	**0,53**
Ca	**0,21**	**0,08**
Mg	**0,18**	**0,13**
S	**0,11**	**0,05**
Cu	**0,002**	**0,4**
Fe	**0,002**	**0,01**
Mn	**0,003**	**0,02**
Zn	**0,002**	**0,01**
B	**0,001**	-
pH	**5,8**	-
Umidade	**31,4**	-
Mat. Mineral	**1,4**	-
C. Eletrica (ms/cm)	**0,9**	-

Na Tabela 3 estão apresentadas as análises químicas da borra de café convencional, descritas por (32), e da borra de café especial (29). Ao comparar os resultados (Figura 4), verifica-se que a borra de café especial demonstra maior eficiência em função de sua composição nutricional mais enriquecida. Como exemplo, a borra de café especial apresenta 2,26% de nitrogênio, 0,21% de cálcio e 0,5% de potássio, enquanto a borra de café convencional contém 1,62% de nitrogênio, 0,08% de cálcio e 0,53% de potássio.

Figura 4: Plântulas de quiabo com borra de café especial aos 30 dias de semeadura (DAS) com diferentes concentrações de borra de café: T1 (0%), T2 (5%), T3 (10%), T4 (20%), T5 (40%), T6 (50%).



Fonte: TOLEDO, S. C. P. (29)

No cultivo do quiabeiro, os nutrientes, em especial em maior quantidade na borra de café especial são determinantes para o desenvolvimento e a produtividade da cultura. O nitrogênio, por exemplo, é indispensável ao crescimento vegetativo, promovendo folhas e caules vigorosos, fatores essenciais ao ciclo produtivo do quiabeiro (8). O cálcio, por sua vez, é vital para a integridade estrutural das paredes celulares e para a redução de distúrbios fisiológicos, como a necrose apical (33). O potássio, presente em concentrações semelhantes nas duas amostras, exerce função relevante na resistência da planta, aumentando sua tolerância a estresses abióticos como baixas temperaturas e déficit hídrico (34).

Dessa forma, a aplicação de diferentes tipos de borra de café como fertilizante deve considerar não apenas a concentração de nutrientes, mas também as exigências específicas da cultura, especialmente o equilíbrio entre nitrogênio, cálcio e potássio, a fim de assegurar um manejo produtivo e ambientalmente sustentável.

A borra de café especial nas concentrações de 5 a 10 % apresentou efeitos benéficos no crescimento das mudas de quiabeiro semelhante ao substrato comercial (29). As concentrações menores exerceram influência positiva na germinação das plantas, no entanto, concentrações elevadas, acima de 40%, acarretaram uma redução na taxa de germinação da cultura (29).

Diante dos trabalhos revisados, observa-se um grande potencial da utilização da borra de café especial, no papel de um substrato alternativo e vantajosa para produtores de hortaliças, em especial os da agricultura familiar. Esta nova tecnologia de aproveitamento deste resíduo, que seria descartado na natureza, possibilita uma solução econômica e eficaz para promover o crescimento e o desenvolvimento das plantas. O substrato desempenha um papel fundamental no cultivo de hortaliças, podendo atuar como meio de suporte para o desenvolvimento radicular e garantindo condições adequadas para a germinação, crescimento e desenvolvimento das plantas. Sua composição influencia a retenção de água, aeração e disponibilidade de nutrientes. Substratos bem estruturados favorecem o equilíbrio

hídrico e nutricional, promovendo um ambiente propício para a absorção de nutrientes e o desenvolvimento saudável das raízes (28).

CONSIDERAÇÕES E PERSPECTIVAS

O quiabeiro destaca-se como cultura de grande relevância econômica e nutricional, cuja produtividade depende do uso de substratos adequados para o bom desenvolvimento das mudas. Ao mesmo tempo, a cadeia produtiva do café, embora estratégica para a economia brasileira, gera grandes volumes de borra como resíduo, cujo descarte inadequado pode causar impactos ambientais.

Portanto, a utilização da borra de café especial apresenta grande potencial para ser utilizada como componente de substratos surge como alternativa sustentável, unindo ganhos agronômicos à redução de resíduos. Contribuindo dessa maneira para uma agricultura mais eficiente e ambientalmente responsável, em consonância com os desafios da agricultura moderna.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, professor Rodrigo Vieira da Silva, pela orientação, apoio e dedicação ao longo do desenvolvimento desta pesquisa, sempre contribuindo com seu conhecimento e incentivo. Estendo também minha gratidão ao Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos, pela oportunidade de formação, pelo suporte acadêmico e pelas condições oferecidas para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

1. ANUÁRIO HF 2024: Quiabo Mercado em Ascensão. In: **Quiabo Mercado em Ascensão**. [*S. l.*], 28 mar. 2024. Disponível em: https://revistacampoenegocios.com.br/cafes-especiais-crescem-15-anualmente/. Acesso em: 11 set. 2025.
2. ABIC - Associação Brasileira da Indústria de Café. **Indicadores da indústria de café 2023.** Disponível em https://estatisticas.abic.com.br/estatisticas/indicadores-da-industria/indicadores-da-industria-de-cafe-2023/.
3. Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira: Café- Segundo Levantamento SAFRA 2024**, v.10, n. 2, p. 1-45. Disponível em: https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-cafe.
4. OLIVEIRA, P.; COSTA, A.; LIMA, L. Utilização da Borra de Café na Produção de Mudas de Chicória. **Agroecologia.** v.9, n.4, Dourado, MS; 19/21 nov 2014.
5. HERMOSA, V. A. B. Aproveitamento dos resíduos do processamento semi-seco do café para a produção de compostos de valor agregado. 2014. 76 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2014.
6. ZIETEMANN, C.; ROBERTO, S. R. Produção de mudas de goiabeira (Psidium guajava L.) em diferentes substratos, **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.29, n.1, p.137-142, 2007.
7. RODRIGUES I.S., MOURA, A.B.A., SOUSA, H.S., COSTA, M.V.O., MIGUEL, T.B., TUSSOLINI, L, **Reaproveitando Resíduos: Maneiras de destinação e**

reutilização da Borra de Café, XXV Congresso Brasileiro de Ciência Tecnologia de Alimentos, Gramado-RS, 2016.

8. FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças.** Viçosa: UFV, v. 3, p. 421, 2008.
9. PAES, H. M. F.; ESTEVES, B. dos S.; SOUSA, E. F, de. Determinação da demanda hídrica do quiabeiro em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Ciência Agronômica,** v. 43, n. 2, p. 256-261, Fortaleza, 2012.
10. EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, **Catálogo Brasileiro de Hortaliças, saiba como plantar e aproveitar 50 das espécies mais comercializadas no País,** Brasília-DF: Embrapa Hortaliças, 60 p, Brasília-DF, 2011ª.
11. MÜLLER, J. J. V., **Produção de sementes de quiabo (*Abelmoschus esculentos* (L.) Moench).** In: Müller, J.J.V & Casali, V.W.D. SEMINÁRIO DE OLERICULTURA, UFV v. 2 p. 107 – 149, 1982.
12. GALATI, V.C. **Crescimento e acúmulo de nutrientes em quiabeiro 'Santa Cruz 47'.** p. 26, Dissertação de mestrado, Jaboticabal: UNESP, 2010.
13. PASSOS, F. A.; MELO, A. M. T, TAVARES, M.; YURI, V. A. Avaliação de cor e formato do fruto em quiabo. **Horticultura Brasileira,** v.18, suplemento, p.647-648, 2000.
14. SEDIYAMA, M. A. N.; SANTOS, M. R. DOS; VIDIGAL, S. M.; SALGADO, L. T.; PEDROSA, M. W.; JACOB, L. L. Produtividade e estado nutricional do quiabeiro em função da densidade populacional e do biofertilizante suíno**. Bragantia**, v.68, n.4, p.913–920, 2009.
15. MORAES, E. R. de; REIS, A. C.; SILVA, N. E. P.; FERREIRA, M.; MENEZES, F. G. de. Nutrientes no solo e produção de quiabo conforme doses de silicato de cálcio e magnésio. **Journal of Neotropical Agriculture**, v.5, n.1, p.60–65, 2018.
16. ABIC - Associação Brasileira da Indústria de Café. **Indicadores da indústria de café 2023.** Disponível em https://estatisticas.abic.com.br/estatisticas/indicadores-da-industria/indicadores-da-industria-de-cafe-2023/.
17. MARTINEZ, H. E. P. Nutrição mineral do cafeeiro e qualidade da bebida. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, Suplemento, p. 838-848, nov/dez, 2014.
18. FREITAS, M. N. Identification of Physiological Analysis Parameters Associated with Coffee Beverage Quality. **Ciência e Agrotecnologia**, 2020.
19. DANTAS, A. M. **Materiais orgânicos e produção de alface americana**. Disponível em http://bdm.unb.br/bitstream/10483/1830/1/2011_ Aureliano Morais Dantas. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina veterinária. Universidade de Brasília, Monografia, Brasília, 2011.
20. CABRAL, M. S, MORIS, V. A. S. **Reaproveitamento da borra de café como medida de minimização da geração de resíduos.** Disponível em http:// www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_tn_stp_121_788_17072, São Carlos-SP, 2010.
21. OLIVEIRA, M. D.; MINAMI K. ROSSI, R. A.; **Avaliação do uso da borra de café como substrato para horticultura**. Disponível em: http://www.aba-agroecologia.org.br/revista/index.php/cad/article/viewFile/16748/1045, São Paulo, 2011.
22. VIOTTO, L. A. **Projeto e avaliação econômica de sistemas de secagem de borra de café.** Tese de Doutorado, Campinas, 1991.
23. PUTRA, ANDIKA, S.; KARIM, A. M.; Theoretical study of fluidization and heat transfer on fluidized bed coffee roaster. **AIP Conference Proceedings**, v. 2097, p. 1–7, 2019.

24. FERREIRA, A. B. Influência da borra de café no crescimento e nas propriedades químicas e biológicas de plantas de alface (*Lactuca sativa* L.), Dissertação (Mestrado em Qualidade e segurança alimentar), **Instituto Politécnico de Bragança – Escola Superior Agrária**, p. 115, Bragança, 2011.
25. DOGNINI, D.; SILVA, E.B.; TIGRE, I.J.S.; MACHADO, A.T.P.; KNOP, A.F.; ARDILES, L.G.; LIMA, S.; DIAS, A.N. Síntese de Bioplástico Utilizando a Celulose Extraída da Borra de Café. **Anais**. Semana de Formação Acadêmica e Científica e Cultural e Humanística (FACCHU - IFC Campus Brusque), v. 2, n. 1. Brusque-SC, 2020.
26. ALVES, R.C.; RODRIGUES, F.; NUNES, M.A.; VINHA, A.F.; OLIVEIRA, M.B.P.P. State of the art in coffee processing by-products. *In*: GALANAKIS, C.M. **Handbook of Coffee Processing By-Products**. Academic Press, Elsevier, v.1, p.1-26. 2017.
27. SOUSA, L.M., FERREIRA, M. C. Spent coffee grounds as a renewable source of energy: an analysis of bulk powder flowability. **Particuology** 43, 92–100. DOI: https://doi.org/ 10.1016/j.partic.2018.06.002, 2019
28. HOFFMANN, C.E. **Resfriamento no processo de torra nas características de qualidade tecnológica e sensorial do café**, Dissertação (Mestrado em ciências) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2001.
29. TOLEDO, S. C. P. **BORRA DE CAFÉ ESPECIAL COMO SUBSTRATO PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS DE QUIABEIRO (Abelmoschus esculentus)**. 2025. 40 p. Trabalho conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal Goiano, Campus Morrinhos, Morrinhos – GO, 2025.
30. RURAL, Revista. Cafés especiais do Brasil crescem cerca de 15% anualmente. *In*: **Cafés especiais do Brasil crescem cerca de 15% anualmente**, 8 nov. 2022. Disponível em: https://www.revistarural.com.br/2022/11/08/cafes-especiais-do-brasil-crescem-cerca-de-15-anualmente/. Acesso em: 14 set. 2025.
31. MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, **Café**. Disponível em:< http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/cafe>, 2019.
32. PEIXOTO, F. R.; SILVA, **Germinação e desenvolvimento inicial de giboma (*Solanum macrocarpon* L.): Influência de concentração de borra de café (*Coffea* spp.),** Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica, Programa Institucional de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, Morrinhos, GO, 2017.
33. HADI, M. R.; KARIMI, N. The role of calcium in plants' salt tolerance. **Journal of Plant Nutrition**, v. 35, p. 2037–2054, 2012.
34. GRZEBISZ, W.; GRANSEE, A.; SZCZEPANIAK, W.; DIATTA, J. The effects of potassium fertilization on water-use efficiency in crop plants, **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 176, n. 3, p. 355-374, 2013. DOI: https://doi.org/10.1002/jpln.201200287.
35. SILVA, R.V. Mercados Mundiais mais promissores quanto o assunto é o café. In: **Campo & Negócios: Anuário do Café** 2020. PP.66-68. 2020.
36. ZIETEMANN, C.; ROBERTO, S. R. Produção de mudas de goiabeira (Psidium guajava L.) em diferentes substratos. Revista Brasileira de Fruticultura, v.29, n.1, p.137-142, 2007.
37. COSTA, C.; BESSA, F.; **Demanda por cafés especiais do Brasil cresce 15% ao ano**. Brasília, DF: Embrapa Café, 2014.

Capítulo 26

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-26

BACTERIÓFAGOS DE AMPLO ESPECTRO: UMA FERRAMENTA PARA A AGRICULTURA SUSTENTÁVEL

Aline Brito Vaz*; Laryssa Marcia Caetano; Luis Felipe Paulino; Beatriz Aparecida da Silva; Miriam Fumiko Fujinawa; Leonardo Cunha Albuquerque; Nadson de Carvalho Pontes

**Autor correspondente (Aline Brito Vaz) – Email:alinefito@gmail.com*
Filiação: Centro de Excelência em Bioinsumo-CEBIO/ IFGoiano Campus Morrinhos

RESUMO
A agricultura moderna enfrenta o desafio de conciliar o aumento da produção de alimentos com a sustentabilidade ambiental, agravado pela resistência bacteriana aos pesticidas convencionais. Este estudo teve como objetivo revisar o potencial dos bacteriófagos de amplo espectro como alternativa sustentável para o controle de doenças bacterianas em culturas agrícolas. O texto aborda a biologia dos fagos, destacando seus mecanismos de ação, bem como as interações moleculares com os sistemas de defesa bacterianos, como CRISPR-Cas e restrição-modificação. A metodologia consistiu em revisão de literatura científica sobre bioprospecção, caracterização e aplicação de fagos em diferentes culturas. Foram descritos casos de sucesso no controle de doenças em tomate, citros e arroz, evidenciando reduções significativas na incidência de fitopatógenos e ganhos de produtividade. Os resultados apontam que a aplicação de coquetéis de fagos pode reduzir a incidência de murcha bacteriana em até 80%, além de diminuir lesões causadas por *Xanthomonas* spp. em citros e reduzir a severidade da queima bacteriana em arroz, com impacto positivo na produção. Apesar de desafios regulatórios e de formulação, conclui-se que os bacteriófagos representam uma ferramenta promissora para a agricultura sustentável, contribuindo para a segurança alimentar e a preservação ambiental.

Palavras-chave: agricultura sustentável; bacteriófagos; controle biológico; inovação

INTRODUÇÃO

A agricultura moderna enfrenta um dilema crescente: a necessidade de aumentar a produção de alimentos para uma população global em expansão, enquanto se busca a redução drástica do impacto ambiental. O modelo convencional, que historicamente dependeu de insumos químicos para o controle de pragas e doenças, tem gerado preocupações significativas. O uso excessivo de bactericidas sintéticos, em particular, contribui para a contaminação do solo e da água, além de induzir a resistência bacteriana, um problema que ameaça a segurança alimentar e a saúde pública (1). Diante desse cenário,

a busca por soluções mais sustentáveis e biologicamente compatíveis tornou-se uma prioridade global.

Nesse contexto, os bacteriófagos (vírus que atacam especificamente bactérias) emergem como uma ferramenta promissora para o controle de doenças bacterianas em plantas. Conhecidos por sua especificidade e abundância em ecossistemas naturais, os fagos não agridem a flora benéfica do solo ou a saúde humana, oferecendo uma alternativa "verde" aos compostos químicos (2). Em particular, os fagos de amplo espectro são especialmente valiosos, pois conseguem atacar e neutralizar uma variedade de cepas de bactérias patogênicas, tornando-os ideais para o manejo em campo onde diferentes estirpes de patógenos podem estar presentes.

Esta revisão de literatura tem como objetivo principal explorar o papel dos bacteriófagos de amplo espectro na agricultura sustentável. O texto abordará a importância da bioprospecção—o processo de busca e isolamento desses vírus—como um passo fundamental para o desenvolvimento de bioagentes eficazes. Adicionalmente, serão apresentados casos de sucesso que demonstram o potencial dos fagos para o controle de doenças em culturas de grande importância econômica, validando seu papel como uma solução segura e poderosa para os desafios fitossanitários da agricultura do século XXI (3).

Para construir esta revisão, foi realizada uma busca sistemática da literatura em bases científicas, detalhada a seguir.

METODOLOGIA DA REVISÃO

A revisão foi realizada entre julho e setembro de 2025, a partir de levantamento bibliográfico em bases de dados científicas como Scopus, Web of Science, PubMed, Google Scholar e SciELO, complementadas por documentos institucionais e teses. As buscas utilizaram combinações dos descritores em português e inglês: *“bacteriófagos”*, *“phage biocontrol”*, *“plant pathogenic bacteria”*, *“antimicrobial resistance”* e *“biological control”*.

Foram incluídos artigos originais publicados em periódicos revisados por pares, além de revisões narrativas e sistemáticas que auxiliaram na contextualização do tema. Teses, relatórios técnicos e documentos institucionais foram incorporados quando trouxeram informações relevantes sobre impactos ambientais ou aspectos regulatórios. Excluíram-se publicações sem dados científicos (ex.: notícias ou textos de divulgação).

O levantamento inicial resultou em cerca de 120 referências, das quais 38 foram selecionadas por apresentarem relação direta com bacteriófagos, controle biológico de fitopatógenos ou resistência antimicrobiana. Entre elas, 24 correspondem a artigos originais com resultados experimentais, 8 a artigos de revisão e 6 a teses, relatórios técnicos ou documentos institucionais.

HISTÓRICO E BIOLOGIA DOS FAGOS

Os bacteriófagos, vírus especializados em infectar bactérias, foram descobertos de forma independente no início do século XX. O microbiologista inglês Frederick Twort (4), em 1915, observou um agente invisível que causava a lise (ruptura) de colônias bacterianas. Pouco tempo depois, em 1917, o cientista franco-canadense Félix d'Hérelle (5) fez a mesma descoberta, cunhando o termo "bacteriófago" e reconhecendo imediatamente seu potencial terapêutico. A partir de então, a fagoterapia, o uso de fagos para combater infecções bacterianas, tornou-se um campo de pesquisa relevante.

A estrutura de um fago é notavelmente complexa, especialmente para a sua simplicidade biológica. A maioria dos fagos possui uma "cabeça" (ou cápside), que abriga o material genético (DNA ou RNA), e uma "cauda" com fibras que se ligam especificamente a receptores na superfície da bactéria hospedeira. É essa especificidade que os torna ferramentas precisas, capazes de atacar um patógeno sem afetar a microbiota benéfica do ambiente (6).

A sua eficácia como agente de controle biológico reside principalmente em seu ciclo de vida. Os fagos podem seguir dois ciclos principais, ciclo lítico e ciclo lisogênico.

Ciclo Lítico: Este é o ciclo de interesse para o controle de patógenos. Após se ligar à bactéria, o fago injeta seu material genético, sequestrando a maquinaria celular para replicar suas próprias partículas. A célula hospedeira se transforma em uma "fábrica" viral, produzindo centenas de novos fagos. No final do ciclo, a bactéria se rompe (**lise**), liberando os novos fagos, que então buscam e infectam novas bactérias. Esse processo rápido e eficaz garante a eliminação do patógeno (7).

Ciclo Lisogênico: Em vez de destruir a bactéria imediatamente, o material genético do fago se integra ao DNA do hospedeiro. O fago "dormente" se replica junto com a célula bacteriana, passando para as células filhas sem causar danos visíveis. Fagos lisogênicos são menos desejáveis para a fagoterapia, pois não eliminam o patógeno, e a sua utilização pode

apresentar riscos caso o fago "dormente" se ative e passe a codificar toxinas. Por essa razão, a bioprospecção de fagos para uso agrícola foca na busca por isolados de natureza lítica (8).

A capacidade dos fagos de replicar-se no local da infecção e a sua onipresença em ecossistemas naturais os posicionam como a solução ideal para o manejo sustentável de doenças bacterianas.

O PROBLEMA DAS DOENÇAS BACTERIANAS

A gestão de fitopatógenos bacterianos sempre foi um desafio central na agricultura, exigindo uma corrida constante contra a evolução microbiana. Historicamente, a solução mais comum para o controle de doenças como a queima-do-arroz, cancro cítrico e a mancha bacteriana em hortaliças tem sido a aplicação de bactericidas à base de cobre e, em alguns casos, de antibióticos (9). No entanto, essa dependência excessiva criou um cenário insustentável.

As abordagens convencionais de controle falham por uma série de razões interligadas. A primeira e mais urgente é a emergência de resistência bacteriana, um fenômeno global que torna os produtos químicos ineficazes e ameaça a segurança da produção de alimentos (10). Bactérias patogênicas evoluem rapidamente, desenvolvendo mecanismos como a alteração dos alvos moleculares ou a ativação de bombas de efluxo para expulsar os agentes tóxicos, tornando-se imunes aos tratamentos e forçando os agricultores a aumentarem as doses ou a buscarem novos compostos, em um ciclo vicioso e prejudicial (11).

Além da resistência, os impactos negativos dessas soluções são sistêmicos. A natureza de amplo espectro dos bactericidas químicos faz com que eles ataquem indiscriminadamente tanto os patógenos quanto a microbiota benéfica do solo, que é essencial para a fertilidade e a saúde do ecossistema agrícola (12). A aplicação continuada de bactericidas cúpricos, por exemplo, leva ao acúmulo de íons de cobre no solo, que são tóxicos para os microrganismos e podem comprometer a produtividade a longo prazo (13). O escoamento desses produtos para rios e lagos contamina ecossistemas aquáticos, afetando a biodiversidade e a qualidade da água (14).

Do ponto de vista econômico, a ineficácia dos bactericidas atuais resulta em perdas de colheitas e em prejuízos financeiros significativos para os produtores, que investem em tratamentos que não entregam o resultado esperado (15). As limitações da agricultura convencional criam, portanto, um impasse que exige a busca por soluções inovadoras,

ecologicamente equilibradas e com mecanismos de ação distintos, como é o caso dos bacteriófagos (16).

FAGOS DE AMPLO ESPECTRO NA AGRICULTURA

O controle biológico de doenças bacterianas com o uso de fagos é uma estratégia promissora, e sua eficácia reside na capacidade desses vírus de atuar como agentes de ataque. A grande maioria dos fagos é altamente específica, atacando apenas uma ou poucas cepas de uma espécie bacteriana (17). Contudo, para o uso em campo, onde a diversidade de patógenos é enorme, a especificidade pode se tornar uma limitação. É por isso que o foco da pesquisa se concentra nos fagos de amplo espectro e na combinação de diferentes fagos em coquetéis (18).

A ideia central é que um coquetel contendo fagos que atacam diferentes cepas de um mesmo patógeno pode garantir que, mesmo que uma cepa seja resistente a um fago, ela será eliminada por outro, aumentando a eficácia do tratamento (19).

As vantagens dessa abordagem são evidentes. Primeiro, os fagos se replicam no local da infecção, o que significa que sua população aumenta onde o patógeno está presente, ao contrário dos pesticidas químicos, que precisam ser aplicados repetidamente em altas doses. Em segundo lugar, os fagos são altamente específicos, não prejudicando o hospedeiro vegetal ou a microbiota do solo, o que os torna uma solução ecologicamente segura (20).

O risco de desenvolvimento de resistência aos coquetéis de fagos é significativamente menor do que aos antibióticos e bactericidas químicos, pois a diversidade de "armas" no arsenal do coquetel dificulta a evolução de mecanismos de defesa pela bactéria (21).

MECANISMOS DE INTERAÇÃO FAGO-BACTÉRIA: A BATALHA MOLECULAR

O controle de patógenos por fagos não é um evento fortuito; é o resultado de uma batalha molecular complexa, onde cada lado possui estratégias sofisticadas de ataque e defesa. Para entender a eficácia do fago, é útil analisar sua "caixa de ferramentas" biológica em resposta às defesas da bactéria (22).

O ATAQUE FÍSICO E AS FERRAMENTAS DO FAGO

O processo de infecção do fago começa com a sua ferramenta mais crucial: a especificidade. Agindo como uma chave mestra que se encaixa em uma única fechadura,

as fibras da cauda do fago reconhecem receptores específicos na superfície da bactéria. Uma vez ancorado, o fago injeta seu material genético através de sua cauda, que funciona como uma seringa molecular, perfurando a parede e a membrana bacteriana. O DNA injetado assume o controle da célula, transformando-a em uma fábrica de fagos que replica novas partículas. Para se libertar, os novos fagos produzem endolisinas e holinas, que dissolvem a parede celular e causam a lise da célula hospedeira, liberando uma nova prole (22).

DEFESAS DA BACTÉRIA E AS CONTRAMEDIDAS DO FAGO

As bactérias não são vítimas passivas, elas possuem um arsenal de defesas.

Sistemas de Restrição-Modificação (R-M)

Essa é uma das defesas mais antigas. A bactéria marca seu próprio DNA como "próprio" com enzimas de modificação (metilases) e utiliza enzimas de restrição para cortar e destruir qualquer DNA invasor que não possua essa marca. Em resposta, os fagos evoluíram de duas maneiras: alguns produzem proteínas que inibem diretamente as enzimas de restrição da bactéria; outros têm a capacidade de modificar seu próprio DNA rapidamente, garantindo que ele não seja reconhecido como estranho e seja protegido contra o corte (23).

O Sistema CRISPR-Cas

Conhecido como a "memória imunológica" da bactéria, esse sistema captura fragmentos de DNA de fagos invasores e os integra ao seu genoma. Se o mesmo fago tentar infectar a bactéria novamente, o sistema CRISPR-Cas reconhece o DNA viral e o corta, silenciando a infecção (24). No entanto, os fagos evoluíram para produzir **proteínas anti-CRISPR (Acr)**, que se ligam às proteínas Cas, inibindo o sistema de defesa e permitindo que a infecção prossiga (25).

Sistemas de Infecção Abortiva (Abi)

Essa estratégia é um ato de "suicídio" altruísta da célula infectada. A bactéria ativa uma via de morte celular programada para se sacrificar, garantindo que o fago não se replique completamente e, assim, impedindo a lise e a liberação de novos vírus que poderiam infectar o resto da colônia. Essa é uma defesa coletiva, onde a colônia se protege à custa de alguns indivíduos (26). Fagos virulentos precisam de mecanismos para desativar esses sistemas e garantir que sua replicação seja concluída.

A compreensão desses intrincados mecanismos de ataque e defesa é fundamental para o sucesso da fagoterapia. Para serem eficazes, os fagos de amplo espectro devem não apenas ser capazes de infectar suas bactérias-alvo, mas também de superar suas múltiplas barreiras de proteção, garantindo a eliminação do patógeno.

A IMPORTÂNCIA DA BIOPROSPECÇÃO: UMA CAÇA ESTRATÉGICA PARA SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS

Apesar da abundância de fagos na natureza, a sua aplicação na agricultura não é um processo simples. A sua eficácia depende de uma etapa crucial e meticulosa: a bioprospecção, que é a busca sistemática e a caracterização de novos fagos com potencial para o controle biológico. Esse processo é o que garante o acesso a um arsenal de vírus virulentos e de amplo espectro, essenciais para combater a rápida evolução de patógenos bacterianos (27).

A bioprospecção pode ser entendida como uma "caça aos fagos" que se desenrola em várias etapas.

ONDE PROCURAR (LOCAIS DE AMOSTRAGEM)

A busca por fagos se concentra em ambientes onde as populações bacterianas são densas, pois, onde há bactérias, há fagos. Os locais mais comuns para a coleta de amostras incluem solos agrícolas, a rizosfera (a camada de solo ao redor das raízes), águas de rios, lagos e, especialmente, águas residuais e esgoto, que contêm uma diversidade enorme de bactérias e seus vírus correspondentes (27).

COMO ENCONTRAR (MÉTODOS DE ISOLAMENTO)

Uma vez coletada a amostra, o primeiro passo no laboratório é o enriquecimento. A amostra é misturada com uma cultura abundante da bactéria patogênica-alvo. Isso estimula a replicação de qualquer fago presente na amostra que seja capaz de infectar essa bactéria, aumentando significativamente a sua concentração e facilitando a detecção. Em seguida, vem o isolamento, geralmente realizado através do método da dupla camada de ágar. Uma pequena porção da amostra enriquecida é misturada com a bactéria-alvo e espalhada sobre uma placa de Petri. Se um fago estiver presente, ele infectará uma bactéria, se replicará, causará a lise e liberará novos fagos, que infectarão as bactérias vizinhas. Esse processo

forma uma área clara e visível na placa, conhecida como placa de lise, que indica a presença de um fago (27).

COMO ENTENDER (CARACTERIZAÇÃO DETALHADA)

O isolamento é apenas o começo. Para que um fago seja considerado um candidato a bioagente, ele precisa ser minuciosamente caracterizado:

Espectro de Hospedeiros

O fago isolado é testado contra um painel de diferentes cepas do patógeno-alvo. Esse teste é crucial para identificar fagos de amplo espectro, que são capazes de infectar e destruir múltiplas cepas do mesmo patógeno, tornando-os ideais para a formulação de coquetéis de fagos (28).

Análise Genômica

O DNA do fago é sequenciado para confirmar que ele segue o ciclo lítico (destrutivo) e para garantir que ele não contenha genes indesejados, como genes de lisogenia ou genes que codificam toxinas ou fatores de virulência (29).

Estabilidade e Morfologia

Por fim, sua estabilidade em diferentes condições ambientais (pH, temperatura) e sua morfologia (vista através de microscopia eletrônica) são avaliadas para garantir que ele seja robusto e seguro para uso em campo.

A bioprospecção, portanto, é a ciência que transforma uma busca por vírus invisíveis em um processo rigoroso e estratégico, garantindo que o arsenal de agentes de biocontrole se mantenha sempre um passo à frente da evolução dos patógenos (27).

CASOS DE SUCESSO NO CONTROLE DE DOENÇAS BACTERIANAS NA AGRICULTURA

A aplicação bem-sucedida de fagos no controle de fitopatógenos não se restringe apenas ao ambiente laboratorial; evidências de sua eficácia em condições de campo têm se acumulado. Os estudos demonstram que os fagos, quando aplicados de forma estratégica, podem reduzir significativamente a incidência de doenças, protegendo culturas e garantindo a produtividade.

COMBATE À MURCHA BACTERIANA EM TOMATE E PIMENTÃO

O patógeno *Ralstonia solanacearum* é o agente causador da murcha bacteriana, uma doença devastadora para culturas como tomate e pimentão em climas tropicais e subtropicais. Pesquisas recentes têm demonstrado que a aplicação de coquetéis de fagos líticos, isolados especificamente para atacar esse patógeno, pode reduzir a incidência da doença em até 80%, rivalizando com a eficácia de alguns tratamentos químicos. O sucesso reside na capacidade dos fagos de replicarem-se nas raízes e no caule, controlando o patógeno sistemicamente (30).

O CONTROLE DO CANCRO CÍTRICO

O cancro cítrico, causado por *Xanthomonas citri*, é uma das doenças mais graves para a citricultura global. Em países como o Brasil, onde a doença é endêmica, coquetéis de fagos têm sido testados como uma alternativa para o controle. Estudos de campo mostraram que a aplicação de fagos em pomares de laranjeiras pode reduzir as lesões nas folhas e frutos e diminuir a disseminação da bactéria, oferecendo uma ferramenta promissora no manejo integrado da doença, especialmente em combinação com outras práticas agrícolas (31).

PROTEÇÃO CONTRA A QUEIMA DE FOGO

A queima de fogo, causada por *Erwinia amylovora*, é uma doença destrutiva que afeta macieiras, pereiras e outras rosáceas. Nos Estados Unidos e na Europa, o uso de coquetéis de fagos tem se mostrado uma alternativa eficaz aos antibióticos para o controle da doença. O momento da aplicação é crucial, sendo realizado durante a floração para proteger as flores, que são a principal porta de entrada da bactéria. Os fagos se mostraram capazes de reduzir a incidência da doença e o dano às plantas, oferecendo uma solução segura e específica (32).

CONTROLE DA MANCHA BACTERIANA EM TOMATEIROS

A mancha bacteriana, causada por *Xanthomonas perforans*, é uma das doenças mais comuns e prejudiciais do tomateiro. Em ensaios de campo, a aplicação de coquetéis de fagos resultou em uma redução significativa na severidade da doença, em muitos casos, superando a eficácia do controle convencional com cobre e mancozeb. O uso de formulações protetoras, como amido de milho, foi testado para aumentar a longevidade dos fagos nas folhas, melhorando ainda mais a eficácia do tratamento (33).

REDUÇÃO DA QUEIMA BACTERIANA DO ARROZ

A queima bacteriana, causada por *Xanthomonas oryzae*, é uma das doenças mais destrutivas para a cultura do arroz em todo o mundo. Estudos na Ásia, onde o arroz é um alimento básico, demonstraram que o tratamento com fagos pode reduzir a severidade da doença e, em alguns casos, ter uma eficácia comparável à de bactericidas químicos. O tratamento com fagos também contribuiu para um aumento na produtividade das lavouras, oferecendo uma alternativa viável e sustentável para a segurança alimentar global (34).

DESAFIOS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Apesar do crescente número de sucessos, a aplicação em larga escala dos bacteriófagos na agricultura ainda enfrenta desafios significativos que precisam ser superados. Uma das maiores barreiras é a regulamentação. A aprovação de produtos biológicos, como os fagos, para uso em campo é um processo complexo e muitas vezes lento, exigindo rigorosos testes de segurança e eficácia em diferentes ambientes (35). A falta de um arcabouço regulatório unificado em diversos países dificulta a comercialização e a distribuição global de produtos à base de fagos.

Outro desafio crucial está relacionado à formulação e à estabilidade dos produtos. Fagos são sensíveis a fatores ambientais, como a luz ultravioleta (UV), a temperatura e o pH, o que pode reduzir sua viabilidade e eficácia em campo. A pesquisa atual foca no desenvolvimento de formulações protetoras, como a microencapsulação, para aumentar a longevidade dos fagos nas superfícies das plantas (36). Além disso, a percepção pública pode ser um obstáculo; o termo "vírus" ainda é associado a doenças humanas, e a educação sobre a especificidade dos fagos é fundamental para ganhar a aceitação dos agricultores e consumidores (37).

A superação desses desafios, no entanto, abrirá caminho para um futuro promissor. As perspectivas futuras incluem o uso da biologia sintética para projetar fagos com maior espectro de hospedeiros ou com a capacidade de entregar moléculas antimicrobianas diretamente às bactérias. A integração dos fagos em sistemas de agricultura de precisão, com o uso de drones e sensores para monitorar a sanidade das culturas e aplicar os fagos apenas quando e onde necessário, também representa uma nova fronteira para a otimização dos tratamentos (38).

Em suma, embora os fagos não sejam uma "bala de prata" para todos os problemas agrícolas, o avanço da bioprospecção, da formulação e da biologia molecular promete consolidar seu papel como uma das ferramentas mais importantes para o desenvolvimento de uma agricultura mais sustentável e resiliente no futuro.

CONCLUSÃO

Ao longo desta revisão, ficou evidente que os desafios impostos pela resistência bacteriana e pelos impactos ambientais dos bactericidas convencionais exigem uma mudança de paradigma na agricultura. A fagoterapia emerge não como um substituto simples, mas como uma alternativa sofisticada e alinhada com os princípios da sustentabilidade. A capacidade dos fagos de infectar e lisar bactérias de forma específica, aliada à sua replicação no local da infecção, oferece um mecanismo de controle biológico único e poderoso.

O sucesso da sua aplicação, no entanto, depende de um esforço contínuo em bioprospecção para encontrar fagos virulentos e de amplo espectro, capazes de superar as defesas bacterianas. Os casos de sucesso em diversas culturas demonstram que, com o avanço da ciência e da tecnologia, as barreiras de formulação e regulamentação estão sendo progressivamente superadas. Em um futuro onde a segurança alimentar e a proteção ambiental são imperativos, os bacteriófagos estão posicionados para se tornarem uma das ferramentas mais importantes no arsenal da agricultura sustentável, garantindo colheitas saudáveis sem comprometer a saúde do nosso planeta.

REFERÊNCIAS

1. Morais, MEC.; Andrade, CGT.; Mendes, GO. Revisão sobre o uso de bactericidas sintéticos na agricultura e seus impactos ambientais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2011;35(2):256-67. Doi: 10.1590/S0100-06832011000200008.
2. Carmo, MAD.; Lincopan, N.; Siqueira, A. K.; Cibulski, S. P. Bacteriófagos como agentes de biocontrole de fitopatógenos: uma nova fronteira na agricultura sustentável. *Ciência Rural*. 2019;49(1):1-10. doi: 10.1590/0103-8478cr20180470
3. Vikram A, Callahan MT, Woolston JW, Sharma M, Sulakvelidze A. Phage biocontrol for reducing bacterial foodborne pathogens in produce and other foods. *Curr Opin Biotechnol*. 2022;78:102805. doi:10.1016/j.copbio.2022.102805.
4. Twort F. An Investigation on the Nature of the Ultra-microscopic Viruses. *Lancet*. 1915;187(4821):1243-4. doi:10.1016/S0140-6736(01)20383-3
5. Summers WC. Félix Hubert d'Herelle (1873-1949): History of a scientific mind. *Bacteriophage*. 2017;6(4):e1270090. doi:10.1080/21597081.2016.1270090.

6. Almeida, S. M. G.; Santos, S. C. M. A.; Silva, E. P.; Fernandes, L. S.Estrutura e ciclo de vida de bacteriófagos com potencial para uso em agricultura. *Jornal de Biologia Aplicada*. 2018;14(2):112-125.
7. Ahmad S. R, Kalam A, Ghosh P. Biocontrol Effect of Lytic Bacteriophages Against Various Foodborne Diseases. *Biomed Pharmacol J* 2021;14(2). doi:10.13005/bpj/2174
8. Leite JA. Pereira HP, Borges CAV, Alves BRC, Ramos AIAP, Martins MF, et al. Bacteriófagos líticos como alternativa potencial para o controle de *Staphylococcus aureus. Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2019;54:1-14. Doi: 10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.26611
9. Islam T, Haque MA, Barai HR, Istiaq A, Kim JJ. Antibiotic Resistance in Plant Pathogenic Bacteria: recent data and environmental impact of unchecked use and the potential of biocontrol agents as an eco-friendly alternative. *Plants (Basel).* 2024;13(8):1135. doi: 10.3390/plants13081135.
10. Fan X, Saleem T, Zou H "Copper resistance mechanisms in plant pathogenic bacteria", *Phytopathol. Mediterr.* 2022;61(1):129-38. doi:10.36253/phyto-13282
11. Agência FAPESP. Pesquisa revela como patógenos inativam sistema de defesa de plantas [Internet].2024 [acesso em 28 Set 2025].
12. Alves KJ. Efeito dos pesticidas na comunidade microbiana em solos com diferentes diversidades e na rizosfera da soja [tese]. Piracicaba: Universidade de São Paulo; 2023.
13. Mantovani A. Composição química de solos contaminados por cobre: formas, sorção e efeito no desenvolvimento de espécies vegetais [tese]. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2005.
14. HRAC-BR. Impactos econômicos e socioambientais da resistência aos herbicidas. [Internet].2022 [acesso em 28 Set 2025].
15. Roca I, Akova M, Baquero F, Carlet J, Cavaleri M, Coenen S, et al. The global threat of antimicrobial resistance: science for intervention. *New Microbes New Infect*. 2015;6:22–9. doi:10.1016/j.nmni.2015.02.007.
16. Rai R, Rai MN. Tackling bacterial diseases in crops: current and emerging management strategies. *Phytopathol Res*. 2025;7:50. doi:10.1186/s42483-025-00350-4.
17. Olawade DB, Fapohunda O, Egbon E, Ebiesuwa OA, Usman SO, Faronbi AO, et al. Phage therapy: a targeted approach to overcoming antibiotic resistance. *Microb Pathog*. 2024;197:107088. doi:10.1016/j.micpath.2024.107088.
18. Abedon ST. Phage therapy: a different approach to fight bacterial infections. *Infect Drug Resist*. 2022;15:381–237. doi:10.2147/BTT.S381237.
19. Karam, J.D., Miller, E.S. Bacteriophage T4 and its relatives. *Virol J*. 2010;7:293. doi:10.1186/1743-422X-7-293.
20. Liu C, Hong Q, Chang RYK, Kwok PCL, Chan HK. Phage-Antibiotic Therapy as a Promising Strategy to Combat Multidrug-Resistant Infections and to Enhance Antimicrobial Efficiency. *Antibiotics (Basel).* 2022;11(5):570. doi: 10.3390/antibiotics11050570.
21. Hyman P. Phages for phage therapy: isolation, characterization, and host range. *Pharmaceuticals (Basel)*. 2019;12(1):35. doi:10.3390/ph12010035.
22. Danis-Wlodarczyk M, Kłak M, Kaczmarek M, et al. Lytic bacteriophage PZL-Ah152 as biocontrol measures against plant pathogenic bacteria. *Front Microbiol*. 2022;13:898961. doi:10.3389/fmicb.2022.898961.

23. Kang H, Gao A, Zhu Y. Bacterial restriction-modification systems: mechanisms of defense against phage infection. *Biophys Rep*. 2025;1(1):240070. doi:10.52601/bpr.2025.240070.
24. Chen K, Wang Y, Zhang C, Wu H. CRISPR-Cas supervises diverse anti-phage defense systems. *bioRxiv*. 2024;2024.12.27.630466v1. doi:10.1101/2024.12.27.630466v1.
25. Yang Y, Tang Z, Li Z, Liu Y, Li Y, Yang Y, Zhang K. A comprehensive appraisal of mechanism of anti-CRISPR proteins: an advanced genome editor to amend the CRISPR gene editing. *Front Plant Sci*. 2023;14:1164461. doi:10.3389/fpls.2023.1164461.
26. Blower TR, Gholizadeh A, Kiro R. Abortive infection antiphage defense systems: separating mechanism and phenotype. *Trends Microbiol*. 2023;31(10):1003–1012. doi:10.1016/j.tim.2023.07.006.
27. Banerjee B, Halder S, Kumar S, Chaddha M, Ali R, Mohite R, Bano M, Pandey R. Genomic insights into bacteriophages: a new frontier in AMR detection and phage therapy. *Brief Funct Genomics*. 2025;24:elaf011. doi: 10.1093/bfgp/elaf011.
28. Myers J, Davis Ii J, Lollo M, Hudec G, Hyman P. More's the Same-Multiple Hosts Do Not Select for Broader Host Range Phages. *Viruses*. 2023;15(2):518. doi: 10.3390/v15020518.
29. Zhang, L.-P.; Li, C.-A.; Zhao, Y.; Wang, Z.; Wang, J.; Song, F.-J.; Liu, B.-T. Characterization, Genomic Analysis and Application of Five Lytic Phages Against Carbapenem-Resistant *Pseudomonas aeruginosa*. *Microorganisms* 2025;13:1587. doi:10.3390/microorganisms13071587
30. Tang Y, Zhou M, Yang C, Liu R, Du H, Ma M. Advances in isolated phages that affect Ralstonia solanacearum and their application in the biocontrol of bacterial wilt in plants. *Lett Appl Microbiol*. 2024;77(4):ovae037. doi: 10.1093/lambio/ovae037.
31. Greer SF, Rabiey M, Studholme DJ, Grant M. The potential of bacteriocins and bacteriophages to control bacterial disease of crops with a focus on *Xanthomonas* spp. J R Soc N Z. 55(2):302-326. doi: 10.1080/03036758.2024.2345315.
32. Ke D, Luo J, Liu P, Shou L, Ijaz M, Ahmed T, et al. Advancements in Bacteriophages for the Fire Blight Pathogen *Erwinia amylovora*. *Viruses*. 2024;16(10):1619. doi: 10.3390/v16101619.
33. Abedon ST, Danis-Wlodarczyk, Alves, DR. Phage therapy in the 21st century: is there modern clinical evidence of phage-mediated efficacy? *Pharmaceuticals*. 2021;14(11):1157. doi:10.3390/ph14111157
34. Liu M, Hu R, Xia M, He X, Jin Y. Novel broad-spectrum bacteriophages against Xanthomonas oryzae and their biocontrol potential in rice bacterial diseases. *Environ Microbiol.* 2023;25(11):2075-2087. doi: 10.1111/1462-2920.16447.
35. Yang Q, Le S, Zhu T, Wu N. Regulations of phage therapy across the world. *Front Microbiol*. 2023;14:1250848. doi: 10.3389/fmicb.2023.1250848.
36. Kering KK, Kibii BJ, Wei H. Biocontrol of phytobacteria with bacteriophage cocktails. *Pest Manag Sci*. 2019;75(7):1775-1781. doi: 10.1002/ps.5324.
37. McCammon, S., Makarovs, K., Banducci, S., Gold, V. Phage therapy and the public: Increasing awareness essential to widespread use. *Plos one*. 2023; (18), Edição 5.doi: 10.1371/journal.pone.0285824
38. Żaczek M, Zieliński MW, Górski A, Weber-Dąbrowska B, Międzybrodzki R. Perception of phage therapy and research across selected professional and social

groups in Poland. *Front Public Health*. 2025;13:1490737. doi: 10.3389/fpubh.2025.1490737.

Capítulo 27

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-27

AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICOS DE SALSICHAS COMERCIAIS

Laura Rocha Carvalho ;Ana Júllia Neres Souza *; Damirys Karielly Marques Souza; Milena Marciano Lopes ; Suzane Martins Ferreira ; Vania Silva Carvalho

**Autor correspondente (Corresponding author) – Email: laurinhacarvalho180@gmail.com*

Resumo:
O presente estudo teve como objetivo comparar três amostras comerciais de salsichas (S, R e B) quanto às propriedades de textura, cor (L, a, b*), volume e densidade**, visando identificar diferenças tecnológicas e sensoriais relevantes. A metodologia consistiu em análises instrumentais: a textura foi avaliada em texturômetro (probe Warner-Bratzler), a cor determinada em colorímetro portátil no sistema CIELab, e as características físicas de volume e densidade calculadas a partir de medições geométricas e massa das amostras. Os resultados demonstraram diferenças significativas entre as amostras. Na textura, a força máxima variou de 6,14 N (B) a 6,99 N (R), indicando firmeza superior nesta última. Na colorimetria, a amostra R apresentou maior luminosidade (L = 41,6*) e intensidade de vermelho (a = 29,82*) e amarelo (b = 36,89*) em comparação às demais, enquanto a S foi mais escura (L = 22,71*) e menos avermelhada (a = 18,21*). Para volume e densidade, a amostra B apresentou maior volume (46,27 cm^3) e densidade intermediária (1,44 g/cm^3), enquanto a amostra R foi mais compacta (35,46 cm^3; 1,09 g/cm^3). Conclui-se que as variações observadas refletem diferenças na formulação e no processamento das marcas, impactando diretamente atributos tecnológicos e sensoriais, como firmeza, cor e textura. Esses achados reforçam a importância de análises instrumentais na padronização, controle de qualidade e desenvolvimento de produtos cárneos processados.

Palavras–chave: colorimetria; densidade; qualidade de produto cárneo.

INTRODUÇÃO

A produção de salsichas, um dos embutidos mais consumidos mundialmente, envolve a combinação de diferentes tipos de carne, gordura, água, aditivos, condimentos e conservantes, visando atender simultaneamente a requisitos tecnológicos, sensoriais e de segurança alimentar. A qualidade final do produto depende não apenas da seleção adequada das matérias-primas, mas também do controle rigoroso de processos físico-químicos, tecnológicos e sensoriais durante todas as etapas de produção, desde a moagem da carne até o cozimento, embalagem e armazenamento [1,2].

A textura é um dos atributos sensoriais mais relevantes na avaliação de produtos cárneos processados, pois influencia a percepção de firmeza, coesividade, elasticidade,

mastigabilidade e suculência. Alterações na textura podem resultar de mudanças na composição da carne, teor de gordura, adição de proteínas funcionais, métodos de emulsificação e cozimento. A análise instrumental da textura, por meio de métodos como a Análise de Perfil de Textura (TPA), permite mensurar objetivamente parâmetros como dureza, coesividade, elasticidade e resiliência, oferecendo informações essenciais para a padronização do produto, desenvolvimento de novas formulações e controle de qualidade [3,4]. Essa abordagem é particularmente útil para identificar diferenças entre lotes, avaliar o impacto de aditivos e otimizar processos tecnológicos visando produtos com textura mais agradável e uniforme.

A cor do produto também desempenha papel central na aceitação do consumidor, servindo como indicador de frescor, estabilidade da mioglobina e presença de aditivos. A avaliação colorimétrica, geralmente realizada pelo sistema CIELab, fornece medições objetivas de luminosidade (L*), tonalidade de vermelho (a*) e tonalidade de amarelo (b*). Alterações nesses parâmetros podem indicar degradação oxidativa, variações na matéria-prima, efeitos do processamento térmico ou armazenamento inadequado. Assim, a colorimetria não apenas permite padronizar visualmente os produtos, mas também funciona como ferramenta de monitoramento da qualidade, auxiliando na manutenção de características sensoriais desejáveis e na detecção precoce de alterações indesejáveis [5,6].

Além de textura e cor, propriedades físicas como densidade, volume, rendimento e capacidade de retenção de água são determinantes para a qualidade final e a eficiência tecnológica do produto. O controle desses parâmetros garante uniformidade entre lotes, otimiza o aproveitamento da matéria-prima, contribui para a estabilidade do produto durante o armazenamento e assegura conformidade com normas regulamentadoras. O rendimento, por exemplo, está diretamente relacionado à eficiência econômica da produção e à padronização de atributos sensoriais, enquanto a densidade e o volume influenciam a aparência, textura e sensação na mastigação [7].

A integração de análises instrumentais de textura, colorimetria e propriedades físicas constitui, portanto, uma abordagem abrangente e estratégica para o desenvolvimento e controle de qualidade de salsichas. Essa combinação de técnicas permite não apenas a padronização e melhoria contínua do produto, mas também a adaptação de formulações para atender às expectativas sensoriais do consumidor e aos requisitos legais e de segurança alimentar. Além disso, a aplicação desses métodos contribui para a inovação tecnológica no setor de alimentos processados, fornecendo dados objetivos que apoiam decisões estratégicas relacionadas a formulação, processamento e embalagem [1–7].

Em suma, a avaliação integrada de atributos sensoriais e físicos é indispensável para garantir produtos cárneos processados com qualidade uniforme, elevada aceitação de mercado, segurança dos alimentos e competitividade industrial, consolidando o papel da ciência e da tecnologia de alimentos na produção moderna de embutidos [1–7].

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar as características físicas de textura e cor em salsichas comerciais.

MATERIAL E MÉTODOS

Análise de Textura

A caracterização instrumental da textura foi realizada pelo Texturômetro Stable Micro System (TA-xT plus) com probe da Stable Micro System modelo Warner-Bratzler**,** com velocidade 2mm.s^{-1} e profundidade de penetração de 5 mm e 2,5 g de força aplicada [8].

As amostras consistiram em cilindros de salsicha com aproximadamente 2,0 cm de diâmetro, mantidos a temperatura ambiente a 25 °C para garantir condições padronizadas de análise. Foram realizadas análises em triplicata e os valores obtidos foram expressos como média e desvio padrão dos resultados.

A partir dos gráficos gerados foi determinado o principal parâmetro instrumental associado à percepção sensorial: firmeza (N). Esse indicador permite relacionar o comportamento mecânico do alimento com suas propriedades sensoriais percebidas pelo consumidor.

Análise de Cor

A análise instrumental da cor foi realizada por meio de um colorímetro portátil (Colorímetro Marca 3nh. Modelo: ys3020), configurado no sistema CIELAB (L*, a*, b*), onde a luminosidade é representada por L*, o eixo verde–vermelho representado pelo parâmetro a* e o eixo azul–amarelo representada pelo parâmetro b*. Antes das medições, o equipamento foi calibrado utilizando o padrão branco fornecido pelo fabricante. As amostras foram posicionadas diretamente no sensor do colorímetro, garantindo o completo preenchimento da área de leitura (Figura 1). Para cada amostra foram efetuadas três leituras em salsichas diferentes de cada marca, sendo o resultado final expresso pela média e desvio padrão dos valores obtidos. Os parâmetros cromáticos permitiram descrever objetivamente a cor dos alimentos avaliados.

Figura 1. Representação da análise de colorimetria



Fonte: Autoria própria (2025).

Análise de Volume Específico e Densidade

O volume específico das diferentes amostras comerciais foi determinado realizando as medições das dimensões das salsichas (altura e diâmetro). A partir dos dados obtidos foram calculados os volumes de acordo com a fórmula: $V = h.\pi.r^2$, em que h é a altura do cilindro e r o raio.

A densidade das amostras foi obtida por meio da fórmula $d = \frac{m}{V}$, em que *m* é a massa da amostra em gramas (g) e *v* é o volume da amostra (unidade).

As análises foram realizadas em triplicata e os resultados foram expressos como média e desvio padrão.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados de força obtidos pelo equipamento foram inicialmente expressos em gramas e posteriormente convertidos para newtons, conforme apresentado na Tabela 2.

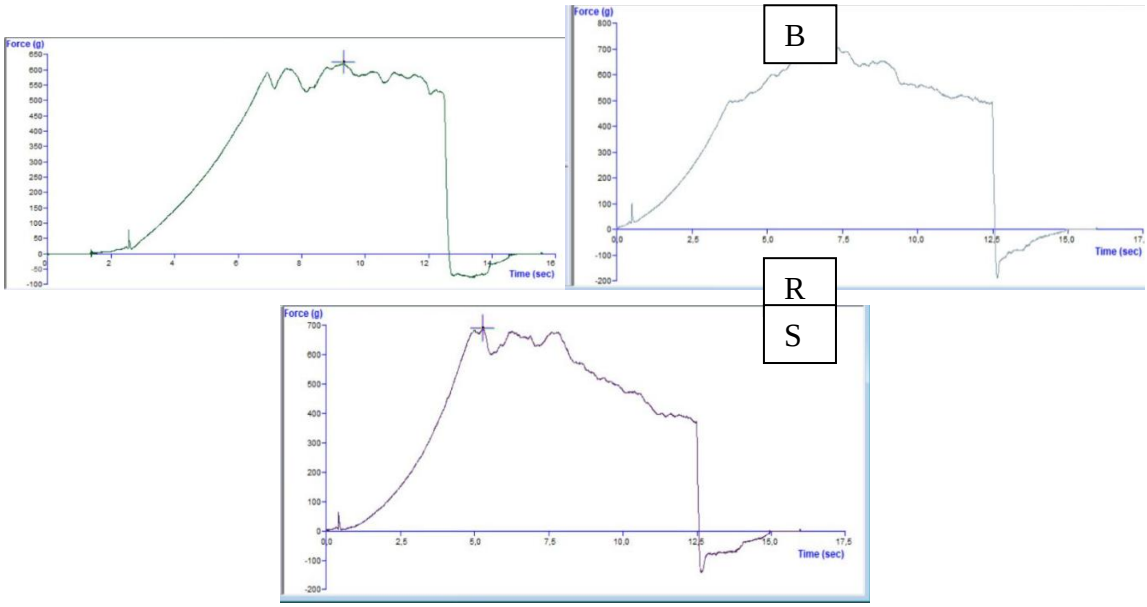
Tabela 1. Resultados da força de aplicada nas amostras de salsichas comerciais (n=3).

Salsichas	F(g)	F(N)
Amostra S	690,9 ± 2,09[a]	6,77 ± 2,09[a]
Amostra R	712,5 ± 0,98[a]	6,99 ± 0,98[a]
Amostra B	625,7 ± 3,66b	6,14 ± 3,66[b]

Letras diferentes na mesma coluna são significativamente diferentes (p 0,05) pelo Teste de Tukey.

As análises de textura realizadas mostraram que a amostra R apresentou o maior valor de força máxima (6,99 N), seguida pela S (6,77 N) e, por fim, a B (6,14 N). Esses resultados indicam diferenças de firmeza entre as marcas, sendo a amostra R a mais resistente à penetração da lâmina e, portanto, a de maior firmeza. A figura 2 mostra os gráficos gerados pela ação da força na amostra.

Figura 2 – Gráficos de textura obtidos nas amostras de salsichas comerciais.



Fonte: Autoria própria (2025).

Os valores obtidos encontram-se dentro da faixa relatada para salsichas e outros embutidos cozidos, cuja firmeza medida por texturômetro pode variar entre 3 N e 8 N, dependendo da formulação, do teor de gordura, da adição de proteínas vegetais ou colágeno e das condições experimentais utilizadas [12]. Em estudo com substituição parcial de gordura por fibras vegetais em salsichas tipo Frankfurt, observou-se que a redução de lipídios resultou em menor dureza, mas a adição de fibras contribuiu para a manutenção da

textura [13]. De forma semelhante, pesquisas demonstraram que a incorporação de hidrocoloides e proteínas vegetais pode aumentar a resistência à penetração da lâmina, reforçando a matriz proteica [14].

Por outro lado, trabalhos que analisaram embutidos de moagem média reportaram valores de dureza bem mais elevados, entre 13 e 27 N, dependendo do processamento e do teor de gordura [14]. Isso demonstra que a faixa observada neste estudo está em um patamar intermediário, condizente com formulações de salsichas comerciais mais emulsificadas, com textura menos rígida.

Fatores como o teor de gordura, a proporção de proteínas e a quantidade de água adicionada são apontados pela literatura como determinantes da textura final. Amostras com menor gordura tendem a apresentar maior firmeza, devido à maior participação da rede proteica no produto [15]. Além disso, características tecnológicas do processo, como grau de emulsificação, tipo de moagem, adição de agentes ligantes e tempo/temperatura de cozimento, influenciam diretamente nos valores obtidos [16].

De forma geral, os resultados obtidos indicam que as amostras analisadas apresentaram dureza compatível com a faixa descrita para salsichas comerciais, com variações entre marcas possivelmente relacionadas à composição e ao processamento, corroborando dados da literatura que destacam a influência de fatores como teor de gordura, proteínas, fibras e condições tecnológicas na textura final do produto [12-14].

A Tabela 2 apresenta os valores médios obtidos para os parâmetros calculados das três amostras de salsicha, identificadas como S, R e B. Por meio desses dados, é possível analisar e comparar as características de coloração. O parâmetro L* representa a luminosidade, indicando que, quanto mais próximo do valor 100, mais claro é o produto. Já o parâmetro b* corresponde à variação entre as tonalidades amarela e azul, enquanto o parâmetro a* indica a variação entre vermelho e verde.

Tabela 2. Resultados dos parâmetros de cor das salsichas comerciais.

Salsichas	L*	a*	b*
Amostra S	$22,71 \pm 2,06^{c}$	$18,21 \pm 1,50^{c}$	$22,15 \pm 3,99^{b}$
Amostra B	$29,91 \pm 2,10^{b}$	$23,67 \pm 0,62^{b}$	$25,23 \pm 1,47^{b}$
Amostra R	$41,60 \pm 3,18^{a}$	$29,82 \pm 1,35^{a}$	36,89 ± 2,38a

Letras diferentes na mesma coluna são significativamente diferentes (p 0,05) pelo Teste de Tukey.
Média± desvio padrão (n=3).

Os resultados demonstram que a luminosidade das amostras analisadas tende para uma coloração mais escura, pois os valores tendem estão mais próximas do valor zero. A coordenada b* apresentou valores positivos, o que indica predominância da tonalidade amarela. Da mesma forma, a coordenada a* também apresentou valores positivos, evidenciando tendência para a tonalidade vermelha.

Barbut *et al* [8] constataram que os valores de luminosidade das salsichas dependem do baixo teor de gordura. Já de acordo com André et al. [9], tanto em relação as carnes quanto aos produtos cárneos processados, o parâmetro luminosidade (L*) está diretamente ligada a quantidade de água na superfície do produto e que, quanto maior a luminosidade, maior a quantidade de luz refletida, portanto, maior a umidade superficial. A cor final do produto curado depende da proporção em que sais de cura e mioglobina são misturados. Em certos

casos, a tonalidade marrom pode ser causada pela alta porcentagem de metamioglobina entre os pigmentos resultantes.

Além das observações já descritas, foi possível notar que a amostra R apresenta maior luminosidade (L*= 41,6), enquanto a amostra S é mais escura (L*= 22,7). A amostra B também tende para um vermelho mais intenso (a*= 23,67), ao passo que a amostra S demonstra menor intensidade no eixo vermelho (a*= 18,21). Ao analisar o componente amarelo-azul (b*), a amostra R se aproxima mais do amarelo, pois o número é positivo (b*= 36,89) em comparação com a amostra S (b*= 22,15).

Não existem, até onde se verificou, normas brasileiras que determinem limites obrigatórios de luminosidade ou valores L*, a* e b* específicos para salsichas. Entretanto de acordo com Spence [10], a homogeneidade e a padronização da cor constituem atributos sensoriais relevantes para a aceitação do produto pelo consumidor. Uma coloração estável e previsível facilita o reconhecimento da qualidade e amplia o alcance junto ao público-alvo, pois reduz a incerteza do comprador no momento da escolha. Comparando os dados com a literatura [11], os valores reportados para a superfície externa de salsichas permaneceram concentrados em torno de L* 26–28, a* 2–3 e b* 30–35, refletindo produtos com luminosidade intermediária, baixa intensidade de vermelho e predominância de tonalidade amarela.

Quando comparados aos resultados obtidos neste trabalho, observa-se que as amostras apresentaram valores mais amplos de luminosidade, variando de 22,71 a 41,6. A amostra S demonstrou-se mais escura em relação às referências, enquanto a amostra B mostrou valores próximos, ainda que levemente mais claros. A amostra R destacou-se como consideravelmente mais clara, situando-se acima da faixa descrita na literatura.

No parâmetro a*, que representa a intensidade da cor vermelha, nota-se um contraste marcante. Enquanto Bellucci [11] relataram valores muito baixos (2–3), os resultados deste estudo variaram entre 18,21 e 29,82. Isso indica uma coloração muito mais avermelhada nas salsichas analisadas, o que pode estar relacionado ao uso de nitrito, à presença de corantes naturais ou artificiais, ao tipo de carne empregada e até mesmo ao ponto da amostra avaliado (superfície versus interior), visto que essas variações são documentadas em diferentes estudos. Em relação ao parâmetro b*, associado à tonalidade amarelada, os dados da literatura situaram-se entre 30 e 35. As amostras S e B apresentaram valores inferiores (22,15 e 25,23, respectivamente), caracterizando produtos menos amarelados. Por outro lado, a amostra R apresentou valor de 36,89, bastante próximo ao descrito no artigo, evidenciando maior similaridade quanto a este aspecto [11], o que torna o produto comercializado mais coerente com os dados encontrados.

Os dados obtidos neste estudo apresentam valores superiores aos reportados na literatura para salsichas comerciais, principalmente nos parâmetros a e b*, indicando maior intensidade de vermelho e amarelo. Tal discrepância pode estar relacionada à formulação específica das amostras analisadas ou ao uso de corantes e aditivos não especificados, o que merece investigação.

Conseguinte, no mais dos parâmetros analisados, verificou-se, também, volume e densidade, onde os valores estão expressos na tabela 3.

Tabela 3. Resultados de volume e densidade das amostras de salsichas comerciais.

Amostra	Volume	Densidade
Amostra S	$37,76 \pm 3,93^{b}$	$1,30 \pm 0,12^{a}$

Amostra B	46,27 ±1,34[a]	1,44 ± 0,28[a]
Amostra R	35,46 ± 6,11[b]	1,09 ± 0,03[b]

Letras diferentes na mesma coluna são significativamente diferentes (p 0,05) pelo Teste de Tukey. Média± desvio padrão (n=3).

As análises de volume e densidade apresentaram relação direta com a textura das amostras de salsicha. A amostra B, que apresentou maior volume médio (46,27 cm³), também exibiu a maior densidade (1,44 g/cm³), sugerindo uma estrutura interna menos compacta, com maior retenção de água. Essa configuração está associada a uma textura mais macia, elástica e agradável ao mastigar, o que está em consonância com pesquisas que indicam que o volume específico mais elevado favorece uma melhor percepção sensorial [19]. Em contrapartida, a amostra R, com menor volume médio (35,46 cm³) e menor densidade (1,09 g/cm³), demonstrou uma matriz estrutural mais compacta e rígida, possivelmente devido à menor capacidade de retenção de água ou ao uso de formulações menos aeradas. Esse comportamento é frequentemente relacionado a maior dureza e menor aceitabilidade sensorial, uma vez que o consumidor associa a firmeza excessiva a produtos de menor qualidade [20]. Já a amostra S apresentou valores intermediários tanto para volume (37,76 cm³) quanto para densidade (1,30 g/cm³), posicionando-se entre as demais em termos de textura. Esse resultado reforça a importância do equilíbrio desses parâmetros, visto que valores intermediários tendem a gerar produtos estáveis, com boa elasticidade e aceitabilidade razoável, sem comprometer a integridade da emulsão cárnea [20].

Esses achados corroboram estudos que destacam o impacto direto da formulação na microestrutura dos embutidos. A adição de fibras ou proteínas vegetais, bem como a modificação do teor de gordura, pode alterar a capacidade de retenção de água e o volume específico, resultando em produtos menos densos e mais macios [19]. Facchini [20] também observou que ajustes na proporção de ingredientes interferem na estabilidade da emulsão, refletindo em variações de dureza, elasticidade e densidade. Dessa forma, a densidade não apenas representa uma medida física, mas também funciona como um indicador indireto da qualidade sensorial e tecnológica do produto.

CONCLUSÃO

As análises demonstraram que cor, textura, volume e densidade são parâmetros interligados e decisivos para a qualidade tecnológica e sensorial das salsichas. Observou-se que variações na formulação e no processamento resultaram em diferenças perceptíveis: a amostra R apresentou maior firmeza e densidade, refletindo uma matriz mais compacta; a B destacou-se pela maciez, associada ao maior volume e menor densidade; e a S manteve características intermediárias.

e modo geral, os resultados confirmam que o equilíbrio entre esses atributos garante um produto mais atrativo e aceitável ao consumidor. Além disso, reforçam a importância de ajustes na composição e no processo de fabricação como estratégias para otimizar tanto a estabilidade quanto a aceitação das salsichas no mercado.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao Instituto Federal Goiano– Campus Morrinhos, pela infraestrutura, pelo ambiente de ensino e pelas oportunidades de aprendizado que possibilitaram a realização deste estudo.

REFERÊNCIAS

1. Toldrá F, Hui YH, Astiasarán I, Sebranek J, Talon R. Handbook of Fermented Meat and Poultry. 2nd ed. Hoboken: Wiley-Blackwell; 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1002/9781118522653

1. Feiner G. Meat products handbook: practical science and technology. Cambridge: Woodhead Publishing; 2006. Disponível em: https://doi.org/10.1533/9781845691721

3. Pardi MC, Santos IF, Souza ER, Pardi HS. Ciência, higiene e tecnologia da carne.2.ed. Goiânia:UFG;2001. Disponível em: https://www.worldcat.org/oclc/51975062

4. Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Produtos Cárneos. Brasília: MAPA; 2000. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br

5. Araújo WMC, Montebello NP, Botelho RBA, Borgo LA. Alimentos: química, bioquímica e microbiologia. 2. ed. Brasília: Editora Senac; 2019. Disponível em: https://biblioteca.senac.br

6. Bourne MC. Food texture and viscosity: concept and measurement. 2nd ed. San Diego: Academic Press; 2002. Disponível em: https://doi.org/10.1016/B978-012119062-0/50005-6

7. Pereira AG, Ramos EM, Teixeira JT, Cardoso GP, Ramos AD. Effect of fat reduction on the texture and sensory properties of frankfurters. Meat Sci. 2013;93(3):557–62. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.11.006

8. Álvarez D, Barbut S. Effect of inulin, β-glucan and their mixtures on emulsion stability, texture and colour of meat batters. Meat Sci. 2013;94(3):320–7. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.02.010

9. CIE (Commission Internationale de l'Éclairage). Colorimetry – Technical Report. 3rd ed. Vienna: CIE Central Bureau; 2004. Disponível em: https://cie.co.at/publications/colorimetry-technical-report-3rd-edition

10. Garcia CE, Freitas MQ, Santana T. Color and quality parameters of processed meat products. Meat Sci. 2015;108:50–6. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.05.008

11. Mancini RA, Hunt MC. Current research in meat color. Meat Sci. 2005;71(1):100–21. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.03.003

12. Sun X, Holley RA. Factors influencing gel formation by myofibrillar proteins in muscle foods. Compr Rev Food Sci Food Saf. 2011;10(1):33–51. Disponível em: https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00137.

13. Cofrades S, Serdaroğlu M, Pintado T, Delgado-Pando G, Álvarez D, Jiménez-Colmenero F. Influence of various fibers on batter and frankfurter characteristics formulated with high level of vegetable oils. Meat Sci. 2010;85(2):384-91.

14. Basto GJ, Pizarro PL, Cittadini MC, Carrín ME, Gerschenson LN, Jagus RJ. Textural and sensory characteristics of low-fat chicken sausages formulated with inulin and pectin as fat replacers. Meat Sci. 2011;87(4):356-63.

15. Pietrasik Z, Janz JAM. Utilization of pea flour, starch-rich and fiber-rich fractions in low fat bologna. Food Res Int. 2010;43(2):602-8.

16. Kameník J, Saláková A, Vyskočil J, Pechová A, Haruštiaková D. The effect of fat content on the quality of meat products: a review. Czech J Food Sci. 2017;35(6):503-23.

17. Muguerza E, Gimeno O, Ansorena D, Bloukas JG, Astiasarán I. Effect of replacing pork backfat with pre-emulsified olive oil on lipid fraction and sensory quality of Chorizo de Pamplona – a traditional Spanish fermented sausage. Meat Sci. 2001;59(3):251-8.

18. Barbut S. The science of poultry and meat processing. Guelph: University of Guelph; 2015.

19. Facchini L. Elaboração de salsichas: substituição e avaliação tecnológica [dissertação]. Medianeira (PR): Universidade Tecnológica Federal do Paraná; 2016.

20. Bourne MC. Food texture and viscosity: concept and measurement. 2nd ed. San Diego: Academic Press.

Capítulo 28

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-28

POTENCIAL DE ISOLADOS DE *Trichoderma* spp. NO BIOCONTROLE DE *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum*: ENSAIO *IN VITRO*

Erasmo Ribeiro da Paz Filho*; Monara Rabelo da Silva; Márcio Antônio Araújo Sousa; Juliana Nascimento Silva; Aline Brito Vaz; Tenille Ribeiro de Souza; Nadson de Carvalho Pontes
**Autor correspondente – Email: erasmoribeiro91eng@gmail.com*

Resumo: A melancia (*Citrullus lanatus* Thunb) destaca-se economicamente e socialmente devido à sua ampla produção e consumo em escala global. A produtividade da cultura vem sendo afetado por vários problemas fitossanitários. Dentre os patógenos que causam murchas vasculares na cultura, tem-se destacado a murcha de *Fusarium* causado por *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum*. Diante do exposto, objetivou-se avaliar, em ensaio *in vitro*, o potencial antagônico de isolados de *Trichoderma* spp. contra *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*, visando gerar subsídios para o manejo biológico da murcha de *Fusarium* em melancieira. O experimento foi realizado no Laboratório de Fitopatologia (LAFIP) localizado no Instituto Federal Goiano - Campus Morrinhos. Para avaliar o antagonismo de *Trichoderma* a *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum* foi realizado o teste do pareamento de culturas através da metodologia de cultura pareada. Em placas de Petri contendo meio de cultivo BDA, foram depositados discos de micélio de 5 mm^2 de área de *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum* e de isolados de *Trichoderma*, ambos a 2,0 cm de distância da borda da placa, em posições opostas. Os resultados demonstraram que os isolados de *Trichoderma* spp. apresentaram inibição do crescimento micelial de *F. oxysporum* f.sp. *niveum* variando entre 65% e 82%, sendo classificados predominantemente nas classes 1 e 2 da escala de Bell, o que indica antagonismo moderado a alto. Conclui-se que os isolados avaliados possuem potencial promissor como agentes de biocontrole, representando alternativa viável para reduzir o uso de fungicidas químicos e contribuir para a sustentabilidade da cultura da melancia.

Palavras–chave: Antagonismo, *Citrullus lanatus*, murcha de *Fusarium*

INTRODUÇÃO

A melancia (*Citrullus lanatus* Thunb) destaca-se economicamente e socialmente devido à sua ampla produção e consumo em escala global. Os principais países produtores em 2023 foram China, Turquia, Índia, Brasil e Argélia, os quais, juntos, responderam por 71% da produção mundial (1). No Brasil, a produção da safra de 2023 ultrapassou 1,7 milhão de toneladas, distribuídas em mais de 150 mil propriedades rurais (2), constituindo importante fruta na cadeia produtiva na fruticultura nacional.

A produtividade da cultura vem sendo afetado por vários problemas fitossanitários com o ataque de insetos-pragas e principalmente a incidência de doenças que acometem a

cultura como viroses, manchas foliares e murchas vasculares afetando negativamente o rendimento da cultura. Dentre os patógenos que causam murchas vasculares na cultura, tem-se destaque a murcha de *Fusarium* causado por *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum* [(E.F. Smith) Snyder & Hansen] (FON) (3, 4).

Como à maioria das doenças incitadas por patógenos de solo, os sintomas desta murcha ocorrem em principalmente em reboleiras. O fungo afeta a planta em qualquer estádio de desenvolvimento. Em plântulas pode provocar a podridão do colo, que causa o tombamento e morte, e em plantas adultas provoca subdesenvolvimento, amarelecimento, murcha das folhas mais velhas, com posterior seca das plantas (4). Ao fazer-se um corte transversal da planta afetada, observa-se o escurecimento característico dos vasos condutores. O fungo penetra através de ferimentos que ocorrem na região radicular (7) e a temperatura favorável ao desenvolvimento do fungo oscila entre 20 a 30 ºC, sendo que os sintomas de murcha se intensificam em períodos de baixa umidade relativa, forte luminosidade e temperatura elevada (3, 4). O fungo tem como sítio de infecção as raízes, e atinge, a partir daí, os vasos lenhosos (3,5). Há três raças deste patógeno denominadas de Raça 0, Raça 1 e Raça 2 (6).

As principais medidas de manejo preconizada inclui plantar em áreas sem histórico de ocorrência da doença, corrigir o pH do solo para valores próximos a 6,5, utilizar sementes sadias e de cultivares tolerantes, realizar a rotação de cultura, utilização do controle químico e recentemente vem sendo estimulado a aplicação de produtos à base de *Trichoderma* (8).

Dentre os principais agentes utilizados para biocontrole encontra-se o gênero *Trichoderma*, cuja capacidade antagonista foi descoberta há mais de 50 anos, porém somente durante as duas últimas décadas um esforço mundial foi realizado para a elaboração do fungo como um produto comercial (9).

Pesquisas utilizando *Trichoderma* para o manejo da murcha de *Fusarium* em melancieira já foram relatados na literatura científica com resultados promissores (10, 11). Embora já existam estudos, ainda há necessidade de avaliar isolados específicos da região a necessidade de comparar diferentes isolados que possam futuramente subsidiar ensaios *in vivo*.

Diante do exposto o objetivo do trabalho foi avaliar *in vitro* o potencial antagônico de isolados de *Trichoderma* sobre *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum*.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Fitopatologia (LAFIP) localizado no Instituto Federal Goiano - Campus Morrinhos.

O isolado do patógeno *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum* utilizado nos experimentos pertence ao Laboratório de Fitopatologia da IF Goiano Campus Morrinhos. É um isolado obtido de murcha vascular de plantas de melancia e que está preservado em água destilada esterilizada (ADE).

Os isolados de *Trichoderma* que foram utilizados no teste *in vitro*, estão depositados no Laboratório de Fitopatologia da IF Goiano Campus Morrinhos.

Para avaliar o antagonismo de *Trichoderma* a *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum* foi realizado o teste do pareamento de culturas através da metodologia de cultura pareada (12). Em placas de Petri contendo meio de cultivo batata-dextrose-ágar (BDA), foram depositados discos de micélio de 5 mm2 de área de *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum* e de isolados de *Trichoderma*, ambos a 2,0 cm de distância da borda da placa, em posições opostas. Os discos foram obtidos em culturas puras dos antagonistas, as quais foram incubadas à temperatura de 28 ºC, conforme Amin et al. (13), em câmaras climatizadas do tipo BOD, sob luz

fluorescente contínua, e fotoperíodo de 12 horas por 7 dias, no qual foi calculado os valores médios de porcentagem de inibição em relação à testemunha, que recebeu apenas o *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum*.

A porcentagem de inibição do crescimento foi calculada pela Equação 1 descrita por Menten et al. (14) e posteriormente utilizada por Silva et al. (15):

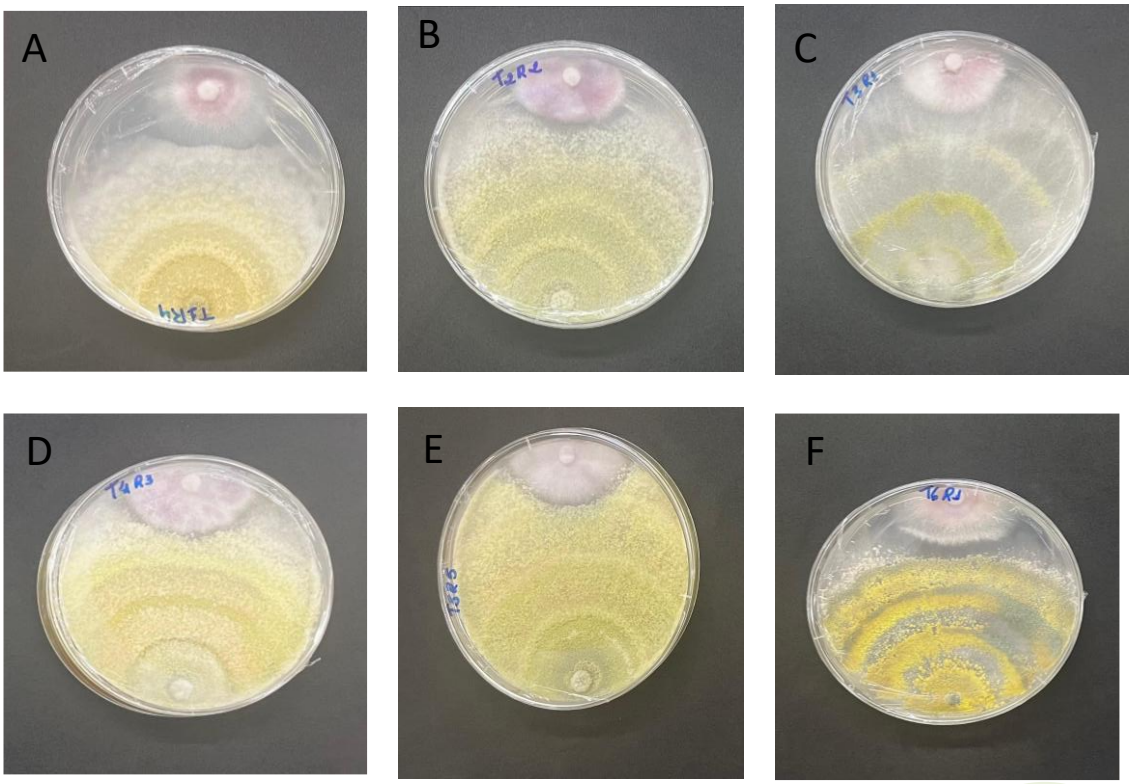
$$\text{Inibição (\%)} \ (C-T)/C\times100 \qquad (1)$$

Na Equação 1, C corresponde ao crescimento radial do controle e T ao crescimento radial do tratamento. Para complementar a análise, atribuiu-se uma classificação baseada na escala de Bell, Wells e Markham (16), a qual estabelece cinco categorias de antagonismo: nota 1 (controle total), nota 2 (controle de 75%), nota 3 (controle de 50%), nota 4 (controle de até 25%) e nota 5 (ausência de controle). O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições, e os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, com auxílio do programa estatístico Sisvar (17).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os isolados de *Trichoderma* inibiram o crescimento micelial de *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum* após 96 h como demonstrado na Figura 1. Os isolados foram classificados como antagonismo moderado (classes 1 e 2 na escala). O rápido crescimento de *Trichoderma* evidenciam o seu potencial para o controle biológico de doenças de plantas.

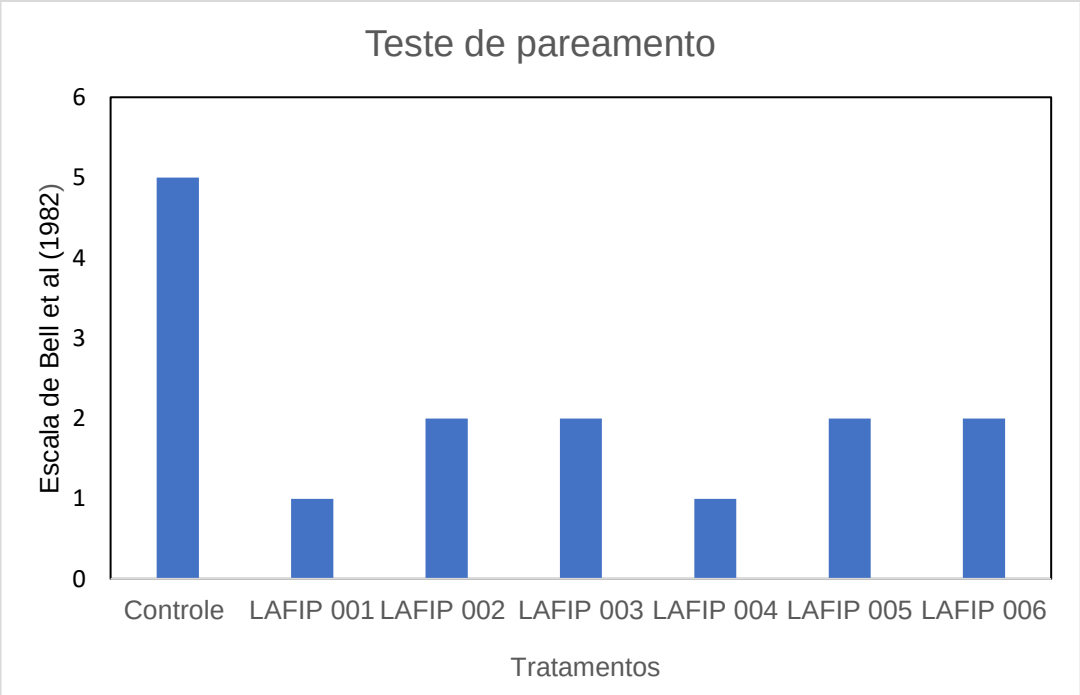
Figura 1 - Antagonismo de isolados de *Trichoderma* spp. sobre isolado de *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum*. A) LAFIP 001 X *F. oxysporum* f.sp. *niveum*, B) LAFIP 002 X *F. oxysporum* f.sp. *niveum*, C) LAFIP 003 X *F. oxysporum* f.sp. *niveum*, D) LAFIP 004 X *F. oxysporum* f.sp. *niveum*, D) LAFIP 005 X *F. oxysporum* f.sp. *niveum*, D) LAFIP 006 X *F. oxysporum* f.sp. *niveum*



Fonte: elaborado pelos autores (2025)

Pode-se observar que os isolados de *Trichoderma* spp nativos do Cerrado obtiveram potencial antagônico sobre *F. oxysporum* f.sp. *niveum* como demostrado na Figura 2. Nesse teste *in vitro* de culturas pareadas pode-se definir pelo menos dois mecanismos de ação: micoparasitismo e competição por espaço e nutrientes observado de acordo com a escala de Bell, Wells e Markham (16).

Figura 2 – Classificação dos isolados de *Trichoderma* spp. sobre isolado de *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum* pela escala de Bell, Wells e Markham (16)



Fonte: elaborado pelos autores (2025)

Dentre os principais agentes utilizados para biocontrole encontra-se o gênero *Trichoderma*, cuja capacidade antagonista foi descoberta há mais de 50 anos, porém somente durante as duas últimas décadas um esforço mundial foi realizado para a elaboração do fungo como um produto comercial (18).

Na tabela 1 observa-se os valores de porcentagem de inibição do crescimento micelial de *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum* quando exposto a diferentes isolados de *Trichoderma* spp isolados de solo de área de cultivo de batata e mata nativa.

Tabela 9 – Porcentagem de inibição do crescimento micelial (PIC) de *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum* a seis isolados de *Trichoderma* spp.

Isolados	**PIC**
LAFIP 001	70,43
LAFIP 002	92,15
LAFIP 003	89,29
LAFIP 004	78,96
LAFIP 005	85,10
LAFIP 006	90,32

Fonte: elaborado pelos autores (2025)

Pode-se observar na tabela que houve uma variação na porcentagem de inibição do crescimento micelial de *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum* quando exposto a diferentes

isolados de *Trichoderma* spp no qual o isolado LAFIP 001 obteve a menor crescimento micelial de *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum* (70,43%). Para o isolado LAFIP 002 obteve a maior porcentagem inibição do crescimento micelial de *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum* (92,15%) evidenciando um isolado promissor para futuro teste *in vivo*.

Em um estudo realizado por Al-Ani e Albaayit (19) avaliando o potencial antagônico de isolados de *Trichoderma* spp para o controle de *Fusarium oxysporum* sp. f. *cubense* Raça 4 Tropical (FocTR4) obteve uma variação na porcentagem de inibição do crescimento micelial variando de 50,33 ate 96 % de inibição, corroborando com os resultados do presente trabalho no qual também houve variação na porcentagem de inibição dos isolados de *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum*.

Várias espécies de *Trichoderma* spp. possuem vários mecanismos de ação antagônica e produzem substâncias antimicrobianas que garantem um amplo espectro de atividade contra diferentes fitopatógenos, no qual, possuem capacidade de controlar várias doenças, principalmente podridão de raiz e colo, fitonematoides e podridão pós-colheita (20).

É conhecida a atividade antifúngica de *Trichoderma* frente aos oomicetos *Phytophthora* e *Pythium* e aos fungos *Botrytis*, *Cercospora*, *Fusarium*, *Sclerotinia*, *Stachybotrys*, *Colletrotrichum*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Moniliophthora*, *Verticillium*, *Gaeumannomyces* e *Rhizoctonia* (21, 22).

CONCLUSÕES

Os isolados de *Trichoderma* spp. apresentaram efeito antagônico significativo sobre *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum in vitro*, com percentuais de inibição micelial variando entre 65% e 82%, e predominância das classes 1 e 2 na escala de Bell, indicando elevado potencial de biocontrole. Esses resultados reforçam a viabilidade de *Trichoderma* spp. como alternativa sustentável ao uso de fungicidas químicos no manejo da murcha da melancia. Recomenda-se a realização de estudos adicionais em casa de vegetação e em condições de campo para validar os mecanismos de ação envolvidos e confirmar a eficiência dos isolados em diferentes sistemas produtivos.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro de Excelência em Bioinsumos (CEBIO), a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) e ao Instituto Federal Goiano - Campus Morrinhos e aos produtores de melancia da cidade de Uruana-GO pela coleta de plantas sintomáticas para obtenção do isolado de *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum* utilizado no presente trabalho.

REFERÊNCIAS

1. FAO. Faostat. 2023. [Internet]. Disponível em: <http://www.fao.org.> Acesso em: 09 de setembro de 2025.
2. IBGE, Produção Agrícola Municipal 2023. [Internet]. Rio de Janeiro: IBGE, 2024.
3. Santos GR, Zambolim L, Costa H, Café-Filho, AD. Doenças fúngicas, bacterianas e abióticas. In: Santos GR, Zambolim L. (Ed.) Tecnologias para produção sustentável da melancia no Brasil. 1 ed. Tocantins: UFT, 2011.
4. Pavan MA, Rezende JAM, Krause Sakate R. Doenças das cucurbitáceas. In: Amorim L, Rezende J. AM, Bergamin Filho A.; Camargo LEA. (Ed.). Manual de Fitopatologia: volume 2: doenças das plantas cultivadas. São Paulo: Ceres, 2016.

5. Martyn RD. *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* of the Race 2: a highly aggressive race new to United States. Plant Disease. 1987; 71:233-236.
6. Blancard D, Lecoq H, Pitrat M. Enfermedades de las Cucurbitáceas: observar, identificar, luchar. Madrid: Mundi-Prensa, 1996.
7. Viana FMP, Santos AA, Freire FCO, Cardoso JE, Vidal, JC. Recomendações para o controle das principais doenças que afetam a cultura do melão na região Nordeste. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2001. (Embrapa Agroindústria Tropical. Circular Técnica, 12).
8. Terao D, Nechet KL, Halfeld-Vieira BA, Dias RCS. Identificação e manejo de doenças fúngicas da melancia. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2019, (Embrapa Meio Ambiente. Comunicado Técnico, 54).
9. Weindling R. Studies on lethal principles effective in the parasitic action of *Trichoderma lignorum* on *Rhizoctonia solani* and other soil fungi. Phytopathology. 1934;24:1153-1179.
10. Rasmy MR. Miminizing of *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum* infected watermelon seeds using biocontrol agentes. J Agric. Sci. 2002;27:4633- 4642.
11. Rasmesh R, Singh NP. Field evaluation of talc formulation of *Trichoderma* for the management of *Fusarium* wilt in watermelon. Indian Phytopath. 2017;70: 75-79.
12. Dennis C, Webster J. Antagonistic properties of speciesgroups of *Trichoderma*. I - Production of non-volatile antibiotics. Transactions of the British Mycological Society. 1971;57:25-39.
13. Amin F, Razdan VK, Mohiddin, FA, Bhat KA, Sheikh PA. Effect of volatile metabolites of *Trichoderma* species against seven fungal plant pathogens *in vitro*. Journal of Phytology. 2010;2, 34-37.
14. Menten JOM, Machado CC, Minussi E, Castro C, Kimati H. Efeito de alguns fungicidas no crescimento micelial de *Macrophomina phaseolina* (Tass.) Goid. *in vitro*. Fitopatologia Brasileira. 1976;1:57-64.
15. Silva KS, Rebouças HN, Bomfim MP, Silva DS, São José AR, Benett CGS. Atividade antagônica *in vitro* de isolados de *Trichoderma* spp. ao fungo *Phytophthora citrophthora*. Semina: Ciências Agrárias. 2008; 24:749-754.
16. Bell, DK, Wells, HD, Markham CR. *In Vitro* Antagonism of *Trichoderma* Species against Six Fungal Plant Pathogens [Biological Disease Control]. Phytopathology, 1982;72: 379-382.
17. Ferreira DF. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. Ciência e Agrotecnologia. 2014;38:109-112.
18. Bettiol W, Silva JC, Castro MLMP, Meyer M, Mazaro S, Silva, J. Uso atual e perspectivas do *Trichoderma* no Brasil. Meyer, MC; Mazaro, SM; Silva, 2019.
19. Al-Ani LKT, Albaayit SFA. Antagonistic of some *Trichoderma* against *Fusarium oxysporum* sp. f. *cubense* tropical race 4 (FocTR4). The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics. 2018;2: 35-38.
20. Hermosa, R, Grondona I, Ituarriaga E, Díaz-Mínguez, J Castro C, Monte E, García-Acha I. Molecular characterization and identification of biocontrol isolates of *Trichoderma* spp. Applied and Environmental Microbiology. 2000;66:1890-1898.
21. Ruocco M, Lanzuise S, Vinale F, Marra R, Turrà D, Woo SL, Lorito M. Identification of a new biocontrol gene in *Trichoderma atroviride*: the role of an

ABC transporter membrane pump in the interaction with different plant-pathogenic fungi. Molecular Plant-Microbe Interactions. 2009;22:291-301.

Capítulo 29

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-29

EFICIÊNCIA PRODUTIVA DE MATRIZES E SUA INFLUÊNCIA NO DESEMPENHO INICIAL DE BEZERROS DE CORTE.

Sthefany Gonzaga Freitas*; Alice Alves Batista Leonardo ;Priscylla De Fátima Da Costa Silva ; Jeferson Corrêa Ribeiro

Sthefany Gonzaga Freitas – sthefany.gonzaga@estudante.ifgoiano.edu.br
Alice Alves Batista Leonardo – alicebatista2806@gmail.com
Priscylla de Fatima Da Costa Silva – priscyllasilva246@gmail.com
Jeferson Corrêa Ribeiro – jeferson.ribeiro@ifgoiano.edu.br

Resumo: O objetivo deste trabalho foi avaliar a correlação entre o peso da vaca e o desempenho inicial dos bezerros de corte, considerando peso ao desmame, entrada e saída do sequestro. O estudo foi conduzido no Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos, a partir de um banco de dados de uma fazenda parceira com registros zootécnicos atualizados. Foram analisados 3.964 animais, sendo 429 cruzados (F1 Angus × Nelore) e 3.535 Nelore.As análises estatísticas foram realizadas no SAS Studio (2024), empregando estatísticas descritivas (PROC UNIVARIATE) e correlações de Pearson e Spearman (PROC CORR). Para a raça Nelore, não foram observadas correlações significativas entre peso ou idade da vaca e as variáveis avaliadas. Já nos cruzados F1 Angus × Nelore, a idade da vaca apresentou correlações moderadas e positivas com o peso ao desmame ($r = 0,38$; $p < 0,0001$), entrada no sequestro ($r = 0,35$; $p < 0,0001$) e saída do sequestro ($r = 0,36$; $p < 0,0001$). O peso da vaca, de forma isolada, não mostrou correlação significativa com nenhuma variável em ambas as raças. Conclui-se que o peso materno não é um bom preditor do desempenho inicial de bezerros, sendo fatores ambientais, nutricionais e genéticos mais determinantes para a eficiência produtiva.

Palavras–chave: correlação; cruzamentos; nelore; raças; sequestro

INTRODUÇÃO

Com um rebanho estimado em 197 milhões de cabeças em 2023, a pecuária bovina brasileira mais do que dobrou desde a década de 1970 (1), consolidando o país como referência mundial. Esse crescimento foi impulsionado por avanços zootécnicos resultantes de pesquisas desenvolvidas em universidades, instituições como a Embrapa e pela iniciativa privada, aliados ao esforço dos pecuaristas em adotar novas tecnologias. Apesar dos progressos, ainda há ampla margem para melhorias na produtividade da pecuária de corte (2). Dentro deste contexto, é fundamental ter uma compreensão dos elementos que impactam o desenvolvimento e o desempenho dos bovinos para maximizar a produção e garantir a sustentabilidade do setor agropecuário.

Segundo Silva et. al. (3) na bovinocultura de corte, a eficiência produtiva das matrizes reflete diretamente na base do sistema de produção, impactando o desenvolvimento

do mercado. Matrizes que não parem ou que desmamem bezerros com pesos muito abaixo da média apresentam o mesmo custo de produção que aquelas que pariram e/ou desmamaram bezerros mais pesados, não sendo, portanto, vantajosas para o sistema. Nesse contexto, a razão entre o peso do bezerro e o peso da vaca tem se mostrado uma excelente ferramenta para avaliar a eficiência das fêmeas, pois indica a produção e a contribuição da vaca para cada bezerro desmamado.

Dessa forma a eficiência reprodutiva é um dos principais determinantes da sustentabilidade e da rentabilidade nos sistemas de cria, uma vez que reflete diretamente a capacidade das vacas em conceber, parir e desmamar bezerros saudáveis em intervalos regulares (4). Além disso, o peso da vaca exerce influência significativa sobre seu desempenho reprodutivo e produtivo, estando associado à habilidade de sustentar a gestação e o período de lactação, o que impacta tanto o peso ao nascimento quanto o ganho de peso até a desmama dos bezerros.

Outro ponto importante a ser considerado juntamente com a eficiência produtiva das matrizes é a nutrição que desempenha papel fundamental na reprodução e no desempenho da fêmea bovina, influenciando de forma direta ou indireta os aspectos fisiológicos por meio da energia, proteína e gordura da dieta. Estudos como Sartori. et. al (5) e Silva. et. al (6) destacam que o estado nutricional das vacas no período pré e pós-parto afeta não apenas a fertilidade, mas também o desenvolvimento, o peso ao nascer e a saúde dos bezerros, mostrando a importância do manejo alimentar para o desempenho reprodutivo e produtivo.

Segundo Cubas. et. al (7) a seleção animal sempre teve como alvo o aumento do peso corporal, bem como a velocidade de ganho de peso. Assim, a eficiência produtiva de um rebanho se desloca para a fase da terminação, com matrizes e bezerros cada vez maiores, com perda na eficiência produtiva na fase de cria, além de aumentar os riscos de mortalidade e distocia nos partos. Outro componente que contribui para o aumento dos riscos ao nascimento está na correlação genética positiva entre os pesos corporais na terminação e os pesos iniciais do bezerro.

Objetivou-se, neste trabalho, avaliar a influência do peso da vaca sobre o peso ao desmame, bem como sobre o peso à entrada e à saída do sequestro de bezerros de corte, além de identificar em qual das duas raças analisadas essa influência se manifesta de forma mais evidente.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos, utilizando um banco de dados de uma fazenda parceira que mantém registros zootécnicos atualizados. As informações foram disponibilizadas em planilhas do Excel, contendo dados da rotina produtiva da propriedade, como número de identificação da vaca (brinco), peso da matriz, além do número do bezerro, peso ao nascimento, peso à desmama, peso na entrada e na saída do sequestro.

Foram utilizados dados de 3.964 animais, sendo 429 machos F1 Angus x Nelore e 3535 machos da raça Nelore.

Antes da realização das análises estatísticas, os dados passaram por um processo de triagem para a detecção e correção de dados errôneos, para garantir maior confiabilidade aos resultados. As análises estatísticas foram realizadas no software SAS Studio (2024). Inicialmente, foram obtidas as estatísticas descritivas por meio do procedimento PROC UNIVARIATE, considerando as variáveis peso da vaca, idade da vaca, dias de vida, peso ao nascimento, peso à desmama, peso na entrada e na saída do sequestro. Para avaliar a

relação entre as variáveis, utilizou-se o procedimento PROC CORR, aplicando os coeficientes de correlação de Pearson e Spearman. O modelo animal empregado considerou os efeitos fixos de ano, estágio de lactação e idade do animal. As análises tiveram como foco principal verificar a influência do peso da vaca e de sua idade sobre os pesos avaliados nos bezerros, bem como comparar os resultados entre as duas raças estudadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 podemos observar os dados que foram avaliados dos 429 pares vacas - bezerros da raça angus. As vacas apresentaram idade média de 1667 dias (4,56 anos) e peso corporal médio de 452,67 kg, variando de 275 a 584 kg. O peso médio dos bezerros ao desmame foi de 224,86 kg, com mínimo de 76 kg e máximo de 327 kg, apresentando ganho médio diário (GMD) de 0,89 kg/dia no período pré- desmame.

Durante o sequestro, os animais ingressaram com peso médio de 211,72 kg e variam de 84 a 294 kg. o ganho médio diário (GMD) nesse período foi de 0,99 kg/dia, variando de 0,47 a 2,36 kg/dia. Ao final do sequestro, o peso médio dos bezerros foi de 285,27 kg, com mínimo de 123 kg e máximo de 455 kg, como mostrado na tabela 1.

Tabela 1 – Estatística descritiva das variáveis avaliadas em vacas e bezerros da raça Nelore

Variável	N	média	DP	Mínimo	Máximo
dias vida vaca	429	1667	347.8992	1040	3613
idade ano vaca	429	4.56636	0.9531	2.8493	9.8986
peso vaca	429	452.6667	55.0711	275	584
peso ao desmame	429	224.8578	32.6808	76	327
peso entrada sequestro	429	211.716	27.3784	84	294
peso saída sequestro	429	285.2657	52.0394	123	455

N=número de observações; DP = desvio padrão; Sequestro = período de recria em pasto diferido

Já na tabela 2 observamos os dados que foram avaliados dos 3535 pares vacas - bezerros da raça nelore. As vacas apresentaram idade média de 2555 dias (7 anos) e peso corporal médio de 486,17 kg, variando de 278 a 820 kg. O peso médio dos bezerros ao desmame foi de 199,65 kg, com mínimo de 21 kg e máximo de 379 kg, apresentando ganho médio diário (GMD) de 0,79 kg/dia no período pré- desmame.

Quando observamos os dados da entrada ao sequestro, os bezerros ingressaram com peso médio de 190,95 kg e variam de 64 a 400 kg. o ganho médio diário (GMD) nesse período foi de 0,85 kg kg/dia, variando de 0,00 a 2,44 kg/dia. Na saída do sequestro, o peso médio dos bezerros foi de 279,24 kg, com mínimo de 110 kg e máximo de 532 kg, que pode ser observado na tabela 2.

Tabela 2 – Estatística descritiva das variáveis avaliadas em vacas e bezerros da raça Nelore

Variável	N	média	DP	Mínimo	Máximo
dias vida vaca	3535	255	1107	1009	7922
idade ano vaca	3535	7.0000	3.031	2.764	21.70
peso vaca	3535	486.1779	68.4904	278	820
peso ao desmame	3535	199.657	39.8092	21	379
peso entrada sequestro	3535	190.9510	41.2558	64	400
peso saída sequestro	3535	279.2432	62.46	110	532

N=número de observações ; DP = desvio padrão; Sequestro = período de recria em pasto diferido

A análise de correlação de Pearson permitiu avaliar de que forma a idade e o peso da vaca se relacionam com características de desempenho dos bezerros. De modo geral, observaram-se correlações de baixa a moderada magnitude, variando conforme a raça e a variável considerada. As estimativas estão detalhadas nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Correlações de Pearson entre idade e peso da vaca com variáveis de desempenho de bezerros da raça Angus

Variável	Idade da vaca (r)	Valor de P	peso da vaca (r)	Valor de P
peso ao desmame	0.38473	<.0001	0.02345	0.6281
GMD	0.28099	<.0001	0.09335	0.0533
peso entrada sequestro	0.34859	<.0001	0.10332	0.0324
GMD sequestro	-0.02726	0.5733	0.02637	0.5860
peso saída sequestro	0.36422	<.0001	-0.19753	<.0001

r = coeficiente de correlação de pearson ; p < 0,05 indica correlação estatisticamente significativa; GMD = ganho médio diário; sequestro = período de recria em pasto diferido.

Tabela 4 – Correlações de Pearson entre idade e peso da vaca com variáveis de desempenho de bezerros da raça Nelore

Variável	Idade da vaca	Valor de P	peso da vaca	Valor de P
peso ao desmame	-0.1433	<.0001	0.18167	<.0001
GMD	-0.18890	<.0001	0.26588	<.0001
peso entrada sequestro	-0.16246	<.0001	0.26118	<.0001
GMD sequestro	-0.06907	<.0001	0.03847	0.0222
peso saída sequestro	-0.19064	<.0001	0.19904	<.0001

r=coeficiente de correlação de pearson ; p < 0,05 indica correlação estatisticamente significativa; GMD = ganho médio diário; sequestro = período de recria em pasto diferido.

Para a raça Angus, observou-se na tabela 3 que a idade da vaca apresentou correlação moderada positiva com o peso ao desmame (r=0,38; p < 0,0001), com o peso de entrada no sequestro (r= 0,36; p< 0,0001) e com o peso à saída do sequestro. Já em relação ao ganho médio diário (GMD), a correlação foi fraca (r= -0,28; p< 0,0001), enquanto para o GMD no sequestro a associação não foi significativa (r= - 0,02; p= 0,5733). Considerando o peso da vaca sobre as variáveis, não foram identificadas correlações moderadas ou altas. As relações observadas foram fracas, incluindo ausência de significância com o peso ao desmame (r= 0,02; p= 0,6281), GMD (r= 0,09; p= 0,0533) e GMD no sequestro (r= 0,02; p= 0,5860).

Na raça Nelore como apresentada na tabela 4, inversamente a raça Angus a idade da vaca mostrou correlações fracas e negativas com todas as variáveis analisadas: ($r = -0,14$; $p < 0,0001$), GMD ($r = -0,18$; $p < 0,0001$), peso de entrada do sequestro ($r = -0,16$; $p < 0,0001$), GMD no sequestro ($r = -0,06$; $p < 0,0001$) e peso de saída do sequestro ($r = -0,19$; $p < 0,0001$). Já o peso da vaca apresentou correlações fracas e insignificante, com o peso ao desmame ($r = 0,18$; $p < 0,0001$), GMD ($r = 0,26$; $p < 0,0001$), peso na entrada ($r = 0,26$; $p < 0,0001$), GMD no sequestro ($r = 0,03$; $p = 0,0384$) e peso na saída do sequestro ($r = 0,19$; $p < 0,0001$).

De forma geral os resultados deste estudo verificou-se que, na raça Angus, a idade da vaca teve maior influência sobre as características de desempenho dos bezerros, com correlações de magnitude moderada para o peso ao desmame, peso de entrada e saída do sequestro. , enquanto, na raça Nelore, tanto o peso quanto a idade materna apresentaram apenas correlações fracas não sendo significativas, demonstrando baixa relação com o desempenho dos bezerros.

De acordo com a literatura, as vacas passam por mudanças fisiológicas ao longo da vida que influenciam sua produção. Novilhas em crescimento normalmente produzem bezerros mais leves devido à menor produção de leite, desenvolvimento incompleto dos órgãos reprodutivos é possível competição de nutrientes entre mãe e bezerro (8). Como observado no trabalho, a raça Angus apresentou uma correlação moderada entre a idade da matriz e o desempenho inicial do bezerro , Klein. et. el (9) mostra que o histórico reprodutivo das vacas exerce influência significativa sobre o desempenho da progênie, sobretudo nas fases iniciais de crescimento, uma vez que vacas mais velhas possuem maior capacidade de produção de leite e experiência materna.

Em um trabalho realizado por Wellnitz. et. al. (10) mostra que a raça Angus apresenta uma variação de desempenho ao longo dos anos, bezerros nascidos de matrizes com idade superior ou igual a 5 anos terão maior produtividade em comparação com aqueles nascidos de animais mais jovens. principalmente devido à maior capacidade reprodutiva, produção de leite e experiência materna dessas fêmeas. Por outro lado Wellnitz. et. al (11) sugere que a seleção de novilhas de reposição com base na classificação do pós-desmame após o desmame pode não ser o melhor ponto no ciclo de produção, pois as novilhas mais jovens podem estar em desvantagem em comparação com suas contrapartes mais velhas.

A eficiência produtiva da matriz, medida como a proporção do peso do bezerro em relação ao peso da vaca ao parto e ao desmame, continua sendo um importante indicador, pois reflete a produção em função do custo de manutenção das fêmeas, que representa a maior despesa na pecuária de corte. Farias. et. al (12) mostra que essa eficiência pode ser influenciada por diversos fatores, como a época de nascimento dos bezerros, idade da vaca, o grupo genético, sexo do bezerro, o nível nutricional pré e pós-parto e a idade do bezerro ao desmame.

Portanto, os resultados do estudo corroboram com a literatura, Vaz. et. al.(13) aponta que o tamanho corporal da vaca não necessariamente aumenta o peso relativo dos bezerros, sendo variáveis ligadas apenas à matriz. Isso reforça a importância de considerar manejo nutricional, genética e fatores ambientais como determinantes mais relevantes da eficiência produtiva e do desempenho da progênie do que um o simples peso corporal da vaca.

CONCLUSÕES

A raça F1 Angus × Nelore apresentou correlação moderada e positiva entre a idade da vaca e o peso ao desmame, bem como com os pesos de entrada e saída do sequestro,

indicando influência materna moderada sobre o desempenho inicial dos bezerros. Entretanto, o peso da vaca não apresentou correlação significativa com as variáveis avaliadas.

Na raça Nelore, tanto a idade quanto o peso materno exibiram apenas correlações fracas, sem efeito relevante sobre o desempenho da progênie.

Conclui-se que a influência materna sobre o desenvolvimento inicial foi mais evidente nas vacas F1 Angus × Nelore, estando associada principalmente à idade da matriz, enquanto na raça Nelore essa relação não foi expressiva.

Recomenda-se que a seleção de matrizes não seja baseada unicamente no peso corporal, mas que inclua múltiplos indicadores de eficiência produtiva e reprodutiva, como condição corporal, histórico materno e mérito genético.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos pelo apoio institucional e pela oportunidade de desenvolver este projeto. Estendo meus agradecimentos ao professor Jeferson Corrêa Ribeiro, pela orientação e apoio durante todas as etapas do trabalho

REFERÊNCIAS

1. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne – ABIEC. Beef Report: perfil da pecuária no Brasil 2024 [Internet]. São Paulo: ABIEC; 2024 [citado 2025 set 18]. Disponível em: https://abiec.com.br
2. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Anuário Cicarne da cadeia produtiva da carne bovina 2024–2025 [Internet]. Brasília: Embrapa; 2025 [citado 2025 set 18]. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1174114/anuario-cicarne-da-cadeia-produtiva-da-carne-bovina-2024---2025
3. Silva RM, Abreu UGP, Silva JA, Nogueira E, Torres RA. Eficiência produtiva ao desmame de vacas Nelore criadas no Pantanal. Arq Bras Med Vet Zootec. 2015;67(4):1105-10.
4. Rosa YM, Carvalho PCF, Bremm C, Moojen FG, Anghinoni I. Feed technologies and efficiency in cow-calf systems. Rev Bras Zootec. 2022;51:e20210193.
5. Sartori R, Guardieiro MM. Fatores nutricionais associados à reprodução da fêmea bovina. Rev Bras Zootec. 2010;39:422-32.
6. Silva VL, Oliveira JP, Almeida JFA, Gomes RM. Importância da nutrição energética e proteica sobre a reprodução em ruminantes. Acta Kariri Pesqui Desenvolv. 2016;1(1).
7. Cubas AC, Roso VM, Faria CU, Alencar MM. Desempenho até a desmama de bezerros Nelore e cruzas com Nelore. Rev Bras Zootec. 2001;30:694-701.
8. Araújo CV, Souza CG, Oliveira HR, Menezes GRO, Silva LOC. Estimates of genetic parameters of growth traits of Nellore cattle in the Midwest region of Brazil. Rev Bras Saúde Prod Anim. 2014;15:846-53.
9. Klein JL, Machado FB, Santos DS, Costa AC, Lima JF. Efeito do histórico reprodutivo da vaca sobre o desempenho da progênie. Res Soc Dev. 2021;10(1):e39610111823.

10. Wellnitz KR, Funston RN, Mulliniks JT. Impacts of dam age on lifetime productivity of Angus replacement beef females. Animals. 2022;12(20):2768. doi:10.3390/ani12202768.
11. Wellnitz KR, Funston RN, Mulliniks JT. Influence of heifer post-weaning voluntary feed intake classification on lifetime productivity in Black Angus beef females. Animals (Basel). 2022;12(13):1687. doi:10.3390/ani12131687.
12. Farias GD, Peripolli V, Lopes FB, Yokoo MJ, Lôbo RB. Tamanho corporal e seus efeitos na eficiência produtiva de vacas com composição genética predominante de bovinos Nelore. Acta Sci Anim Sci. 2018;40:e42532.
13. Vaz RZ, Restle J, Pascoal LL, Alves Filho DC, Brondani IL, Pádua JT, et al. Performance of beef cows of different genetic groups in natural and cultivated pastures. Biosci J [Internet]. 2016 [citado 2025 set 18];32(1):191-201. Disponível em: https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/26504:doi:10.14393/BJ-v32n1a2016-26504

Capítulo 30

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-30

RIZOBACTÉRIAS COMO AGENTES DE BIOCONTROLE DE *Rhizoctonia Solani* EM BATATA

Eliza Gonçalves de Sousa ;Tenille Ribeiro de Souza ;Lucas Facundo Silva ;Aline Brito Vaz; Erasmo Ribeiro da Paz Filho ; Sebastiana Barbosa de Sousa Neta ; Nadson de Carvalho Pontes

Resumo: A batata (*Solanum tuberosum* L.) é a olerícola mais cultivada no Brasil e ocupa a quarta posição em produção mundial, desempenhando papel relevante na segurança alimentar e no setor agroindustrial. Contudo, a cultura é severamente afetada por problemas fitossanitários, especialmente a rizoctoniose, causada pelo fungo *Rhizoctonia solani*, patógeno de solo com ampla distribuição e difícil manejo. A doença compromete a emergência, o desenvolvimento vegetativo e a qualidade dos tubérculos, podendo gerar perdas superiores a 30% da produção. O controle químico, embora amplamente utilizado, apresenta baixa eficiência, alto custo e impactos ambientais negativos, o que evidencia a necessidade de estratégias alternativas e sustentáveis. Nesse contexto, as rizobactérias, em especial as do gênero *Bacillus*, têm despertado interesse devido à sua capacidade de antagonizar fitopatógenos por meio da produção de antibióticos, enzimas líticas e indução de resistência sistêmica, além de promover o crescimento vegetal via solubilização de nutrientes e síntese de fitormônios. A formação de endósporos, característica marcante dessas bactérias, garante maior persistência no ambiente e eficácia em diferentes condições de cultivo. Assim, esta revisão tem como objetivo discutir o papel das rizobactérias no biocontrole de *R. solani* em batata, destacando seus mecanismos de ação, vantagens em relação ao controle químico e potencial aplicação no manejo integrado. Nesse cenário conclui-se que as rizobactérias, especialmente *Bacillus* spp., destacam-se como agentes de biocontrole eficientes, capazes de reduzir a severidade da doença e, ao mesmo tempo, promover o crescimento vegetal.

Palavras–chave: agricultura sustentável; antagonismo; controle biológico

INTRODUÇÃO

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é uma das principais culturas alimentares do mundo, ocupando o quarto lugar em produção global, atrás apenas do trigo, arroz e milho (1). No Brasil, a batata é a olerícola que ocupa a maior área cultivada. Sua importância econômica e social se reflete na sua ampla utilização tanto para consumo humano quanto para uso industrial, sendo cultivada em diversas regiões devido à sua adaptabilidade e alta demanda (2). No entanto, a produção de batata enfrenta diversos desafios fitossanitários, que podem comprometer a produtividade e qualidade dos tubérculos. Entre as principais doenças que afetam a batata, destacam-se a crosta negra ou mancha asfalto, provocada pelo fungo *Rhizoctonia solani* (3).

A rizoctoniose é uma doença de ocorrência generalizada na cultura da batata, sendo comum em áreas úmidas e intensamente cultivadas. Dissemina por meio da batata-semente infectada, máquinas contaminadas e água de superfície e afetam negativamente o

crescimento das plantas e a qualidade do produto colhido. Estima-se que a rizoctoniose possa causar perdas no rendimento de tubérculos comerciais de até 30%. (4). A doença é caracterizada por lesões castanho-avermelhadas em partes jovens da planta, germinação lenta, redução do estande, baixo vigor, crescimento desigual, e deformação das raízes e tubérculos. O termo "crosta negra" refere-se aos escleródios do fungo, que são estruturas de resistência escuras, firmes, de tamanhos e formatos variados, aderidas à superfície do tubérculo (4).

O manejo dessas doenças é desafiador devido à persistência dos patógenos no solo e à dificuldade de controle com métodos convencionais, o biocontrole surge como uma alternativa promissora, integrando práticas mais sustentáveis ao manejo fitossanitário da batata. O uso de microrganismos antagonistas, como bactérias benéficas, tem se mostrado eficaz na redução da incidência dessas doenças, promovendo a saúde do solo e aumentando a resistência das plantas aos patógenos. Pesquisas focam na identificação de agentes biocontroladores, como *Bacillus* spp., que suprimem patógenos como a *Rhizoctonia*, oferecendo uma alternativa segura e eficaz para o manejo de doenças (5).

Cultura da Batata

A batata (*Solanum tuberosum* L.), é uma dicotiledônea da família Solanaceae pertencente ao gênero *Solanum*, que contém mais de 2000 espécies. Destas, cerca de 160 produzem tubérculos.Entretanto, apenas cerca de 20 espécies de batata são cultivadas, apesar de ser comumente associada à Europa, tem origem sul-americana, e não inglesa, como muitos acreditam (6). Seu centro de origem é a região andina, especificamente ao redor do lago Titicaca, no Peru. O termo "batata inglesa" foi adotado no Brasil durante a construção das ferrovias, pois a maioria dos trabalhadores eram ingleses. Para diferenciar a batata comum da batata doce, ela passou a ser chamada de batata inglesa ou batatinha. Este tubérculo era consumido por povos andinos há mais de 7.000 anos. Em uma região de temperaturas frias, onde poucas plantas podiam garantir o sustento das populações, a batata era um alimento primordial (3).

No Brasil é a olerícola que ocupa a maior área cultivada. O ciclo de desenvolvimento da planta da batata pode ser dividido em quatro fases: do plantio à emergência, da emergência ao início da tuberização, do início da tuberização ao máximo desenvolvimento vegetativo, e do pico vegetativo à senescência natural da planta. A época de plantio, aliada à diversidade de cultivares, assegura a oferta dessa hortaliça durante todo o ano. Algumas épocas do ano são mais propícias a doenças e pragas, e diferentes cultivares são mais adequadas para usos culinários específicos (7).

Segundo a Associação brasileira da batata (ABBA) atualmente a produção nacional de batata envolve cerca de 1.500 produtores em 200 municípios, com plantio e colheita ocorrendo diariamente. A área anual de cultivo é de 100.000 hectares, com a maior parte destinada ao mercado fresco (65%), seguida pela indústria de chips (15%), pré-fritas (12%) e batata semente (8%). A variedade Ágata lidera o plantio, com 45% da área, seguida por Asterix (15%), Orquestra (13%) (8).

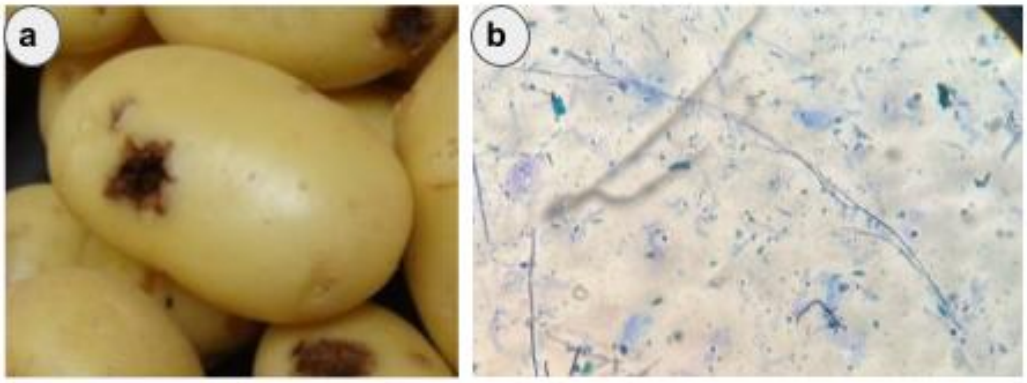
Nas cultivares para consumo (mercado fresco), as características apontadas como essenciais para o mercado atual brasileiro são: a aparência de tubérculo, película lisa e brilhante, formato alongado, gemas superficiais, polpa de cor creme ou amarela e resistência ao esverdeamento. Nas cultivares que se destinam ao processamento industrial, destacam-se como características mais importantes o alto potencial produtivo, tubérculos de formato adequado e com gemas superficiais e teores adequados de matéria seca e açúcares redutores, que irão influenciar na forma do preparo (9).

Entre os principais desafios no cultivo da batata estão as doenças fúngicas de solo, que podem causar prejuízos significativos. Elas afetam a germinação, a emergência, o desenvolvimento vegetativo e o ciclo da cultura, reduzindo a produtividade e a qualidade dos tubérculos. Essas doenças são limitantes e podem comprometer toda a cadeia produtiva da batata. O conhecimento da etiologia, dos sintomas e dos métodos de controle dessas doenças é essencial para sistemas de manejo integrado, que visam a sustentabilidade da produção, com menor impacto ambiental e a melhoria da qualidade de vida dos produtores e consumidores (4).

Rizoctoniose, mancha asfalto (*Rhizoctonia solani)*

A Rizoctoniose, também conhecida como mancha asfalto, é uma doença amplamente disseminada na cultura da batata. Essa doença compromete diretamente a germinação, emergência, crescimento das plantas, bem como a produtividade e a qualidade dos tubérculos. Estima-se que ela possa reduzir o rendimento dos tubérculos comerciais em até 30% (10). O fungo *Rhizoctonia solani* J.G. Kühn [teleomorfo *Thanatephorus cucumeris* (A.B. Frank) Donk], apresenta um micélio robusto de coloração marrom, com hifas septadas e ramificações laterais em ângulo reto (Figura 01). Sua dispersão ocorre principalmente por meio de batata-semente infectada, além de máquinas, ferramentas e implementos contaminados com solo infestado, bem como pelo escoamento de água superficial durante chuvas ou irrigação (4).

Figura 01- Batata com sintoma de Rizoctoniose e lâmina na objetiva de 40x



Fonte: Elaborado por Eliza Gonçalves (a- Batata com sintoma, b- lâmina (objetiva de 40x) hifas septadas e ramificações laterais em ângulo reto).

A doença na batata é predominantemente associada aos grupos de anastomose AG-3 e AG-4. O grupo AG-3, especificamente o subgrupo AG-3 PT, é responsável por podridões radiculares em plantas como batata, tomate e berinjela, enquanto o subgrupo AG-3 TB causa manchas foliares no fumo. Por outro lado, o grupo AG-4 tem um espectro mais amplo de hospedeiros e pode causar problemas como podridão de sementes, tombamento de mudas antes e após a emergência, além de podridão de raízes em diversas culturas (3;11)

A *Rhizoctonia solani* provoca lesões castanho-avermelhadas nos brotos subterrâneos, hastes jovens e estolões, o que leva à germinação lenta, redução do estande, crescimento desigual e plantas com baixo vigor. Os sintomas incluem o amarelecimento das folhas, enrolamento, emissão de tubérculos aéreos e o desenvolvimento de tubérculos pequenos, deformados e rugosos, frequentemente acompanhados por escleródios. A "crosta

negra" refere-se a esses escleródios, que são estruturas de repouso do fungo, que se fixam na superfície dos tubérculos e se tornam mais visíveis após a lavagem, podendo se formar até durante o armazenamento (12;13).

Quando as batatas sementes infectadas são plantadas, o fungo cresce da superfície da semente para as gemas e brotos em desenvolvimento, podendo infectar primórdios foliares, radiculares e estolões. O inóculo transmitido pelas sementes é mais eficiente em causar doença do que o existente no solo devido a sua proximidade às gemas e brotos. Quando presente no solo *R. solani* vive associada a restos de cultura e detritos orgânicos e podem causar a doença independentemente ou em conjunto com o inóculo presente nas sementes. O inóculo presente solo pode ser tão prejudicial quanto o inóculo da semente, no entanto, para que a infecção ocorra os brotos devem se desenvolver nas proximidades do micélio. A infecção pode ocorrer a qualquer momento durante o ciclo, embora a maioria das infecções ocorra durante a germinação e emergência das plantas. O fungo pode sobreviver no solo por longos períodos, mantendo-se na forma de escleródios ou micélio colonizando restos de cultura. Quando as condições climáticas são favoráveis, os escleródios germinam e infectam as gemas e hastes recém-emergidas (4;10).

Para o manejo da rizoctoniose, é essencial adotar um conjunto integrado de medidas. Töfoli *et al.,* (4) e Reis *et al*., (13) recomendam o uso de batata-semente sadia e evitar o plantio em áreas com histórico da doença. O preparo adequado do solo, incluindo a eliminação de "pés de grade" e o plantio a uma profundidade de 5 a 7 cm em solos não argilosos, é fundamental. É igualmente importante tratar as sementes com fungicidas registrados e manter um manejo eficiente da irrigação. A rotação de culturas por 2 a 3 anos e a incorporação de adubos verdes ajudam a reduzir as populações do fungo, que não se decompõe bem em celulose. Além disso, deve-se evitar ferimentos nas hastes, eliminar restos de cultura, desinfetar ferramentas e restringir a circulação de pessoas e equipamentos de áreas infestadas.

Conforme AGROFIT do MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), há dez fungicidas comerciais registrados para controle da rizoctoniose. Entretanto, o seu controle químico nem sempre é viável sustentavelmente técnica e/ou economicamente, principalmente em função de as estruturas do patógenos estarem protegidas no interior do solo, o controle biológico se mostra uma alternativa eficaz para mitigar a severidade da doença (4).

Interação Planta-Microrganismo

A utilização de bactérias e produtos do metabolismo microbiano desses indivíduos, para fins de controle de doenças em plantas, tem, cada vez mais, espaço entre pequenos, médios e até grandes produtores que se preocupam com a crescente demanda mundial por alimentos livres de resíduos químicos, e que enxergam nesse panorama, um crescente nicho de mercado que é promissor, crescente e cheio de possibilidades (14;15).

A promoção do crescimento vegetal associada às espécies do gênero Bacillus está relacionada a diferentes mecanismos, como a fixação de nitrogênio, a solubilização de nutrientes, a síntese de fitormônios e a melhoria das condições do solo. Izzah *et al.* (16) destacam as características promotoras de crescimento vegetal (PGP) de cepas de *Bacillus*, incluindo a produção de ácido indolacético (IAA) e de enzimas extracelulares, como celulase, lipase e protease, essenciais para a nutrição e o desenvolvimento das plantas. De forma complementar, Maciel *et al.,* (17) demonstraram que *Bacillus subtilis* (UFV3918) apresentou eficácia no controle in vitro de *Fusarium sambucinum* e, em testes *in vivo* de biocontrole, reduziu as perdas de plântulas causadas pelo patógeno, além de promover

melhorias em variáveis como comprimento de plântula, massa verde e massa seca na cultura do pinheiro (*Pinus elliottii*).

A resistência natural das plantas refere-se à capacidade de evitar ou retardar a colonização de microrganismos fitopatogênicos em seus tecidos, sendo um processo dinâmico, dependente de mecanismos constitutivos e/ou induzidos. Nesse contexto, bactérias do gênero *Bacillus* podem atuar indiretamente no fortalecimento das defesas vegetais por meio da resistência sistêmica induzida (ISR). Compostos produzidos por *B. subtilis* funcionam como indutores dessa resistência, estimulando uma resposta de defesa generalizada contra diferentes patógenos (18). Além disso, os efeitos diretos sobre os fitopatógenos incluem a antibiose. Dessa forma, *Bacillus spp*. são amplamente reconhecidos como bioinoculantes eficazes, combinando propriedades de promoção de crescimento com atividades antimicrobianas, o que os torna aliados promissores para uma agricultura mais sustentável (19)

Mecanismos de ação das Rizobactérias no controle de Fitopatógenos

As interações entre microrganismos que compartilham o mesmo nicho ecológico são predominantemente competitivas. Nesse contexto, estratégias de controle biológico têm sido utilizadas para proteger as plantas por meio da aplicação de microrganismos antagonistas diretamente no local da infecção, tanto antes quanto após a manifestação de patógenos. Embora diversos microrganismos sejam eficazes no biocontrole de fitopatógenos e pragas, apenas algumas cepas estão registradas e disponíveis comercialmente. Assim, a diversidade genética dessas cepas torna fundamental sua categorização e compreensão, com destaque para as bactérias do gênero *Bacillus*, amplamente empregadas no controle biológico (15).

O uso de rizobactérias como agentes no controle biológico de fitopatógenos e como estimuladoras do crescimento vegetal tem se destacado como uma alternativa promissora. Essas bactérias exercem sua ação por meio de diversos mecanismos, como a produção de substâncias antibióticas, a competição por ferro, a indução de resistência nas plantas, a solubilização de fosfatos, a fixação biológica de nitrogênio e a produção de reguladores de crescimento. Além disso, são capazes de inibir o desenvolvimento de outros microrganismos presentes no solo, tanto quando associadas às raízes quanto quando livres na solução do solo (20).

As bactérias mais comumente encontradas em associação com as raízes das plantas no solo pertencem aos gêneros *Aeromonas*, *Azoarcus*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Enterobacter*, *Gluconacetobacter*, *Klebsiella*, *Pseudomonas* e *Serratia* (21).

Segundo Hernández (22), desses diversos microorganismos presentes na rizosfera, as bactérias do gênero *Pseudomonas* são predominantes. Isso se deve à sua capacidade de colonizar diferentes órgãos das plantas, como raízes e tubérculos, utilizar os exsudatos liberados pelas raízes e produzir diversos metabólitos secundários com ação tóxica contra fungos e bactérias fitopatogênicas, destacando-se entre eles os antibióticos e os alcalóides Além da antibiose, certas espécies de *Pseudomonas*, especialmente aqueles do grupo fluorescente, são capazes de produzir compostos que quelam o ferro, presente em baixas concentrações na rizosfera. Estes compostos são denominados sideróforos e atuam inibindo o crescimento de outros microrganismos (21).

Paralelamente, Petras e Casida, (23) consideram que do ponto de vista de facilidade de utilização e capacidade de sobrevivência tanto em solo como estocadas as rizobactérias do gênero *Bacillus* apresentam elevado potencial como inoculantes para as culturas. A família *Bacillaceae*, classificada por Fisher em 1895 (24), é conhecida principalmente pela

capacidade de produzir endósporos, que apresentam formas variadas circulares, ovaladas ou cilíndricas e alta refração à luz. O gênero *Bacillus* distingue-se dos demais membros da família por ser composto por espécies aeróbicas estritas ou facultativas, de forma baciliforme, e que produzem catalase.

As atividades antagônicas de *Bacillus* spp. estão associadas à produção de metabólitos secundários, como bacteriocinas e lipopeptídeos. As bacteriocinas, sintetizadas no ribossomo, atuam contra bactérias interferindo na síntese da parede celular ou formando poros nas membranas. Já os lipopeptídeos, produzidos por vias não ribossômicas, interagem com membranas e estruturas intracelulares dos patógenos, causando danos e promovendo a defesa das plantas. Entre os lipopeptídeos cíclicos mais estudados, destacam-se as surfactinas, iturinas e fengicinas, que apresentam eficácia contra fungos e bactérias. Outros compostos, como bacitracinas, polimixinas e policetídeos, também exibem forte atividade antimicrobiana (25).

O potencial de biocontrole de *Bacillus* spp. é vasto, abrangendo o controle de doenças causadas por *Rhizoctonia solani*, *Pythium ultimum* e *Sclerotinia sclerotiorum*, graças à produção de metabólitos como surfactina, iturina e fengicina. Além disso, os genes envolvidos na síntese desses compostos podem ser identificados em genomas, destacando *B. subtilis* e *B. amyloliquefaciens* como principais produtores (26).

Os efeitos benéficos de *Bacillus* spp. no crescimento e na produtividade das plantas foram demonstrados em várias culturas agrícolas, incluindo trigo, milho, soja, girassol, feijão comum, tomate, pimenta, batata, pepino e muitas outras (27). A aplicação de *Bacillus* spp. para aumentar a produtividade de culturas de campo e vegetais é limitada pela variabilidade entre os resultados obtidos em laboratório, estufa e campo. Quando reintroduzidos por inoculação na planta/solo, apenas 1 a 2% das rizobactérias exercem um efeito benéfico no crescimento das plantas. Devido a vários fatores que afetam a eficácia de *Bacillus* spp., é necessário entender como diferentes cepas implementam ações de biocontrole e promoção do crescimento nas plantas e determinar claramente as características e a maneira de selecionar as cepas de melhor atuação (28).

CONCLUSÕES

A batata é uma cultura de grande importância, mas altamente suscetível à rizoctoniose, causada por *Rhizoctonia solani*, que compromete o desenvolvimento e a produtividade. O controle químico apresenta limitações, tornando necessário o uso de alternativas sustentáveis. Nesse cenário, as rizobactérias, especialmente *Bacillus* spp., destacam-se como agentes de biocontrole eficientes, capazes de reduzir a severidade da doença e, ao mesmo tempo, promover o crescimento vegetal. Assim, seu uso representa uma estratégia promissora para o manejo integrado da batata, conciliando produtividade e sustentabilidade.

AGRADECIMENTOS

Ao IF Goiano Campus Morrinhos; FAPEG - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás; Fundação De Apoio À Pesquisa -FUNAPE; Centro de Excelência em Bioinsumos - CEBIO.

REFERÊNCIAS

(1) NUNES, Jesion Geibel da Silva**. Crescimento, produtividade e qualidade de tubérculos de batata (*Solanum tuberosum* L.) em função da aplicação de reguladores vegetais.** Universidade Estadual Paulista (Unesp). Dissertação de mestrado. 2017.

(2) FAO. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura. **Anuário Estatístico 2021.** Roma: FAO, 2021. Disponível em: < file:///C:/Users/55999/Downloads/MESTRADO%20OLERICULTURA/M%C3%A9todos%20cient%C3%ADficos/World%20Food%20and%20Agriculture%20%E2%80%93%20Statistical%20Yearbook%202021.pdf> Acesso em: 26 set. 2024

(3) SALAS, F. J. S; TOFOLI, J. G. **Cultura da batata: pragas e doenças.** 1. ed. São Paulo: Instituto Biológico, 2016.

(4) TÖFOLI, J. G. DOMINGUES, R. J., FERRARI APTA – **Instituto Biológico** – Centro Pesquisa de Sanidade Vegetal Batata: desafios fitossanitários e manejo sustentável cap 06. / organizadora Angélica M. C. M. Pitelli Merenda. – 1. ed. Jaboticabal, SP a, 2020.

(5) BEN KHEDHER, S.; KILANI-FEKI, O.; DAMMAK, M.; JABNOUN-KHIAREDDINE, H.; DAAMI-REMADI, M.; TOUNSI, S. Eficácia de *Bacillus subtilis* V26 como agente de controle biológico contra *Rhizoctonia solani* em batata. Comptes Rendus Biologies, v. 338, n. 12, p. 784-792, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2015.09.012>.

(6) ABREU, E. S. D., Viana, I. C., Moreno, R. B., & Torres, E. A. F. D. S Alimentação mundial: uma reflexão sobre a história. **Saúde e sociedade**, v. 10, p. 3-14, 2001.

(7) BELIK, Walter. Estudo sobre a Cadeia de Alimentos. Instituto Ibirapitanga, outubro de 2020. Disponivel em:< https://www.imaflora.org/public/media/biblioteca/estudocadeiaalimentos__14.10.2020.pdf>Acesso em 30 set 2024.

(8) ABBA- Associação Brasileira da Batata Situação Atual da Produção de Batata no Brasil. Revista Batata Show, Edição 58 Dezembro De 2020 Disponível em: <https://www.abbabatatabrasileira.com.br/materias-das-revistas/situacao-atual-da-producao-de-batata-no-brasil/#:~:text=As%20principais%20variedades%20plantadas%20s%C3%A3o,Atlantic%20e%20FL%20(7%25)> Acesso em 29 set 2024.

(9) GALDINO, Antonia Gorete da Silva. Qualidade de diferentes cultivares de batatas destinadas à indústria de processamento. 48 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2023.

(10) TOFOLI, J. G.; DOMINGUES, R. J. Sintomatologia, etiologia e manejo de doenças causadas por fungos e chromistas na cultura da batata. **O Biológico**, v.84, 2022.

(11) SILVA-BARRETO, F. A. D., PEREIRA, W. V., CIAMPI, M. B., CÂMARA, M. P. S., CERESINI, P. C. Associação de *Rhizoctonia solani* Grupo de Anastomose 4 (AG-4 HGI e HGIII) à espécies de plantas invasoras de área de cultivo de batata. **Summa Phytopathologica**, v. 36, p. 145-154, 2010.

(12) Töfoli, J. G., Domingues, R. J., Ferrari, J. T., & Nogueira, E. M. C. Doenças fúngicas da cultura da batata: sintomas, etiologia e manejo. **O Biológico**, São Paulo, v. 74, n. 1, p. 63-73, 2012.

(13) REIS, A.; LOPES, C. A. **Rizoctoniose da batateira**. 2011. Disponível em:< file:///C:/Users/55999/Downloads/MESTRADO%20OLERICULTURA/M%C3%A9todos%20cient%C3%ADficos/RIZOCTONIOSE%20DA%20BATATEIRA.pdf>. Acesso em: 24 set. Informe técnico 2024.

(14) ABREU, L. D. P. S., BERBERT, P. A., DE SOUZA TEODORO, C. E., & MARTINAZZO, A. P. Alternativa sustentável de uso da Bacillus amyloliquefaciens no biocontrole de fungos fitopatogênicos: uma revisão. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 16, n. 1, 2022.

(15) MELO, T. A. de .; NASCIMENTO, I. T. V. da S. do .; SERRA, I. M. R. de S. . O gênero *Bacillus* aplicado ao controle biológico de doenças de plantas. Pesquisa, **Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 10, n. 9, p. e18110917817, 2021. Doi: <10.33448/rsd-v10i9.17817>.

(16) IZZAH, SHAHID., IZZAH, SHAHID., IZZAH, SHAHID., JUN, HAN., SHAROON, HANOOQ., KAUSER, A., MALIK., CHRISTOPH, H., BORCHERS., SAMINA, MEHNAz. Perfil de metabólitos de *Bacillus* spp. e sua aplicação na promoção do crescimento sustentável de plantas e biocontrole. v. 5 (2021). doi: <10.3389/FSUFS.2021.605195>. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.605195>Acesso em: 04 out. 2024.

(17) MACIEL, C. G., WALKER, C., MUNIZ, M. F. B., & ARAÚJO, M. M. Antagonismo de Trichoderma spp. e *Bacillus subtilis* (UFV3918) a *Fusarium sambucinum* em *Pinus elliottii* Engelm. **Revista Árvore**, v. 38, p. 505-512, 2014.

(18) LANNA FILHO, R., FERRO, H. M., & PINHO, R. D. Controle biológico mediado por Bacillus subtilis. Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas, v. 4, n. 2, p. 12-20, 2010.

(19) SHAHID, I., HAN, J., HANOOQ, S., MALIK, K. A., BORCHERS, C. H., & MEHNAZ, S.. Perfil de metabólitos de *Bacillus* spp. e sua aplicação na promoção do crescimento sustentável de plantas e biocontrole. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 5, p. 605195, 2021. Disponível em: < https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.605195> Acesso em: 05 out. 2024.

(20) VIEIRA JUNIOR, J. R., FERNANDES, C. D. F., ANTUNES JÚNIOR, H., da SILVA, M. S., da SILVA, D. S. G., da SILVA, U. O., DA SILVA, U. O. Rizobactérias como agentes de controle biológico e promotores de crescimento de plantas. 2013.

(21) SILVA, Rubens Ribeiro da et.Silva, M. L. N., Cardoso, E. L., Moreira, F. M. D. S., Curi, N., & Alovisi, A. M. T. (Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1584-1592, 2010.

(22) HERNÁNDEZ, A. Características de géneros associados a los cultivos de gerbera y clavel. Cultivos Tropicales, **Havana**, v. 21, n. 3, p. 15-18, 2000

(23) PETRAS, S. F.; CASIDA, L. E. J. Survival of Bacillus thuringiensis spores in soil. Applied and Environmental Microbiology, Washington – DC, v. 50, p. 1496-1501, 1985.

(24) GORDON, R. E. Cento e sete anos do gênero Bacillus. Bactérias aeróbicas formadoras de endósporos: classificação e identificação, p. 1-15, 1981.

(25) ANCKAERT, A., ARGUELLES ARIAS, A., HOFF, G., CALONNE-SALMON, M., DECLERCK, S., ONGENA, M. O uso de *Bacillus* spp. como agentes de biocontrole bacteriano para controlar doenças de plantas. 2021.

(26) Zhu, ML, Wu, XQ, Wang, YH, Dai, Y. Papel da formação de biofilme por Bacillus pumilus HR10 no biocontrole contra a doença de tombamento de mudas de pinheiro causada por Rhizoctonia solani. **Forests** , v. 11, n. 6, p. 652, 2020.

(27) MILJAKOVIĆ, Dragana; MARINKOVIĆ, Jelena; BALEŠEVIĆ-TUBIĆ, Svetlana. A importância de *Bacillus* spp. na supressão de doenças e promoção do

crescimento de culturas de campo e vegetais. **Microorganisms**, v. 8, n. 7, p. 1037, 2020.

(28) KHAN, A. R., MUSTAFA, A., HYDER, S., VALIPOUR, M., RIZVI, Z. F., GONDAL, A. S.,DARAZ, U *Bacillus* spp. como bioagentes: usos e aplicações para agricultura sustentável. **Biology**, v. 11, n. 12, p. 1763, 2022.

Capítulo 31

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-31

REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS E REGULADOR VEGETAL NA CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE TOMATE

Beatriz Aparecida da Silva ;Laryssa Marcia Caetano; Luis Felipe Paulino de Oliveira; Erasmo Ribeiro da Paz Filho Eduarda Vaqueiro Prado; Clarice Aparecida Megguer

**Autor correspondente (Beatriz Aparecida da Silva) – Email: Beatrizaparecida2610@outlook.com*

RESUMO

O desperdício de alimentos, um problema global, afeta gravemente o tomate, com perdas estimadas em 30% a 40% na fase pós-colheita no Brasil. A rápida deterioração do fruto, devido ao seu metabolismo ativo, exige práticas de conservação eficientes para prolongar sua vida útil. O presente estudo teve como objetivo principal avaliar o efeito de diferentes revestimentos comestível na conservação pós-colheita do tomate, visando a melhoria da qualidade e a redução de perdas. A metodologia consistiu em um experimento com delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos aplicados em tomates. Os tratamentos incluíam um grupo controle, ácido giberélico, fécula de mandioca, óleo de gergelim e combinações desses. As avaliações foram realizadas aos 5, 7 e 12 dias após a aplicação, analisando parâmetros como sólidos solúveis, pH, acidez titulável, firmeza e coloração da epiderme. Os resultados demonstraram que os valores de sólidos solúveis variaram de 3,79 (T6) a 4,17 (T1); o pH oscilou entre 4,04 (T5) e 4,16 (T4); a acidez titulável entre 4,80% (T6) e 5,25 % (T4); firmeza entre 3,22 N (T1) e 4,77 N (T2) e coloração da epiderme, b* entre 16,5 (T6) e 19,6 (T1). O tratamento T6 (fécula de mandioca + óleo de gergelim) destacou-se por preservar a qualidade, diferindo significativamente do grupo controle. Conclui-se que os revestimentos comestíveis representam uma alternativa promissora e sustentável para a conservação de tomates, prolongando sua vida útil e reduzindo perdas pós-colheita.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum* L.; qualidade; características físico-químicas.

INTRODUÇÃO

O desperdício de alimentos ocorre ao longo de toda a cadeia produtiva, desde a colheita até o consumo final. A cada ano, cerca de 1,3 bilhão de toneladas de alimentos são desperdiçadas globalmente, o que equivale a um terço da produção mundial. Um dos grupos mais afetados por esse desperdício são as raízes, frutas, hortaliças e sementes oleaginosas, que têm uma perda que varia entre 40% e 50% (1). O Brasil é o sétimo maior produtor mundial de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), com o Estado de Goiás se destacando como o principal polo produtor (2). Estima-se que entre 30% a 40% dos frutos colhidos no país sejam perdidos ainda na fase pós-colheita. Esses prejuízos estão relacionados a diversos fatores, como o ataque de insetos, a ação de microrganismos e as condições inadequadas de

transporte, armazenamento e comercialização, que comprometem a qualidade e a integridade dos frutos (3).

A rápida deterioração do tomate é uma das principais dificuldades enfrentadas em sua cadeia logística. Devido à sua estrutura sensível e ao seu metabolismo ativo mesmo após ser colhido, resultando em uma vida útil reduzida para o fruto, o que exige atenção especial em seu manuseio e conservação após a colheita. Essas características tornam essencial a adoção de práticas adequadas para prolongar sua durabilidade e viabilizar a sua comercialização por mais tempo (4).

No caso dos tomates voltados ao mercado consumidor, a qualidade do fruto é determinada principalmente por seu estágio fisiológico, especialmente o grau de maturação, que orienta o momento ideal para a colheita. Aspectos como aparência intacta, frescor, sabor, textura e composição química são fundamentais para atender às expectativas dos consumidores e garantir aceitação no ponto de venda (5). A percepção de qualidade está diretamente relacionada às características que os consumidores esperam encontrar em um determinado produto. Para garantir que essas expectativas sejam atendidas, é fundamental considerar todos os aspectos da cadeia produtiva até o momento do consumo (6).

As práticas e tecnologias adotadas no pós-colheita são tão fundamentais quanto as utilizadas durante o cultivo, pois a falta de atenção nessa fase pode gerar perdas tanto na qualidade quanto na quantidade dos produtos. Para estender o período de comercialização do tomate, a colheita geralmente é feita quando os frutos ainda estão firmes, mas é importante que o grau de maturação atenda às expectativas dos consumidores em relação ao sabor, textura e aparência. Nesse contexto, as coberturas comestíveis têm se mostrado uma alternativa eficaz, melhorando a aparência dos tomates e aumentando sua aceitação pelo público (7).

Segundo Sharifimehr *et al.* (8), os revestimentos comestíveis representam uma inovação no campo das embalagens ativas biodegradáveis, oferecendo maior segurança, propriedades funcionais e sensoriais, além de contribuir para a preservação da qualidade dos alimentos embalados. Esses revestimentos têm como objetivo principal reduzir a atividade metabólica e a perda de água, o que melhora o aspecto visual e prolonga a vida útil dos produtos hortifrutícolas.

A qualidade do tomate depende de uma série de fatores. Para avaliar essa qualidade, é importante considerar indicadores como variações no pH, acidez titulável total (ATT), perda de massa, firmeza, aparência externa, coloração e o aumento do teor de sólidos solúveis totais (SST). Essas características são influenciadas pelas mudanças que o fruto climatérico sofre depois da colheita, principalmente quando exposto a temperaturas elevadas. Além disso, o estágio de maturação no momento da colheita, os métodos de armazenamento, as condições de cultivo, as características da variedade utilizada, assim como o transporte e a embalagem, também impactam diretamente a qualidade final do tomate (9).

O presente estudo tem como objetivo avaliar o efeito de diferentes revestimentos comestíveis na conservação pós-colheita de tomates, buscando reduzir perdas e prolongar a vida útil desses frutos, sem comprometer suas características físicas e químicas. Para isso, as avaliações foram realizadas em distintos momentos ao longo do período de armazenamento, permitindo acompanhar a evolução das qualidades dos frutos.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no laboratório de Fisiologia Vegetal e Pós-Colheita do Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos. Os frutos utilizados foram adquiridos no início da maturidade fisiológica, com coloração verde, conforme recomendado para estudos pós-colheita de frutos climatéricos (10). Após a aplicação dos tratamentos, os frutos foram mantidos em temperatura ambiente (22 ± 2 °C).

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 6 × 3 (seis tratamentos × três períodos de armazenamento), com três repetições por período de avaliação. Cada repetição consistiu em uma bandeja plástica contendo dois frutos de tomate por tratamento, totalizando 12 frutos (seis tratamentos × dois frutos) em cada bandeja, perfazendo três bandejas por dia de análise.

Os tratamentos foram: T1 – Controle; T2 – ácido giberélico (GA_3) a 100 ppm; T3 – fécula de mandioca a 3%; T4 – fécula de mandioca a 3% + GA_3 a 100 ppm; T5 – óleo de gergelim a 0,5%; e T6 – fécula de mandioca a 3% + óleo de gergelim a 0,5%.

No tratamento controle, os frutos foram dispostos em bandejas plásticas sem receberem nenhum tipo de solução além da utilizada para a sanitização e sem qualquer recobrimento. Para o tratamento com regulador vegetal, os frutos foram imersos em solução de ácido giberélico (GA_3) a 100 ppm por um minuto. Em seguida os frutos foram secos em temperatura ambiente. A película comestível foi obtida a partir de fécula de mandioca, preparada na concentração de 3% (p/v), dissolvida em água e aquecida até a solução tornar-se transparente. Após o resfriamento à temperatura ambiente, os frutos foram imersos por um minuto, formando uma película uniforme após a secagem.

O tratamento com fécula de mandioca + GA_3 consistiu na imersão dos frutos em fécula de mandioca a 3% previamente preparada, seguida da aplicação de GA_3 a 100 ppm. Para o preparo do revestimento com óleo de gergelim, este foi diluído em água destilada para obtenção da concentração de 0,5% (v/v), sendo a solução homogeneizada antes da aplicação. Os frutos foram imersos por um minuto até completa cobertura. No tratamento fécula de mandioca + óleo de gergelim, os frutos receberam a combinação das duas soluções, também por imersão de um minuto.

As avaliações foram realizadas aos cinco, sete e doze dias após a aplicação dos tratamentos. Os parâmetros analisados incluíram sólidos solúveis (ºBrix), pH, acidez titulável (%), firmeza (N) e coloração da epiderme (a* e b*).

Os frutos foram triturados em uma centrífuga de frutas (Walita, modelo RI 1861) e o suco foi utilizado para as análises de sólidos solúveis, pH e acidez titulável. O teor de sólidos solúveis foi determinado por refratometria, com o auxílio de um refratômetro digital portátil, e os valores expressos em ºBrix. O pH foi determinado pela imersão do eletrodo no suco celular usando um pHmetro de bancada (R-TEC-7/2, Tecnal). A acidez titulável foi determinada pelo método de titulometria ácido-base. Inicialmente, 10 mL de suco celular foram diluídos em 90 mL de água destilada para adequar a concentração de ácidos e facilitar a titulação. A solução obtida foi então titulada com uma solução padrão de NaOH 0,1 M, utilizando fenolftaleína como indicador, até a obtenção de ponto final, caracterizado pela mudança de cor da solução de incolor para rosa pálido e os valores foram expressos em porcentagem.

A avaliação da firmeza dos frutos foi realizada utilizando um aplanador de pedestal. Para isso, o tomate foi posicionado sobre um pedestal vertical, sobre o qual foi colocada uma cuba de vidro. O peso da cuba, equivalente a 0,591 kg, gerou uma deformação na área de contato com o fruto, a qual foi quantificada medindo-se os dois comprimentos (maior e menor) com um paquímetro digital. Os resultados foram posteriormente convertidos e expressos em newtons (N).

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software estatístico SISVAR (12).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos neste estudo demonstraram que não houve diferenças expressivas entre os tratamentos em relação aos parâmetros visuais avaliados ao longo do armazenamento como demonstrado na Figura 1. Todos os frutos, independentemente do tratamento aplicado, apresentaram evolução semelhante no processo de maturação, com alteração de coloração e perda de firmeza ao longo do tempo.



Figura 4 – Aspecto visual dos tomates submetidos aos diferentes tratamentos (T1 – Controle; T2 – Giberelina 100 ppm; T3 – Fécula de mandioca; T4 – Fécula + Giberelina; T5 – Óleo de gergelim; T6 – Óleo de gergelim + Fécula) aos 5, 7 e 12 dias de armazenamento. Fonte: Beatriz Silva (2025).

Não foi verificada interação entre os tratamentos e os períodos de avaliação. Assim, na Tabela 1 estão apresentados os valores médios das características físico-químicas de frutos de tomate submetidos a diferentes revestimentos comestíveis.

Tabela 10 – Valores médios de sólidos solúveis, pH, acidez titulável e firmeza de polpa em frutos de tomate tratados com diferentes revestimentos comestível.

Tratamento	Sólidos solúveis (ºBrix)	pH	Acidez titulável (%)	Firmeza (N)
T1- Controle	4,17 a	4,15 a	5,14 a	3,22 a
T2- Giberelina 100ppm	4,01 ab	4,10 a	4,83 a	4,77 a
T3- Fécula de mandioca	4,07 ab	4,13 a	4,82 a	4,55 a
T4- Fécula + Giberelina	3,98 ab	4,16 a	5,25 a	4,63 a
T5- Óleo de gergelim	3,81 b	4,04 a	5,14 a	3,93 a
T6- Óleo de gergelim + Fécula	3,79 b	4,12 a	4,80 a	4,57 a
CV (%)	6,26	3,78	11,33	41,56

CV: coeficiente de variação.

Os menores valores médios de sólidos solúveis foram observados em frutos do T5 (3,81) e T6 (3,79) e diferiram significativamente do T1 (4,17), indicando que os frutos revestidos com óleo de gergelim e gergelim + fécula promoveram uma preservação da qualidade verificado pela menor conversão de sólidos solúveis em comparação ao controle. Esse comportamento é consistente com os efeitos reportados por Utama *et al.* (13) que observaram valores de ºBrix entre 3,6 e 4,1 em tomates revestidos com emulsões de óleo de gergelim e óleo de capim-limão. No estudo de Utama *et al.* (13), embora não tenham sido encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos, os frutos revestidos também tiveram ligeira redução no ºBrix em relação ao controle, sugerindo que os revestimentos atuam retardando o metabolismo de açúcares por meio da diminuição da taxa respiratória. Vieira *et al.* (14) observaram que revestimentos elaborados com fécula de mandioca foram capazes de afetar positivamente o teor de sólidos solúveis totais em mangas, os frutos tratados apresentaram valores consideravelmente inferiores aos dos não revestidos.

Os valores médios de pH dos tomates avaliados variaram de 4,04 no tratamento com óleo de gergelim (T5) a 4,16 no tratamento com fécula + giberelina (T4). Não foram observadas diferenças significativas para a variável pH. Lima *et al.* (15), ao analisarem as características físico-químicas do tomate híbrido Vênus em estágio de maturação, registraram um pH médio de 4,30, valor semelhante ao encontrado neste estudo. De acordo com Castro (16), o pH dos frutos tende a elevar-se gradualmente durante a maturação, sendo influenciado por fatores como a cultivar utilizada e o período de colheita.

A acidez titulável (AT) não diferiu significativamente entre os tratamentos e os valores médios foram de 4,997 (4,80 a 5,25). Resultados semelhantes foram verificados por Dehghani *et al.* (17) ao revestirem tomates com goma de amêndoa. Já Donjio et al., (18) verificaram que tomates tratados com goma arábica e extrato da casca de abacaxi preservaram a AT ao longo do armazenamento. Estes estudos indicam que o efeito sobre o ácido cítrico depende do tipo de tratamento aplicado, podendo tanto preservar quanto diminuir a acidez dos frutos durante a maturação e conservação.

De acordo com Chitarra & Chitarra (10), a textura dos frutos envolve diversas sensações, sendo a firmeza (ou dureza) uma das mais importantes. Ela corresponde à força necessária para causar uma determinada deformação e está diretamente relacionada à composição e à estrutura das paredes celulares, bem como à manutenção da sua integridade.

Os valores de firmeza variaram de 13,18 mm² no tratamento T2 (giberelina 100 ppm) a 16,65 mm² no controle (T1). Considerando que, nesse método, quanto maior a área

deformada, maior a deformidade do fruto, observa-se que o controle apresentou a maior deformação, indicando frutos relativamente mais macios, enquanto o tratamento com giberelina apresentou a menor deformidade, sugerindo maior resistência à pressão aplicada.

Segundo Moretti (19), a coloração dos tomates pode ser medida de forma objetiva com o uso de colorímetros, substituindo avaliações subjetivas por escalas de notas. O sistema Lab* fornece três coordenadas: L* (branco a preto), a* (verde a vermelho) e b* (azul a amarelo), permitindo determinar com precisão a coloração do fruto. Para estudos fisiológicos costuma-se utilizar a relação a*/b*, em que valores positivos indicam predominância de cor madura (vermelho) e valores negativos predominância de cor imatura (verde). A medição deve ser feita em pelo menos dois pontos da superfície.

Tabela 2 – Análise de variância das variáveis de cor a* e b* em frutos de tomate tratados com diferentes revestimentos comestíveis ao longo do período de armazenamento (5, 7 e 12 dias), com significância estatística determinada pelo teste F.**

Causas de Variação	**GL**	**Quadrados Médios**	
		a*	**b***
Tratamento	5	65,156 ^{NS}	41,413**
Dias de avaliação	2	605,139 ^{NS}	23,197 ^{NS}
Repetição	2	13,916 ^{NS}	5,114 ^{NS}
Trat*avaliação	10	43,081 ^{NS}	23,421*
Resíduo	304	16,724	11,035
Coeficiente de Variação (%)		22,77	

GL - Graus de liberdade
^{NS} - Não significativo pelo teste de F
** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste de F
* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F

Pela análise da ANOVA na Tabela 2, observou-se que o parâmetro a*, relacionado à tonalidade vermelho-verde dos tomates, não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, entre os dias de avaliação ou na interação tratamento × dias. Isso indica que nem os tratamentos aplicados nem o avanço do tempo durante o experimento alteraram de forma relevante vermelho-verde dos frutos, sugerindo que a maturação nesse aspecto ocorreu de maneira semelhante em todos os tratamentos.

Por outro lado, o parâmetro b*, que representa a tonalidade amarelo-azul, foi significativamente influenciado pelos tratamentos ao nível de 1%, indicando que diferentes tratamentos provocaram variações na intensidade do amarelo dos frutos. De acordo com a Tabela 3 da análise de variância de cor do experimento, observou-se que a interação entre tratamento × dias de avaliação foi significativa ao nível de 5%, demonstrando que o efeito dos tratamentos sobre b* variou ao longo do tempo, ou seja, alguns tratamentos tiveram maior impacto em determinados dias de avaliação.

Tabela 3 – Valores médios da variável da cor b* em frutos de tomate tratados com diferentes revestimentos comestível.

Tratamento	**Médias**	**Resultados do teste**

T1- Controle	19.592963	b
T2- Giberelina 100ppm	17.375000	a b
T3- Fécula de mandioca	18.203889	a b
T4- Fécula + Giberelina	17.449630	a b
T5- Óleo de gergelim	18.654630	a b
T6- Óleo de gergelim + Fécula	16.469444	a
Erro padrão: 0,556		Dms: 2,25

Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Dms: Diferença mínima significativa.

A análise estatística pelo teste de Tukey demonstrou que o tratamento T6 (Óleo de gergelim + Fécula) se destacou como o mais eficaz na manutenção da qualidade dos tomates no quesito cor, apresentando a menor média, indicando diferença significativa em relação ao controle (T1). Vieira *et al.* (14) avaliaram o uso de revestimentos alternativos com óleo na conservação pós-colheita da manga Tommy Atkins e observaram resultados positivos.

Os autores concluíram que revestimentos à base de fécula de mandioca (1 a 3%) combinados com óleos, no caso do estudo o de girassol, a 0,05% foram capazes de retardar o amadurecimento dos frutos em pelo menos quatro dias em condições de temperatura ambiente.

CONCLUSÃO

O uso de óleo de Gergelim preservou as características físico-químicas, indicando que esse revestimento comestível é uma alternativa tecnológica eficiente para prolongar a vida útil do tomate, reduzir perdas pós-colheita e contribuir para a sustentabilidade da cadeia produtiva.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao IF Goiano pelo apoio durante a realização das atividades de pesquisa e à Sumitomo pelo fornecimento do ProGibb, que possibilitou a condução dos experimentos

REFERÊNCIAS

1. Martins MRSF, Martins AMD, Da Silva MAP, Cappato LP. Avaliação dos índices de desperdício de alimentos em UAN militar de médio porte. *Rev Bras Obes Nutr Emagrec*, 2024.
2. Zayat JZM, Neto JFB, Golinsky A, Marques PVF, De Paula G, Tofoles TA. Viabilidade econômica da produção de tomate do tipo saladete no sul do Estado de Goiás. *Rev Iberoam Humanid Cienc Educ*. 2022;1455-86.
3. Hassan B, Chatha SAS, Hussain AI, Zia KM, Akhtar N. Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. *Int J Biol Macromol*. 2018; 109:1095-107.
4. Damasceno S, Oliveira PVS, Moro E, Macedo Junior EK, Lopes MC, Vicentini NM. Efeito da aplicação de película de fécula de mandioca na conservação pós-colheita de tomate. *Ciênc Tecnol Aliment*. 2003.
5. Silva JBC, Giordano LB. Tomate para processamento industrial. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia/Embrapa Hortaliças; 2000. p. 8-11.
6. Ferreira SMR, et al. Avaliação da qualidade do tomate. In: Simpósio Sul-Brasileiro de Alimentação e Nutrição: História, Ciência e Arte. 2000;1:437-41.
7. Oliveira PA. Conservação pós-colheita de banana 'Prata' com revestimentos de origem vegetal [dissertação]. Rio Branco: Universidade Federal do Acre; 2010.
8. Sharifimehr S, Soltanizadh N, Goli H, Amir S. Effects of edible coating containing nano-emulsion of Aloe vera and eugenol on the physicochemical properties of shrimp during cold storage. *J Sci Food Agric*. 2019.
9. Sanino, A., Cortez, L. A. B., & Mederos, B. T. Vida-de-prateleira do tomate (*Lycopersicon esculentum*), variedade Débora, submetido a diferentes condições de resfriamento. Workshop de Tomate: Perspectivas e Pesquisas, 2002.
10. Chitarra MIF, Chitarra AB. Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio. Lavras: UFLA; 2005.
11. Zhu Z, Ding Y, Zhao J, Nie Y, Zhang Y, Sheng J, et al. Effects of postharvest gibberellic acid treatment on chilling tolerance in cold-stored tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Food Bioprocess Technol*. 2016. doi:10.1007/s11947-016-1712-3.
12. Ferreira DF. Sisvar: um programa para análises e ensino de estatística. *Rev Symposium*, 2008.
13. Utama IMS, Yulianti NL, Prastya OA, Luther G. Sesame and Lemon Grass Oils as Coating Materials to Reduce the Deterioration of Tomato Fruits during Storage. *Proc Indones Hortic Soc Natl Seminar*. Malang; 2014. p. 1-9.

14. Vieira EL, Pereira MEC, Santos DB, Lima MAC. Aplicação de biofilmes na qualidade da manga 'Tommy Atkins'. *Magistra*, 2009.

15. Lima AA, Alvarenga MAR, Rodrigues L, Chitarra AB. Yield and quality of tomato produced on substrates and with application of humic acids. *Hortic Bras*. 2011;269-74.

16. Castro LR, Cortez LAB. Aplicação da refrigeração na conservação pós-colheita do tomate. In: Encontro de Energia no Meio Rural, 2003.

17. Dehghani S, Hosseini E, Rousta E. Shelf-life extension of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) using an edible coating of bitter almond gum-fish gelatin conjugates, Progress in Organic Coatings, Volume 170, 2022, 106980, https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2022.106980.

18. Donjio, R., Nguemezi, J., Anoumaa, M., Phounzong, E., Kenfack, J., & Fonkou, T. (2023). Using Response Surface Methodology to Optimize Edible Coating Formulations to Delay Ripening and Preserve Postharvest Quality of Tomatoes. Journal of Food Quality. https://doi.org/10.1155/2023/1019310.

19. Moretti CL. Protocolos de avaliação da qualidade química e física de tomate. Brasília (DF): Embrapa Hortaliças; 2006.

Capítulo 32

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-32

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E PERFIL BIOATIVOS DA FLOR DE JASMIM-MANGA (*PLUMERIA RUBRA L.)* ATRAVES DO PROCESSO DE SECAGEM

Anderson Luiz Silva de Araújo*; Elaine Juliane da Costa Silva; Thais Ribeiro Luna de Melo; Deborah Margarida Pereira Januário Larissa da Silva Santos Pinheiro; Letícia Brandão dos Santos; Gilcean Silva Alves

**Anderson Luiz Silva de Araújo – Email: eu.luiz.12@hotmail.com*

Resumo: A planta jasmim-manga, pertencente à família *Apocynaceae*, nativa da América Central e do Sul, destaca-se por suas flores ricas em compostos bioativos, destacando-se flavonoides e antocianinas. Objetivou-se com este estudo analisar as características físico-químicas e teor de compostos bioativos da flor e do extrato aquoso da *Plumeria rubra* submetidos à secagem por spray dryer. As flores foram adquiridas no município de Pombal-PB e, posteriormente, foram transportadas para o CVT. Suas pétalas foram higienizadas e submetidas ao processo de extração do extrato aquoso na proporção de 1:25 (p/v), seguido da secagem com maltodextrina no spray dryer. Foram analisados parâmetros físico-químicos (pH, acidez total titulável, sólidos solúveis totais, proteínas e lipídios) e determinação dos teores de flavonoides e antocianinas. Os resultados mostraram valores de pH levemente ácidos (5,08 na flor fresca e 5,49 no pó) e redução na acidez total titulável de 0,40% para 0,26% após a secagem. Observou-se aumento expressivo dos sólidos solúveis, de 3,27 °Brix (flor fresca) para 14,4 °Brix (pó). O teor de proteínas reduziu de 2,12% para 1,29%, enquanto os lipídios aumentaram de 2,68% para 3,15%. Quanto aos compostos bioativos, os flavonoides reduziram de 87,29 mg/100g (flor fresca) para 40,11 mg/100g (pó), e as antocianinas de 79,24 mg/100g para 5,73 mg/100g. Esses resultados evidenciam que, embora a secagem tenha ocasionado perdas significativas de antocianinas, a utilização da maltodextrina contribuiu para a preservação parcial dos flavonoides, resultando em um pó com potencial aplicação como corante natural e ingrediente funcional para a indústria de alimentos.

Palavras–chave: compostos bioativos; flores comestíveis; spray dryer

INTRODUÇÃO

A utilização de flores comestíveis está relacionada com a sua composição diversificada de fitoquímicos, que são benéficos a saúde, com relação à atividade antioxidante, que são capazes de agir na manutenção da saúde e na prevenção do envelhecimento precoce (1). Além disso, as flores comestíveis são responsáveis por um nicho promissor na indústria de alimentos, com inserção em livro de receitas e artigos, se mostrando um destaque como uma fonte de compostos bioativos (2).

Variadas plantas usadas em ornamentações apresentam flores com características que interessam ser consumidas pelo ser humano (3), com isso, o seu cultivo passa a ser estimulado não só para utilizá-las em decorações ou ornamentações, mas também para alimentação (4). Nas últimas décadas, bastantes inflorescências estão sendo estudadas mais detalhadamente por possuírem diversos fitoquímicos com atividade antioxidante (5), que contribuem com inúmeros benefícios a saúde (6). As flores são ricas em diversos compostos,

entre estes flavonoides, antocianinas e compostos fenólicos, os quais são responsáveis pela coloração predominante em cada espécie.

A planta Jasmim-manga (*Plumeria rubra*) faz parte da família das Apocynaceae e por causa da sua fragrância de suas flores são utilizadas em ornamentações em parques praças e jardins, é cultivada em países de clima tropical e subtropical, mas é nativa do México (América Central), Colômbia e Venezuela (América do Sul), e suas flores são ricas em alcaloides, antocianinas, glicosídeos e possuem atividade antioxidante (7). as suas inflorescências podem variar de coloração, podem apresentar cor branca, vermelha, amarela, rosa ou cores variadas, fortemente perfumadas (8). As plantas pertencentes ao gênero *Plumeria* também são conhecidas por apresentarem efeitos anti-inflamatório, diurético, antitérmico, purgante, além de serem usadas como tônico e expectorante (9).

Diante disso, a coloração da flor de Jasmim-manga possibilita a elaboração de corantes naturais, rico em compostos bioativos e antioxidantes, conferindo ao produto diversas funções biológicas incluindo além da atividade antioxidante, atividades antialérgicas, antimicrobianas, anti-inflamatórias e anticancerígenas (10).

Os métodos de extração de compostos das plantas são bastante diversificados devido à natureza complexa da matriz. A extração dos compostos bioativos e a capacidade antioxidante são consideravelmente influenciados pelo tipo de solvente, devido às suas propriedades dielétricas e desempenho de extração variáveis, assim como pela variação estrutural dos compostos desejados no processo. Desse modo, a escolha correta de solventes, a proporção de sólido e líquido apropriada, o tempo e temperatura de extração são cruciais para obter alta eficácia (11).

Nesse sentido, a secagem por spray dryer constitui uma estratégia tecnológica eficiente, pois minimiza a degradação térmica de compostos sensíveis e aumenta a estabilidade do produto final. Portanto, durante a secagem dos extratos por spray dryer, os agentes carreadores serão capazes de aprisionar a substância alvo em sua matriz, atuando como um revestimento, apto a proteger do ambiente externo e deverá ser essencialmente inerte à partícula (12).

Com isso, o objetivo desta pesquisa foi obter o corante natural da flor de Jasmim-manga através do processo de secagem por spray dryer, e determinar suas propriedades bioativas e centesimal.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi conduzido nos laboratórios do Centro Vocacional Tecnológico (CVT), pertencentes a Unidade Acadêmica de Tecnologia de Alimentos (UATA), do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus Pombal, Paraíba.

As flores de Jasmim-manga (*Plumeria rubra L.)*, foram adquiridas no município de Pombal-PB. Posteriormente foram transportadas para o CVT, onde ocorreu o processo de retirada das pétalas com o auxílio de uma faca inoxidável. Em seguida, realizou-se a sanitização das pétalas, inicialmente passaram por uma lavagem em água corrente, seguido por higienização em solução de hipoclorito de sódio (200 ppm) e enxague com água destilada, para posterior preparo do extrato e análises.

Para a obtenção do extrato aquoso, adotou-se a proporção 1:25 (p/v), estabelecida a partir de testes preliminares. A extração foi conduzida em água destilada aquecida até ebulição, mantendo a solução sob fervura por 10 minutos. Após resfriamento, o extrato foi filtrado e acondicionado em frascos âmbar sob refrigeração, seguindo metodologia descrita na literatura, com adaptações (13), até a etapa de secagem.

A secagem foi realizada por spray dryer (14), envolveu quatro etapas, a primeira foi a preparação da dispersão/emulsão do material de parede (maltodextrina); a segunda, a homogeneização da dispersão (maltodextrina) com o ingrediente núcleo (extrato aquoso da flor de Jasmim-manga) na proporção de 1:4 (p/v); a terceira, ocorre a atomização da dispersão, o material foi adicionado e bombeado à 0,3 L/h para a câmara de secagem através de um bico/disco giratório; e a quarta foi a desidratação, onde as partículas foram atomizadas com a evaporação da água a uma temperatura de 60ºC e com vazão de ar de 1,0 m^3/min, através do rápido contato do ar quente com as gotículas formadas, então, o material seco foi coletado através de um ciclone.

As análises físico-químicas foram conduzidas tanto nas flores frescas quanto no extrato em pó, incluindo os sólidos solúveis totais (SST), potencial hidrogeniônico (pH), acidez total titulável (ATT), proteínas e lipídeos (15).

Além disso, foram determinados os compostos bioativos, com quantificação de flavonoides (mg/100g) e antocianinas totais (mg/100g), segundo metodologia descrita por Francis (16), aplicadas às amostras de flor fresca, extrato aquoso e pó obtido por spray dryer.

As análises físico-químicas e a determinação de compostos bioativos foram realizadas em triplicata, e seus resultados foram expressos como média ± desvio-padrão, sem aplicação de testes estatísticos de comparação, por não se tratar de estudo experimental com hipóteses de diferença entre tratamentos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta as médias e os desvios padrão das análises físico-químicas realizada na flor fresca e do extrato aquoso em pó da flor de Jasmim-manga obtido por spray dryer.

Tabela 1 – Média e desvio padrão das análises físico-químicas da flor fresca e do extrato aquoso em pó da flor de Jasmim-manga.

Análise	**Flor fresca**	**Extrato aquoso em pó**
pH	5,08 ± 0,01	5,49 ± 0,02
Acidez Total Titulável **(%)**	0,40 ± 0,03	0,26 ± 0,02
SST** **(ºBrix)**	3,27 ± 0,15	14,4 ± 0,20
Proteínas **(%)**	2,12 ± 0,00	1,29 ± 0,01
Lipídios **(%)**	2,68 ± 1,90	3,15 ± 0,00

Fonte: Autoria própria (2025).
*Média ± desvio padrão.
**SST = Sólidos solúveis totais.

Os resultados para o pH indicaram valores levemente ácidos em ambas as amostras superior ao resultado por Oshiro et al. (17) em sua pesquisa com as Flores de Dália Vinho em que o pH foi de 4,3. A redução da acidez (0,40% para 0,26%) está associada à degradação parcial de ácidos orgânicos durante a secagem.

O teor de sólidos solúveis totais apresentou aumento expressivo no extrato em pó (14,4 °Brix) em comparação à flor fresca (3,27 °Brix), valores superiores aos relatados por Moreira et al. (18) para pétalas de rosa Carola (6,46 °Brix) reforçam a potencialidade tecnológica da espécie. Resultado explicado pela remoção de água durante a secagem, que concentra açúcares, aminoácidos e outros solutos.

Em relação às proteínas, observou-se redução de 2,12% (fresca) para 1,29% (pó), corroborando Felipe et al. (19), que destacam a baixa contribuição proteica de flores comestíveis. Já para lipídios, houve ligeiro aumento no pó (3,15%), evidenciando que as flores atuam mais como estruturas reprodutivas do que como tecidos de reserva.

A Tabela 2 apresenta as médias e os desvios padrão dos compostos bioativos analisados neste estudo para a flor fresca, extrato aquoso e do extrato em pó da flor de Jasmim-manga obtido por spray dryer.

Tabela 2 – Média e desvio padrão da flor fresca, extrato aquoso e do extrato aquoso em pó da flor de Jasmim-manga.

Comp. Bioativos (mg/100g)	Flor fresca	Extrato aquoso	Pó do extrato aquoso
Flavonoides	87,29 ± 0,18	38,54 ± 0,00	40,11 ± 0,00
Antocianinas totais	79,24 ± 0,55	10,55 ± 0,00	5,73 ± 0,00

Fonte: Autoria própria (2025).
*Média ± desvio padrão.

O teor de flavonoides foi elevado na flor fresca (87,29 mg/100 g), reduzindo após a extração aquosa (38,54 mg/100 g), mas apresentando leve recuperação no pó (40,11 mg/100 g). Essa estabilidade relativa após a secagem sugere que a maltodextrina protegeu parcialmente os compostos bioativos, conforme relatado por Fernandes (23). Os flavonoides, reconhecidos pela ação antioxidante e anti-inflamatória (20,21,22), conferem à matéria-prima elevado potencial funcional e aplicação em formulações alimentícias.

De acordo com Fernandes (23), o extrato etanólico da flor de *Plumeria rubra* apresenta flavonoides. Ocorreu uma baixa após a preparação do seu extrato e no material obtido após a secagem em spray dryer, que pode ser explicada devido ao contato com a temperatura de secagem. O resultado obtido para o pó do extrato aquoso mostra um expressivo aumento quando comparado ao resultado do extrato aquoso, mostrando que o processo de secagem utilizando spray dryer protege a matéria englobada com maltodextrina, produzindo uma matéria-prima que pode ser adicionada em formulações alimentícias adquirindo propriedades favoráveis como antioxidantes e coloração natural e saudável.

Os resultados para flavonoides são positivos, isto pode ser um indicativo da presença de compostos fenólicos, indicando assim um potencial para a atividade antioxidante, pois os flavonoides são uma classe que faz parte dos compostos fenólicos e são um dos mais importantes e diversificados entre os produtos de origem natural, amplamente distribuída dentro do reino vegetal e podem ser encontrados em várias formas estruturais (23).

Atualmente, as antocianinas vêm sendo utilizadas como corante natural pela indústria, são reconhecidas como metabolitos secundários que fazem parte da classe dos flavonoides, assim, sua atividade antioxidante consegue inibir os processos de degradação oxidativa devido a sua composição química e sua atividade biológica possui diversos benefícios a saúde (21).

A flor fresca apresentou média para antocianinas totais de 79,24 mg/100g, quando comparada à média de algumas flores tidas como comestíveis estudadas como pôr a flor de capuchinha-laranja (58,9 mg/100g) e a flor de amor-perfeito (45,1 mg/100g) (24), podemos dizer que a flor de Jasmim-manga apresenta teor de antocianinas consideráveis, e com isso, ser uma fonte de antocianinas na busca por uma saúde melhor por parte dos consumidores. Entretanto, apresentou uma baixa significativa após a obtenção do seu extrato aquoso, com média de 10,55 mg/100g. Com o processo de secagem em spray dryer, o teor de antocianinas obteve uma redução significativa em sua média para 5,73 mg/100g, demostrando uma considerável perda deste composto, que pode estar relacionado com a temperatura de secagem ou com o tipo de material de parede que não apresentou eficácia em proteger a degradação deste composto bioativo.

CONCLUSÕES

Os resultados alcançados neste estudo que a *Plumeria rubra* L. popularmente conhecida como Jasmim-manga, apresentaram características físico-químicas e compostos bioativos de importância nutricional e tecnológica, demonstrando um potencial para aplicação na indústria de alimentos. O processo de secagem por spray dryer proporcionou consideráveis alterações na composição da matéria-prima, em específico nos teores de sólidos solúveis totais e lipídeos. Com relação aos compostos bioativos, observou-se uma diminuição nos teores de flavonoides e antocianinas no extrato aquoso, e principalmente, após a secagem, no entanto uso da maltodextrina como um material de parede que contribuiu relativamente para a preservação dos flavonoides.

Assim, o pó do extrato aquoso da flor de jasmim-manga obtido via spray dryer configura-se como uma matéria-prima funcional, com potencial para ser classificada como flor comestível de interesse tecnológico, atuando tanto como fonte de compostos antioxidantes quanto como corante natural. Entretanto, a acentuada redução no teor de antocianinas ressalta a necessidade de novos estudos que avaliem diferentes materiais de parede e condições de secagem, visando otimizar a retenção desses compostos e ampliar a aplicabilidade industrial da espécie.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro Vocacional Tecnológico (CVT); A Unidade Acadêmica de Tecnologia de Alimentos (UATA); O Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA); E a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus Pombal-PB

REFERÊNCIAS

1. Alves LC, Sampaio GM, Araújo PS, Oliveira FJ, Santos RM. Sustentabilidade e flores comestíveis no Brasil: aspectos nutricionais, gastronômicos e toxidez. Rev Tecnol Soc. 2023;19(56):29-50.
2. Carvalho F. Avaliação da qualidade de flores de Viola cornuta frescas e liofilizadas e estudo sobre o consumo de flores comestíveis em Portugal [dissertação]. Porto: Faculdade de Ciências da Universidade do Porto; 2018.
3. Chitrakar B, Zhang M, Bhandari B. Edible flowers with the common name “marigold”: Their therapeutic values and processing. Trends in Food Science & Technology, 89, 76-87, 2019. Doi:10.1016/j.tifs.2019.05.008.
4. Souza AG, Jung EA, Benedicto VP, Bosco LC. Bioactive compounds in gladiolus flowers. Scientific article, Arnamental Horticulture – SBFPO. IFC, Curitibanos – SC, Brasil, V. 27, N^{o}.3, 2021 p.296-303.
5. Sayeed R, Thakur M. Comparative studies on extraction methods of betalain content and anti-oxidant activity of biocolorant obtained from Celosia cristata L. flowers. Med. Plants. 2019; 11: 367-371
6. Neto, I. F. S. Flores comestíveis: uma revisão do potencial nutracêutico. **Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente**, v. 1, n. 9, p. 30-44, 2020.
7. Carvalho LA, Leal LP, Araújo PM, Silva GM, Vanderlei MFM, Melo LRA, Oliveira JPPP, Carvalho VC, Souza BVC. Plantas alimentícias não convencionais e seus principais compostos bioativos. Branzilian Journal of Developmente. 2023, 2525-8761.
8. Leilei Z, et. al. Identification of Three Kinds of Plumeria Flowers by DNA Barcoding and HPLC Specific Chromatogram. Journal of Pharmaceutical Analysis, v. 08, n. 03, p. 176 180, 2018.

9. AKHTAR, N. et al. Isolation and characterization of the chemical constituents from Plumeria rubra. Phytochemistry Letters, v. 6, p. 291-298, 2013.
10. Chensom, S., Okumura, H., Mishima, T. Primary Screening of Antioxidant Activity, Total Polyphenol Content, Carotenoid Content, and Nutritional Composition of 13 Edible Flowers from Japan. **Preventive Nutrition and Food Science**, v. 24, n. 2, p. 171, 2019.
11. Nascimento JVD., Giuliangeli VC, Kato T, Calliari CM, Shirai M. A. Phenolic compounds and antioxidant capacity of the *Clitoria ternatea* L. flower extracts. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, e218101119450, 2021.
12. Abrahão F.R., Rocha LCR, Santos TA, Carmo EL, Pereira LAS, Borges SV, Pereira AGFA, Botrel DA. Microencapsulation of bioactive compounds from espresso spent coffee by spray drying. LWT, v. 103, p. 116-124, 2019.
13. Soares MHFB, Antunes PA, Cavalheiro ETG. Aplicação de extratos brutos de flores de quaresmeira e azaléia e da casca de feijão preto em volumetria ácido-base. Um experimento para cursos de análise quantitativa. Revista Química Nova. 2001, v.24, n. 3.
14. Jafari SM, Assadpoor E, He Y, BHANDARI B. Encapsulationefficiency of food flavours and oils during spray drying. Drying Technology, Abingdon, UK. 2008, v. 26, n.7, p.816-835. DOI: 10.1080/07373930802135972.
15. Instituto Adolfo Lutz (IAL). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos.** São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.
16. Francis FJ. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. (Ed.). Anthocyanins as food colors. New York: Academic Press. 1987, p. 181-207.
17. Oshiro GT, Costa PA, Mendes, Marcelo HA, Lino SMS, Campelo DB, Resende LV. **Caracterização Química das Flores de Dália Vinho.** In: XXXIV CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFLA, 2021, Lavras. UFLA, 2021.
18. Moreira MND, et. al. Pétalas de rosa vermelha para uso na alimentação humana. **Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente**. 2020, v. 1, n. 6, p. 134-149.
19. Felipe LF, et. al. Caracterização e qualidade nutricional de pétalas de flores ornamentais. **Acta Iguazu**. 2016, v. 5, n. 3, p. 58-70.
20. Sayeed R, Thakur M, Gani A. Celosia cristata Linn. flowers as a new source of nutraceuticals- A study on nutritional composition, chemical characterization and in-vitro antioxidant capacity. Heliyon, 6 (12) (2020), Article e05792.
21. LIMA, M. M.; CRUZ, W. P.; RANKE, B. S.; MORAES, R. P.; COUTINHO, R. M. P. Efeito da concentração do solvente na capacidade de extração de pigmentos antocianinas. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer, v. 17, n.34, pág. 197, 2020.
22. MENESES-MARENTES, N. A; HERRERA-RAMÍREZ, E. J; TARAZONA-DÍAZ, M. P. Caracterización y estabilidad de un extracto rico en antocianinas a partir de corteza de gulupa. Revista Colombiana Quimica, v. 48, n. 2, p. 27-32, 2019.
23. Fernandes OLG. Estudo fitoquímico, avaliação da atividade antioxidante e biológica da espécie Jasmim (*Plumeria rubra* L.). Monografia (Graduação) do Curso de Ciências da Natureza e Matemática da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira – UNILAB. Acarape-CE, 2017.
24. Gonçalves J, Silva GCO, Carlos LA. Compostos bioativos em flores comestíveis. Perspectivas Online: Biológicas & Saúde. 2019, v. 9, n 29, p.11-20, 2236-8868.

Capítulo 33

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-33

ANÁLISE DE COR E TEXTURA DE FILÉS DE FRANGO EMPANADO COM FARINHA DA CASTANHA DE BARU

Maria Fernanda Neiva Silva; João Victor da Costa Morais; Felipe Oliveira Estevam; Beatriz Alves Carneiro; Ana Paula Rodrigues Silva; Igor Rodrigues Nascimento; Dayana Silva Batista Soares; Wiaslan Figueiredo Martins*

**Autor correspondente (Corresponding author) – Email: wiaslan.martins@ifgoiano.edu.br*

Resumo: Este trabalho teve como objetivo avaliar a aplicação da farinha da castanha de baru (FCB) como alternativa à farinha panko (FP) no empanamento de filés de frango, investigando os efeitos da substituição parcial (FCB+P) ou total sobre as características de cor e textura, antes e após a fritura. A firmeza inicial variou de 438,84 (FP) a 1.050,48 gf/cm^2 (FCB+P), enquanto após a fritura os valores oscilaram entre 2.108,37 (FCB) e 2.784,66 gf/cm^2 (FCB+P). A tenacidade antes da fritura apresentou valores de 328,13 g.s (FP), 382,90 g.s (FCB) e 683,14 g.s (FCB+P), enquanto após a fritura foram registrados 1.686,10 g.s (FP), 1.898,29 g.s (FCB) e 2.268,93 g.s (FCB+P). Para a cor, os valores de luminosidade (L*) variaram de 28,60 (FP) a 52,98 (FCB) antes da fritura, reduzindo para 19,00 (FCB) a 38,50 (FP) após a fritura. A coordenada a* (vermelho/verde) aumentou de 0,41 (FP) a 8,84 (FCB) antes da fritura para 7,23 (FP) a 9,48 (FCB) após a fritura. A coordenada b* (amarelo/azul) variou de 11,32 (FP) a 20,66 (FCB) antes da fritura e de 16,37 (FCB) a 21,21 (FP) após a fritura. O croma (C*) apresentou valores entre 11,33 (FP) e 22,48 (FP) antes da fritura, e entre 18,93 (FCB) e 22,42 (FP) após a fritura. O ângulo Hue (ºh) variou de 1,17 (FCB) a 1,53 (FP) antes da fritura, reduzindo para 1,04 (FCB) a 1,24 (FP) após a fritura. Conclui-se que a substituição parcial ou total da farinha panko pela farinha da castanha de baru influencia significativamente a cor e a textura dos empanados, sendo a formulação FCB+P a que apresentou maior firmeza e tenacidade, enquanto a FP resultou em produtos mais claros e menos firmes.

Palavras-chave: inovação, Cerrado; produto cárneo; panko.

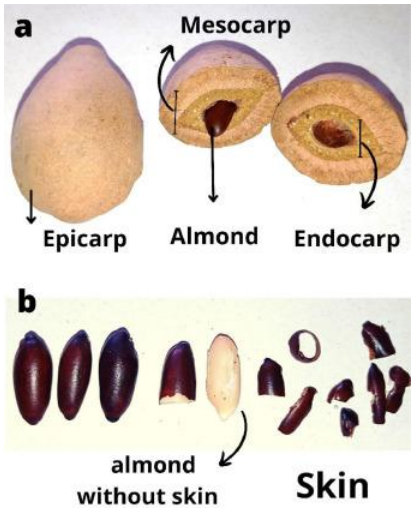
INTRODUÇÃO

O fruto do baru é produzido por *Dipteryx alata* Vog., uma espécie típica do Cerrado, segundo maior bioma do Brasil. Esse fruto tem atraído considerável atenção devido à sua relevância socioeconômica e ambiental, além da correlação com o movimento global de valorização da biodiversidade (1). É valorizado principalmente por sua semente, ou castanha, que representa apenas 5% da massa total do fruto, resultando em um volume significativo de polpa como resíduo e impactos ambientais (2). A grande geração de resíduos agroindustriais, particularmente após a colheita de frutas e vegetais, tem impulsionado

pesquisas focadas na utilização de resíduos agroindustriais para aplicações nas indústrias alimentícia e farmacêutica (3,4).

O fruto do baru apresenta em seu interior uma amêndoa, também denominada semente, popularmente conhecida como castanha de baru. Essa constitui o principal produto de valor comercial do fruto, embora represente apenas cerca de 5% do peso total. A amêndoa apresenta coloração que varia do creme ao branco, recoberta por uma fina casca amarronzada (5,6). A Figura 1 ilustra o fruto inteiro do baru, com cortes transversais que expõem suas frações e a castanha com e sem a casca (1). Considerando a diversidade de nomenclaturas encontradas na literatura — "amêndoa", "semente" ou "castanha verdadeira" — neste trabalho será adotado, de forma padronizada, o termo "castanha".

Figura 1 - Fruto inteiro do baru (a), com frações expostas por cortes transversais e (b) a amêndoa com e sem a casca. Na imagem: *mesocarp* (mesocarpo), *epicarp* (epicarpo), *endocarp* (endocarpo), *almond* (amêndoa), *almond without skin* (amêndoa sem casca) e *skin* (casca).



Fonte: Adaptado de Monteiro et al. (1).

A castanha de baru é reconhecida como fonte de proteína de elevada qualidade, com escore de aminoácidos corrigido pela digestibilidade da proteína em torno de 90%. Por essa razão, seu consumo é recomendado como proteína complementar ou alternativa às fontes de origem animal (2). Além disso, Monteiro et al. (1) em revisão sobre o uso do fruto do baru em ciência e tecnologia de alimentos, destacaram sua aplicação no desenvolvimento de diferentes produtos, como barras de cereais, cremes, sobremesas lácteas, maioneses, cupcakes e chocolates. Contudo, até o momento, não foram relatados estudos acerca da utilização da farinha da castanha de baru (FCB) em produtos cárneos, especificamente em formulações de empanados.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar a aplicação da farinha da castanha de baru (FCB) como alternativa à farinha panko (FP) no empanamento de filés de frango, verificando os efeitos da substituição parcial ou total sobre as características de cor e textura antes e após a fritura.

MATERIAL E MÉTODOS

PREPARO DAS AMOSTRAS

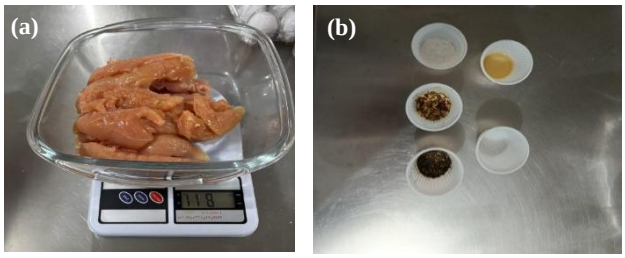
Os filés de frango foram descongelados sob refrigeração por 12 h, em refrigerador doméstico e posteriormente temperados com sal refinado, glutamato monossódico, suco de limão, pimenta-do-reino e chimichurri. Toda a preparação foi realizada no Laboratório de Agroindústria do IF Goiano – Campus Morrinhos. A formulação detalhada encontra-se na Tabela 1, e a ilustração do processo pode ser observada na Figura 2.

Tabela 1 – Proporção de ingredientes utilizados na elaboração dos empanados.

Ingredientes	%	Peso (g)
Filé de frango	97,87	811
Sal refinado	1,10	9,11
Glutamato monossódico	0,20	1,66
Suco de limão	0,40	3,31
Pimenta-do-reino	0,20	1,66
Chimichurri	0,20	1,66

Fonte: Elaborada pelos autores (2025)

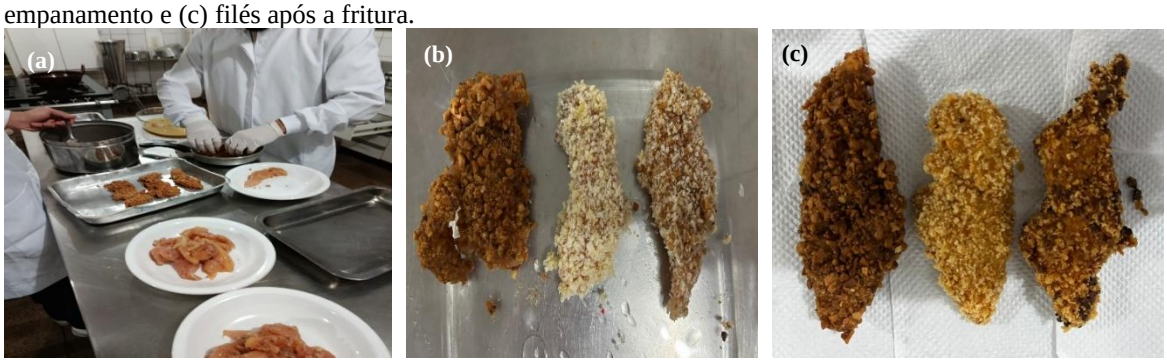
Figura 2 - Filés de frango (a) e os ingredientes utilizados como temperos (b).



Fonte: Elaborada pelos autores (2025)

Foram elaboradas três formulações distintas para a etapa de empanamento: Formulação A, composta exclusivamente por farinha da castanha de baru (100%) (FCB); a Formulação B, preparada com uma mistura contendo 50% de farinha de baru e 50% de farinha panko (FCB+P); e a Formulação C, desenvolvida com 100% de farinha panko (FP). Em todas as formulações, os filés foram previamente imersos em ovo batido para favorecer a adesão da farinha à superfície (Figura 3).

Figura 3 – Etapas do empanamento de filés de frango: (a) processo de aplicação das farinhas, (b) filés após empanamento e (c) filés após a fritura.



Fonte: Elaborada pelos autores (2025)

TRATAMENTO TÉRMICO

Após o empanamento, os filés foram submetidos à fritura em fogão industrial a gás, por um tempo total de 10 minutos (5 minutos em cada lado), em óleo mantido a temperaturas entre 180 °C e 190 °C (Figura 3c). Esse procedimento assegurou o cozimento completo do produto, especialmente no centro dos filés.

Os filés empanados, com e sem fritura, foram então embalados a vácuo utilizando uma Seladora a Vácuo de Bico de Sucção (R. Baião – modelo B340) e transportados para o Laboratório de Análise de Alimentos do IF Goiano – Campus Morrinhos, onde foram realizadas as análises de cor e textura.

ANÁLISES DE COR E TEXTURA

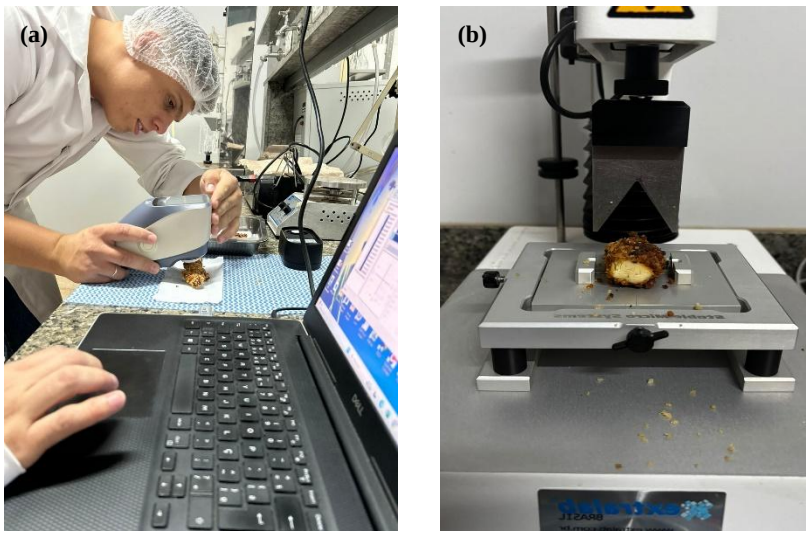
Análise de cor

A cor foi avaliada em triplicata, utilizando Espectrofotômetro Colorímetro portátil digital (TECNAL, SHE - TEC3020) previamente calibrado. Foram determinadas as coordenadas L*, a* e b*, a partir das quais calcularam-se o ângulo de tonalidade ($°h = \tan^{-1}(b^*/a^*)$) e a saturação de cor ($C^* = \sqrt{(a^2 + b^2)}$). As medições foram efetuadas em triplicata, na superfície externa das amostras (Figura 4a), utilizando-se o aparelho devidamente calibrado previamente à coleta dos dados.

Perfil de textura

A textura foi analisada utilizando um analisador TA.XTExpressC, com célula de carga de 2 kg, seguindo o protocolo de Oliveira (7). Empregou-se o dispositivo Warner-Bratzler, com velocidade de 10 mm/s, distância de compressão de 20 mm e força de contato de 10 g (Figura 4b). As amostras inteiras foram avaliadas em triplicata. Os resultados de firmeza foram expressos em grama-força por centímetro quadrado (gf/cm^2) e os de tenacidade em gramas segundo (g.s).

Figura 4 – Etapas das análises instrumentais: (a) avaliação da cor dos filés e (b) determinação da textura com o texturômetro.



Fonte: Elaborada pelos autores (2025)

Análise estatística

Os resultados foram expressos como média ± desvio padrão. As diferenças entre médias foram analisadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) quando três grupos foram comparados e pelo teste *t Student* ($p \leq 0,05$) quando houve comparação entre duas médias. As análises estatísticas foram conduzidas no software Assistat®.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de textura evidenciou diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 2). Em condições sem fritura, os empanados elaborados com a mistura de farinha da castanha de baru e farinha panko (FCB+P) apresentaram valores significativamente superior de firmeza (1.050,48 gf/cm²) e tenacidade (683,14 g.s), em comparação àqueles preparados apenas com farinha de baru (487,34 gf/cm²; 382,90 g.s) ou apenas com farinha panko (438,84 gf/cm²; 328,13 g.s). Após a fritura, verificou-se um aumento expressivo em todos os tratamentos, o que pode ser atribuído à desidratação e à formação da crosta superficial. Novamente, a formulação com FCB+P apresentou os maiores valores de firmeza (2.784,66 gf/cm²) e tenacidade (2.268,93 g.s), indicando maior resistência à deformação e possível incremento da crocância. No entanto, os valores não apresentaram diferenças estatísticas.

Em contrapartida, o uso exclusivo da panko (FP) resultou nos menores valores após a fritura, sugerindo que a adição da farinha da castanha de baru, isolada ou em combinação, contribui para reforçar a matriz estrutural do empanado. Esses resultados destacam o potencial tecnológico da farinha da castanha de baru como ingrediente funcional na formulação de produtos empanados, promovendo melhorias na textura e diferenciando-se positivamente da panko tradicional. Além disso, observa-se que a combinação de farinhas pode ser uma estratégia eficaz para aumentar a crocância, uma vez que, segundo Faustino e Catelam (8), empanados preparados com panko tendem a apresentar maior crocância em comparação com aqueles elaborados com outras farinhas convencionais.

Tabela 2 - Resultados da análise de textura dos filés de frango empanados elaborados com diferentes formulações: FCB – farinha da castanha de baru; FCB+P – mistura de farinha da castanha de baru e farinha panko; FP – farinha panko.

Perfil de textura	Tratamento	Processamento	
		Sem fritura	Com fritura
Firmeza (gf/cm^2)	FCB	$487,34 \pm 30,34^{bB}$	$2.108,37 \pm 332,57^{aA}$
	FCB+P	$1.050,48 \pm 116,45^{aB}$	$2.784,66 \pm 201,96^{aA}$
	FP	$438,84 \pm 68,65^{bB}$	$2.239,08 \pm 629,53^{aA}$
Tenacidade (g.s)	FCB	$382,90 \pm 2,18^{bB}$	$1.898,29 \pm 326,22^{aA}$
	FCB+P	$683,14 \pm 77,29^{aB}$	$2.268,93 \pm 190,83^{aA}$
	FP	$328,13 \pm 65,68^{bB}$	$1.686,10 \pm 149,83^{aA}$

Fonte: Elaborada pelos autores (2025)
Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa entre os tratamentos ($p \leq 0,05$) pelo teste de *Tukey*. Letras maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre as amostras fritas e não fritas ($p \leq 0,05$) pelo teste de *t Student*

Nos parâmetros de cor (Tabela 3), os resultados também demonstraram diferenças significativas entre os tratamentos e em função do processamento térmico. Para a luminosidade (L*), observa-se que, antes da fritura, as formulações FCB+P e FP apresentaram valores estatisticamente superiores à formulação FCB, evidenciando que a farinha de baru confere menor clareza à coloração. Após a fritura, todas as amostras apresentaram redução significativa nos valores de L*, confirmada pelas letras maiúsculas

distintas, o que indica o escurecimento decorrente das reações de Maillard. Além disso, os tratamentos FCB e FCB+P não apresentaram diferença significativa após a fritura, sugerindo que a panko favorece uma coloração mais viva após o tratamento térmico. Para o parâmetro a*, a formulação FCB diferiu estatisticamente das demais, apresentando os maiores valores de tonalidade vermelha tanto antes quanto depois da fritura, enquanto FP só apresentou aumento significativo após o processamento térmico, comportamento esperado pela intensificação das reações de escurecimento não enzimático.

Quanto ao parâmetro b*, que representa a tonalidade amarela, observou-se diferença estatística significativa entre os tratamentos antes da fritura, com FCB apresentando os maiores valores. Após a fritura, FP apresentou aumento significativo, diferindo das demais formulações e atingindo a maior intensidade de amarelo. Para o croma (C*), a análise estatística revelou que FCB apresentou maior intensidade de cor no estado cru, diferindo das outras formulações, enquanto após a fritura os valores de FP foram significativamente superiores, indicando que a panko favorece uma cor mais vívida após o processamento. Já o ângulo Hue (°h) apresentou diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, sendo FP a formulação com maior predominância de tonalidade amarela antes da fritura. Contudo, em todas as amostras houve redução significativa após a fritura, evidenciando um deslocamento da cor para tons mais avermelhados, característico do processo de fritura.

Tabela 3 - Resultados da análise de cor dos filés de frango empanados elaborados com diferentes formulações: FCB – farinha da castanha de baru; FCB+P – mistura de farinha da castanha de baru e farinha panko; FP – farinha panko.

Parâmetro de cor	Tratamento	Processamento	
		Sem fritura	Com fritura
L*	FCB	$28,60 \pm 2,34^{bA}$	$19,00 \pm 7,61^{bB}$
	FCB+P	$49,61 \pm 8,13^{aA}$	$23,29 \pm 3,14^{bB}$
	FP	$52,98 \pm 3,78^{aA}$	$38,50 \pm 8,10^{aB}$
a*	FCB	8,84 ± 1,07aA	$9,48 \pm 2,41^{aA}$
	FCB+P	$3,86 \pm 0,78^{bB}$	$8,62 \pm 1,30^{abA}$
	FP	$0,41 \pm 0,16^{cB}$	$7,23 \pm 0,99^{bA}$
b*	FCB	20,66 ± 1,74aA	$16,37 \pm 4,64^{bB}$
	FCB+P	$14,06 \pm 1,49^{bB}$	$18,01 \pm 1,66^{abA}$
	FP	$11,32 \pm 1,52^{bB}$	$21,21 \pm 2,49^{aA}$
C*	FCB	$22,48 \pm 1,88^{aA}$	$18,93 \pm 5,18^{aA}$
	FCB+P	$14,59 \pm 1,63^{bB}$	$19,97 \pm 2,00^{aA}$
	FP	$11,33 \pm 1,52^{bB}$	$22,42 \pm 2,53^{aA}$
°hue	FCB	$1,17 \pm 0,04^{cA}$	$1,04 \pm 0,04^{cB}$
	FCB+P	$1,31 \pm 0,03^{bA}$	$1,13 \pm 0,04^{bB}$
	FP	$1,53 \pm 0,02^{aA}$	$1,24 \pm 0,04^{aB}$

Fonte: Elaborada pelos autores (2025)

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa entre os tratamentos ($p \leq 0,05$) pelo teste de *Tukey*. Letras maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre as amostras fritas e não fritas ($p \leq 0,05$) pelo teste de *t Student*

Esses resultados indicam que a farinha de baru influencia significativamente não apenas a textura, mas também os atributos de cor dos empanados, conferindo tonalidades mais escuras e avermelhadas em comparação à panko. Além disso, como destacado por Vieira (9), a farinha da castanha de baru apresenta elevado teor de fibras, proteínas, lipídios e minerais, o que reforça seu potencial de uso em conjunto com a panko, não apenas pela

contribuição nutricional, mas também pelas características sensoriais e tecnológicas que agrega ao produto.

Em resumo, os resultados estatísticos confirmam que a substituição parcial ou total da farinha panko pela farinha da castanha de baru impacta significativamente as propriedades de textura e cor dos empanados, tanto no estado cru quanto após a fritura. As diferenças detectadas pelo teste de *Tukey* entre os tratamentos, somadas às variações verificadas pelo teste *t Student* entre as condições processadas, reforçam a relevância tecnológica da farinha da castanha de baru como ingrediente alternativo ou complementar à farinha panko.

CONCLUSÕES

A utilização da farinha da castanha de baru no empanamento de filés de frango demonstrou impacto significativo nas características de cor e textura dos produtos, comprovado pelas diferenças estatísticas entre as formulações e condições de processamento. A substituição parcial da farinha panko pela farinha da castanha de baru resultou em maior firmeza e tenacidade, atributos diretamente associados à crocância e à aceitabilidade sensorial. Já a substituição total promoveu tonalidades mais escuras e avermelhadas, conferindo ao produto um aspecto visual diferenciado e potencialmente atrativo ao consumidor. Além dos ganhos tecnológicos e sensoriais, a farinha da castanha de baru representa uma alternativa sustentável e inovadora, por agregar valor a um recurso típico do Cerrado, reduzir resíduos agroindustriais e diversificar o uso de matérias-primas regionais. Esses aspectos reforçam sua importância socioeconômica e ambiental, ao mesmo tempo em que ampliam as possibilidades de formulações mais nutritivas e funcionais. Dessa forma, os resultados obtidos confirmam a viabilidade tecnológica da aplicação da farinha da castanha de baru em produtos cárneos empanados, evidenciando seu potencial para substituir, total ou parcialmente, a farinha panko em escala industrial. Esse estudo contribui, portanto, para a valorização da biodiversidade brasileira e para o desenvolvimento de novos produtos alinhados às demandas atuais de inovação, sustentabilidade e saudabilidade na indústria de alimentos.

REFERÊNCIAS

1. Monteiro GM, Carvalho EEN, Boas EVBV. Baru (*Dipteryx alata* Vog.): Fruit or almond? A review on applicability in food science and technology. Food Chem Adv. 2022;1:100103. doi:10.1016/j.focha.2022.100103.

2. Alves-Santos AM, Fernandes DC, Naves MMV. Baru (*Dipteryx alata* Vog.) fruit as an option of nut and pulp with advantageous nutritional and functional properties: A comprehensive review. NFS J. 2021;24:26-36. doi:10.1016/j.nfs.2021.07.001.

3. Mitrea L, Calinoiu LF, Teleky BE, Szabo K, Martau AG, Nemes SA, Plamada D, Pascuta MS, Barta G, Varvara RA, Vodnar DC. Fruit and vegetable wastes for biobased chemicals. In: Fruit and Vegetable Waste Utilization and Sustainability. 2023. p. 43-76. doi:10.1016/B978-0-323-91743-8.00015-0.

4. Palanisamy S, Selvaraju GD, Selvakesavan RK, Venkatachalam S, Bharathi D, Lee J. Unlocking sustainable solutions: Nanocellulose innovations for enhancing the shelf life of

fruits and vegetables – A comprehensive review. Int J Biol Macromol. 2024;261:129592. doi:10.1016/j.ijbiomac.2024.129592.

5. Morais FA, Belisário CM, Favareto R, Maia GPAG, Carvalho VDF. Influência das temperaturas de secagem nas características físico-químicas da polpa do baru. Agrarian. 2021;14:119-126. doi:10.30612/agrarian.v14i51.10563.

6. Oliveira-Alves SC, Pereira RS, Pereira AB, Ferreira A, Mecha E, Silva AB, Serra AT, Bronze MR. Identification of functional compounds in baru (*Dipteryx alata* Vog.) nuts: Nutritional value, volatile and phenolic composition, antioxidant activity and antiproliferative effect. Food Res Int. 2020;131:109026. doi:10.1016/j.foodres.2020.109026.

7. Oliveira MM. Desenvolvimento de empanados de frango adicionados de surimi [Trabalho de Conclusão de Curso]. Ponta Grossa: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curso de Alimentos; 2016. 34 p.

8. Faustino F, Catelam K. Desenvolvimento de empanado, tipo nugget, vegano a partir da semente de jaca dura. In: Anais do 11º Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica do IFSP; 2020.

9. Vieira L. Elaboração e caracterização de biscoitos enriquecidos com farinha de amêndoa de baru [dissertação]. Diamantina (MG): Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri; 2018.

Capítulo 34

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-34

MODELAGEM MATEMÁTICA DO CRESCIMENTO DE *Listeria monocytogenes* EM FATIAS DE QUEIJO BRANCO EMBALADO A VÁCUO

Fernanda Silva Negreiros; Márcio Antônio Araújo Sousa; Stefanny Costa dos Reis; Alfredina dos Santos Araújo; Dayana Silva Batista Soares; Ellen Godinho Pinto; Wiaslan Figueiredo Martins*

**Autor correspondente (Corresponding author) – Email: wiaslan.martins@ifgoiano.edu.br*

Resumo: O queijo branco apresenta características que favorecem o crescimento de *Listeria monocytogenes*. Este estudo teve como objetivo modelar matematicamente o crescimento microbiano em queijo branco fatiado e embalado a vácuo (QBF) em diferentes temperaturas de armazenamento (5–25 °C), utilizando dados do banco *Combase*. O modelo primário de Baranyi e Roberts foi ajustado às curvas de crescimento, e modelos secundários foram aplicados para avaliar a influência da temperatura sobre a velocidade máxima específica de crescimento ($\mu_{máx}$). Os resultados mostraram que, independentemente da condição de armazenamento, houve multiplicação da bactéria em QBF inclusive a 5 °C, ($\mu_{máx}$ = 0,00978 h^{-1}, λ = 41,61 h), com populações finais entre 8,2 e 8,8 $\log_{10}$ UFC/g. O aumento da temperatura (25 °C) elevou $\mu_{máx}$ e reduziu a fase lag ($\mu_{máx}$ = 0,0986 h^{-1}, λ = 12,95 h), sendo o modelo logarítmico o mais adequado entre os secundários (R^2 = 0,99). Nas simulações de condições não isotérmicas, as concentrações atingiram 8,45 $\log_{10}$ UFC/g (5–35 °C) e 6,78 $\log_{10}$ UFC/g (25–5 °C) em 150 h, também em condições de embalagem a vácuo, observou-se que falhas na cadeia do frio favoreceram elevações expressivas da carga microbiana, não revertidas mesmo após resfriamento subsequente. Esses achados reforçam a necessidade do controle rigoroso das condições de armazenamento e manipulação. Conclui-se que a modelagem matemática, associada a ferramentas de microbiologia preditiva, constitui abordagem eficaz para prever o comportamento de *L. monocytogenes* em queijos frescos, subsidiando estratégias de prevenção e aumentando a segurança microbiológica na indústria de laticínios.

Palavras–chave: microbiologia preditiva; segurança de alimentos; armazenamento; cadeia do frio

INTRODUÇÃO

No território brasileiro se produz tanto queijo artesanal quanto industrial, havendo grande variabilidade de queijos frescos. Em Minas Gerais, a fabricação do queijo minas frescal está vinculada a uma tradição cultural regional e, muitas vezes, representa uma importante fonte de renda para os produtores. Porém, por apresentar elevada atividade de

água, pH próximo da neutralidade, baixa concentração de sal e sem a presença de conservantes, torna-se um substrato adequado para o crescimento de micro-organismos (1).

Listeria monocytogenes é um micro-organismo ubíquo, frequentemente presente no solo, na água, em animais e em diversos ambientes relacionados às atividades humanas, como instalações de processamento de alimentos. A presença de *L. monocytogenes* em alimentos prontos para consumo, incluindo frutas, vegetais, frios, frutos do mar e laticínios representa uma preocupação significativa para a segurança de alimentos (2).

Há um interesse crescente no controle de *L. monocytogenes*, especialmente em indústrias de alimentos, devido a relação direta com áreas de processamento e produtos. Pesquisas baseadas em DNA têm observado que certas cepas de *L. monocytogenes* conseguem se estabelecer em indústrias alimentícias, permanecendo por meses ou anos, atuando como fontes permanentes de contaminação. Revistas e artigos indicam que a *L. monocytogenes* é um dos perigos identificado em queijos comercializados e solicitam algumas medidas de controle fundamental como: cozimento, identificação de data de validade, conservação a frio, lavagem das mãos e precaução de contaminação cruzada (2).

A ingestão de alimentos contaminados pode causar a doença listeriose, que se manifesta de duas formas: invasiva e não invasiva (gastrointestinal). A forma invasiva apresenta altas taxas de mortalidade, configurando-se como uma doença grave, especialmente para grupos mais suscetíveis, como gestantes, recém-nascidos, idosos, pacientes submetidos a hemodiálise ou terapias prolongadas, além de indivíduos com sistema imunológico comprometido. A não invasiva causa sintomas semelhantes a uma gripe, gastroenterite febril em pacientes saudáveis, mas que geralmente não evolui para óbito (3).

A presença de micro-organismos patogênicos em alimentos constitui um fator crítico para a segurança de alimentos. Desse modo, a microbiologia preditiva é uma ferramenta no desenvolvimento de pesquisas, proporcionando estimar os efeitos das operações de manipulação, processamento, armazenamento e transporte de alimentos sobre o crescimento, sobrevivência e inativação de micro-organismos (2).

Diante disso, este estudo teve como objetivo modelar o efeito de diferentes temperaturas de armazenamento no crescimento de *Listeria monocytogenes* em queijo branco fatiado e embalado a vácuo, utilizando o software Combase como ferramenta de predição e comparação entre distintos cenários de ambiente.

MATERIAL E MÉTODOS

DADOS DE CRESCIMENTO

Os dados de crescimento em diferentes temperaturas foram obtidos no banco de dados *Combase* (www.combase.cc), utilizando a categoria de alimento “cheese” e o micro-organismo “*Listeria monocytogenes/innocua*”, e faixa de temperatura entre 5 e 25 °C.

Foram selecionados dados do crescimento (4,0 $\log_{10}$ UFC/g) de *L. monocytogenes* em queijo branco fatiado e embalado a vácuo (QBF) em quatro temperaturas de armazenamento: 5 °C, 15 °C, 20 °C e 25 °C. Com os seguintes parâmetros fixos: aw (atividade de água) de 0,971 e pH de 6,8. Os dados foram reportados da pesquisa de Uhlich et al. (4), intitulada “*Effect of storage temperature on the growth of Listeria monocytogenes on Queso Blanco slices*”, publicada no periódico *“Journal of Food Safety*”.

MODELAGEM PRIMÁRIA

O modelo matemático primário analisa a dinâmica do micro-organismo em função do tempo, com função de ajuste, Baranyi e Roberts (5) (Equações 1, 2 e 3) que foi ajustado às curvas experimentais de *L. monocytogenes* em QBF em diferentes temperaturas.

$$y(t) = y_0 + \mu_{máx}F(t) - \ln\left\{1 + \frac{e^{\mu_{máx}F(t)} - 1}{e^{y_{máx}-y_0}}\right\} \quad (1)$$

$$F(t) = t + \left(\frac{1}{\mu_{máx}}\right)\ln\left[e^{(-\mu_{máx}t)} + e^{(-h_0)} - e^{(-\mu_{máx}t-h_0)}\right] \quad (2)$$

$$h_0 = \mu_{máx}\lambda \quad (3)$$

Nas equações, *y(t)* é o logaritmo da concentração microbiana *N* (UFC/g) no tempo *t* (horas), ou seja, *y(t)* = log [*N(t)*]. O parâmetro $\mu_{máx}$ é a velocidade máxima específica de crescimento (h^{-1}); λ é a duração da fase de latência (h); y_0 é o logaritmo da concentração microbiana inicial, y_0 = log (N_0); $y_{máx}$ é o logaritmo da população máxima, $y_{máx}$ = log ($N_{máx}$); h_0 é o parâmetro relacionado ao estado fisiológico das células (adimensional); *F(t)* é a função do modelo Baranyi e Roberts.

MODELAGEM SECUNDÁRIA

Os modelos secundários linear, potência, exponencial, logarítmico, raiz quadrada (Equações 4, 5, 6, 7, 8 e 9) foram usados para descrever o efeito da temperatura na velocidade máxima específica de crescimento ($\mu_{máx}$), em que *a* e *b* são parâmetros empíricos, *T* é a temperatura de armazenamento (°C) e $T_{mín}$ é a temperatura teórica mínima de crescimento (°C).

$$\mu_{máx} = aT + b \quad (4)$$
$$\mu_{máx} = aT^{(b)} \quad (5)$$
$$\mu_{máx} = ae^{(bT)} \quad (6)$$
$$\mu_{máx} = a\,ln(T) + b \quad (7)$$
$$\sqrt{\mu_{máx}} = a(T - T_{min}) \quad (8)$$

ANÁLISES NUMÉRICAS

Os ajustes do modelo primário aos dados experimentais de crescimento de *L. monocytogenes* em QBF nas temperaturas de armazenamento entre 5 °C e 25 °C foram realizados no DMFit online, na interface do *Combase*. O ajuste foi realizado em apenas uma etapa, obtendo os parâmetros $\mu_{máx}$, λ, y_0 e $y_{máx}$. Os modelos secundários foram ajustados no programa Microsoft Excel®.

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS MODELOS

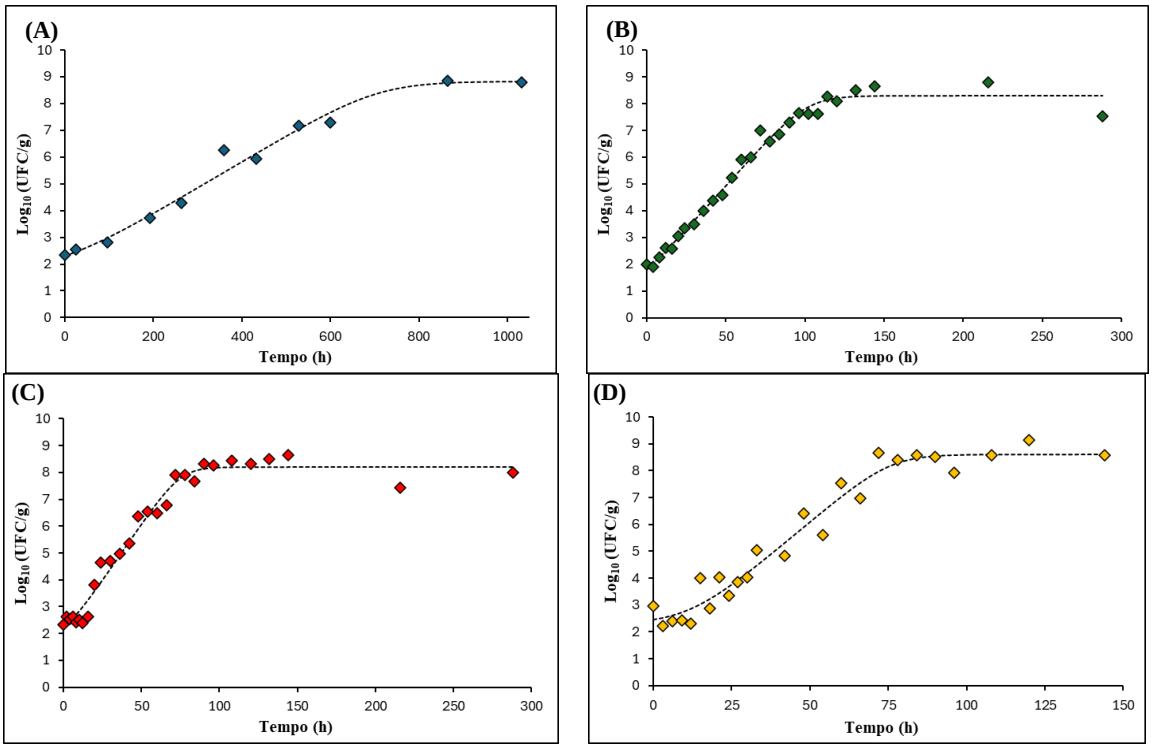
Para a avaliação do desempenho do modelo primário, usou-se o Coeficiente de Determinação (R^2) e o Erro padrão (EP) do ajuste, obtidos no DMFit. Um valor de $R^2 = 1$ e EP= 0 indicam que existe uma concordância perfeita entre todos os dados experimentais e

os valores do ajuste do modelo. Já o desempenho dos modelos secundários foi avaliado pelo R^2 do ajuste de $\mu_{máx}$ em função da temperatura de armazenamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

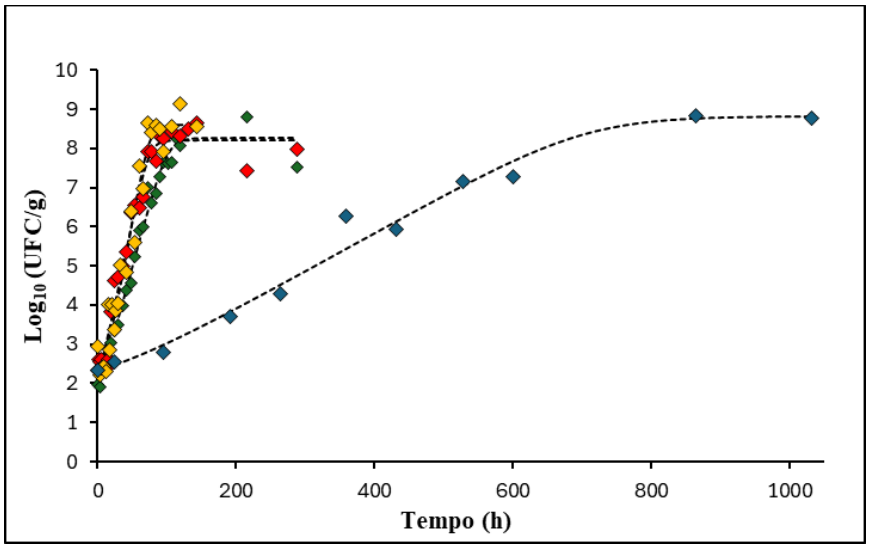
As curvas de crescimento de *L. monocytogenes* em queijo branco fatiado e embalado a vácuo (QBF) e os ajustes do modelo de Baranyi e Roberts aos dados experimentais nas temperaturas entre 5 °C e 25 °C de armazenamento estão representadas na Figura 1 e a compilação das curvas de crescimento pode ser visualizada na Figura 2.

Figura 1 - Curvas de crescimento de *L. monocytogenes* em QBF, ajustadas aos dados experimentais nas temperaturas de (A) 5 °C, (B) 15 °C, (C) 20 °C e (D) 25 °C de armazenamento. Em todos os gráficos, os dados experimentais estão representados pelos símbolos com preenchimento e a linha tracejada representa o ajuste do modelo de Baranyi e Roberts.



Fonte: elaborada pelos autores (2025). Dados obtidos de Uhlich et al. (4)

Figura 2 - Compilação das curvas de crescimento de *L. monocytogenes* em QBF, já apresentadas anteriormente, e os ajustes (linha tracejada) do modelo de Baranyi e Roberts aos dados experimentais nas temperaturas de 5 °C (símbolos azuis), 15 °C (símbolos verdes), 20 °C (símbolos vermelhos), e 25 °C (símbolos amarelos) de armazenamento.



Fonte: elaborada pelos autores (2025). Dados obtidos de Uhlich et al. (4)

Independentemente da temperatura avaliada, as contagens iniciais foram, em média, de 2,2 $\log_{10}$ UFC/g. Esse valor demonstra que as curvas de crescimento partiram de pontos semelhantes, permitindo comparações mais consistentes entre as condições estudadas. Esse valor inicial, está próximo ao limite estabelecido pela Instrução Normativa nº 60, de 23 de dezembro de 2019, que define os padrões microbiológicos para alimentos prontos para consumo (6).

Estudos anteriores já haviam apontado a relevância desse patógeno na cadeia de laticínios. Ryser e Marth (7), por exemplo, identificaram o leite cru como uma fonte significativa de *L. monocytogenes*, detectando entre 1,6% e 7,0% de amostras positivas nos Estados Unidos. Mesmo após mais de duas décadas, o consumo de leite cru continua a representar risco, e, ainda que o processamento envolva leite pasteurizado, a contaminação pode ocorrer durante ou após o processamento, mantendo o perigo de listeriose associado a queijos brancos.

No presente estudo, observou-se crescimento de *L. monocytogenes* em todas as temperaturas testadas, inclusive sob refrigeração (5 °C). Nessa condição, o crescimento foi relativamente rápido, com $\mu_{máx}$ estimado em 0,02 h^{-1}. O queijo branco analisado apresentou pH de 6,8, caracterizado por baixa acidez e elevada umidade (48%). De acordo com dados do banco *Combase* (www.combase.cc), essas condições favorecem o crescimento da bactéria, o que justifica o comportamento observado, independentemente da temperatura.

Resultados semelhantes foram reportados por Scolforo (8), que ajustou o modelo de Baranyi e Roberts para avaliar o crescimento de *L. monocytogenes* em meio de cultivo com pH 7, em diferentes temperaturas. A autora obteve valores de $\mu_{máx}$ de 0,0233 h^{-1} a 8,2 °C e 0,2224 h^{-1} a 25 °C, próximos aos encontrados neste trabalho. Esses achados reforçam que o queijo branco, especialmente quando produzido a partir de leite cru, constitui um ambiente altamente favorável ao crescimento de *L. monocytogenes*.

Os resultados deste estudo indicam que nem mesmo a temperatura mais baixa do ensaio (5 °C) impediu o crescimento ao longo do tempo da *L. monocytogenes* inoculada neste produto fatiado, e que procedimentos adequados de armazenamento e manuseio são necessários para prevenir a contaminação do produto pela bactéria e/ou controlar seu crescimento.

Tabela 1 - Parâmetros de crescimento estimados pelo ajuste do modelo de Baranyi e Roberts aos dados experimentais de *L. monocytogenes* em QBF artificialmente inoculada a 5, 15, 20 e 25 °C e os índices estatístico de desempenho do modelo.

Temperatura	**Parâmetros de crescimento**			**Índices estatísticos**	
(°C)	λ (h)	$\mu_{máx}$(h^{-1})	$y_{máx}$(log_{10})	R^2	Erro padrão
5	41,61	0,00978	8,821	0,976	0,376
15	2,537	0,0654	8,281	0,984	0,299
20	4,243	0,0849	8,208	0,974	0,392
25	12,95	0,0986	8,617	0,957	0,52

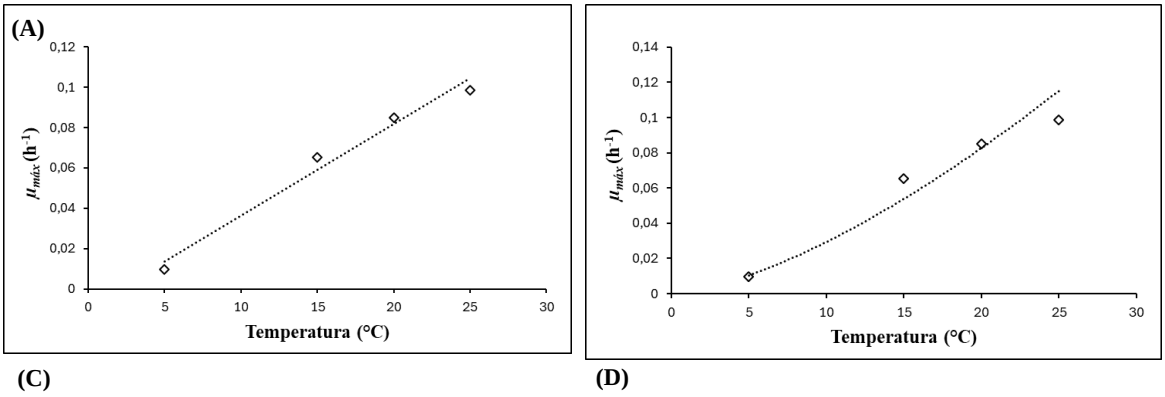
Fonte: elaborada pelos autores (2025).

Ao observar os parâmetros da Tabela 1, é possível observar que a temperatura é um elemento essencial no crescimento dos micro-organismos, com um aumento dos valores de $\mu_{máx}$ e consequentemente, diminuição do tempo na fase lag (λ, horas). Foi possível observar que os valores do parâmetro λ (h) diminuíram com o aumento da temperatura, com valores variando entre 2,537 e 41,61 h, com ressalva as temperaturas de 20 e 25 °C, que alcançaram os valores de 4,243 e 12,95 h, respectivamente e, consequentemente valores maiores do que o encontrado para 15 °C (2,537 h). Na velocidade de crescimento foi possível observar um aumento em temperaturas mais elevadas, variando de 0,00978 a 0,0986 (h^{-1}) nas temperaturas de 5 e 25 °C.

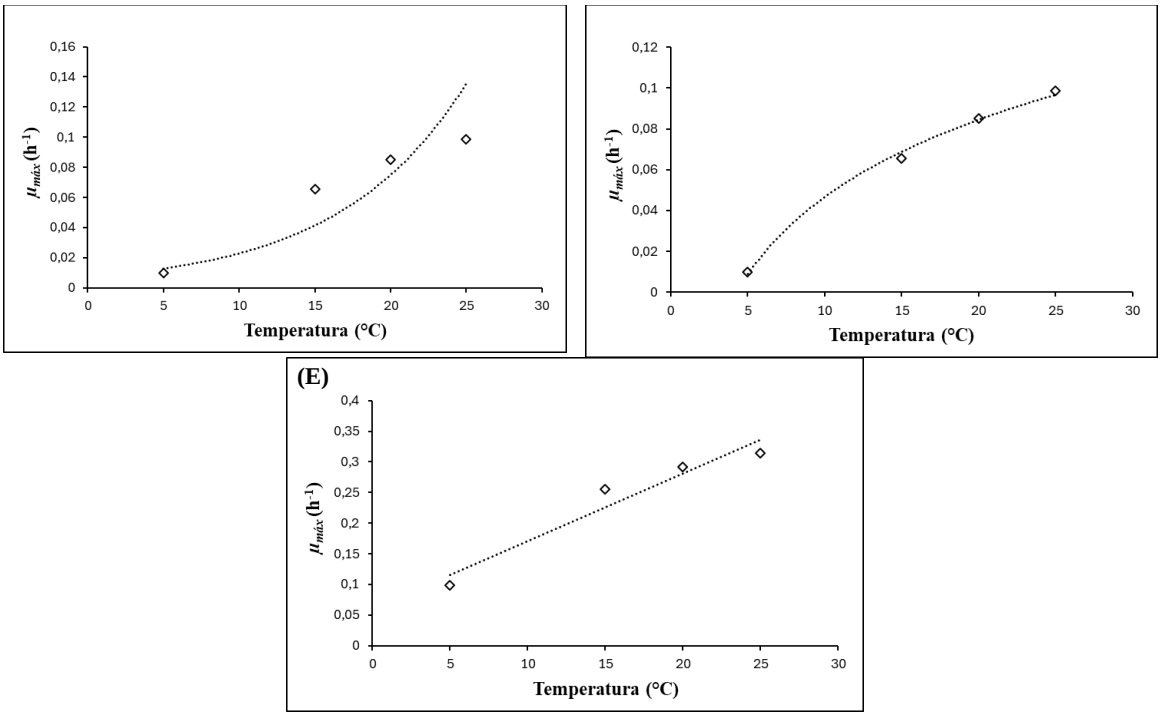
Os modelos secundários que melhor se ajustaram aos dados do parâmetro $\mu_{máx}$ obtidos pelo ajuste do modelo de Baranyi e Roberts para os dados de crescimento de *L. monocytogenes* em queijo fresco fatiado são apresentados na Figura 3 e as equações dos modelos com seus parâmetros ajustados são apresentadas na Tabela 2.

Ao analisar a Figura 3, é possível verificar de forma qualitativa que os modelos apresentaram bons ajustes aos dados experimentais, sendo que os modelos secundários apresentados na Tabela 2 podem ser usados para predizer a velocidade específica máxima de crescimento de *L. monocytogenes* nas condições estudadas e em condições que não extrapolam a temperatura no intervalo entre 5 °C e 25 °C.

Figura 3 - Modelos secundários que representam o efeito da temperatura no parâmetro velocidade específica máxima de crescimento ($\mu_{máx}$) de *L. monocytogenes* em QBF. (A) modelo linear, (B) modelo da potência, (C) modelo exponencial, (D) modelo logarítmico, (E) modelo da raiz quadrada.



(C) **(D)**



Fonte: elaborada pelos autores (2025).

Os modelos tipo logarítmico e linear apresentaram valores de R^2 acima de 0,97, com maior destaque para o modelo logarítmico (R^2 = 0,99). Os valores de R^2 próximos a 1,0 são considerados como um ajuste satisfatório (9). O modelo exponencial apresentou um menor desempenho, com um valor de R^2 igual a 0,77, embora possa ser considerado um bom ajuste, pois os dados de crescimento de *L. monocytogenes* foram obtidos em matriz alimentar (queijo).

Tabela 2 - Equações dos modelos secundários que representam a influência da temperatura no parâmetro velocidade específica máxima de crescimento ($\mu_{máx}$) de *L. monocytogenes*.

Modelos	Equação	R^2
Linear	$\mu_{máx} = 0{,}0045 \times T - 0{,}008$	0,97
Potência	$\mu_{máx} = 0{,}0009 \times T^{(1{,}4921)}$	0,93
Exponencial	$\mu_{máx} = 0{,}007 \times e^{(0{,}1186 \times T)}$	0,77
Logarítmico	$\mu_{máx} = 0{,}0{,}0546 \times ln(T) - 0{,}0791$	0,99
Raiz quadrada	$\sqrt{\mu_{máx}} = 0{,}011 \times (T + 5{,}55)$	0,93

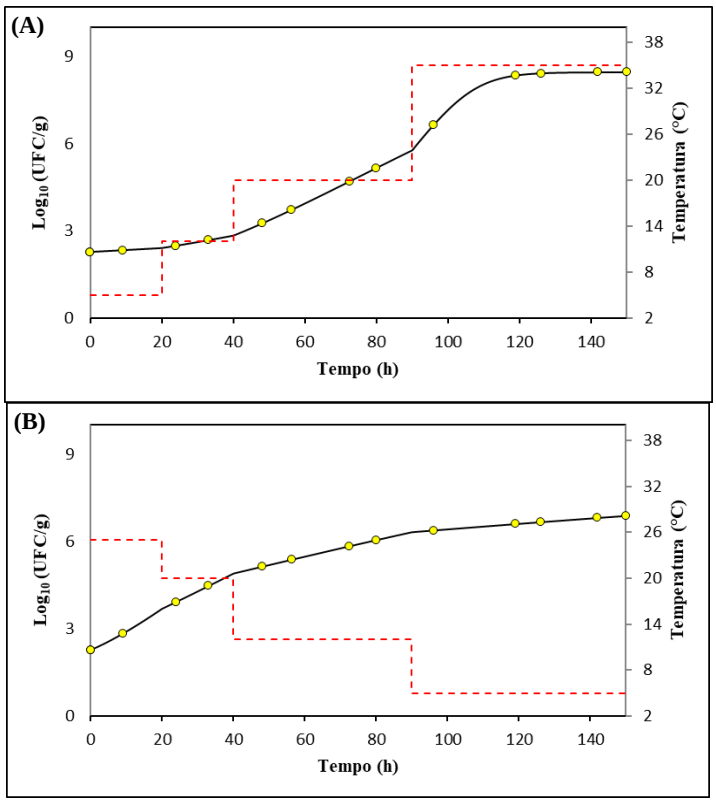
Fonte: elaborada pelos autores (2025).

Os modelos secundários, em conjunto com os modelos primários, mostraram-se úteis para predizer o crescimento de *L. monocytogenes* em queijo branco na faixa de temperaturas estudada. Nesse contexto, a equação do modelo da raiz quadrada, embora não tenha apresentado o maior valor de R^2, permitiu estimar o valor de $T_{mín}$ (-5,55 °C), enquanto o valor médio de h_0 (0,5525) foi calculado a partir da Equação 3 para as temperaturas de 5, 15, 20 e 25 °C. Esses parâmetros foram empregados na predição do crescimento de *L. monocytogenes* em duas condições hipotéticas de armazenamento não isotérmico, por

meio da resolução da equação diferencial do modelo de Baranyi e Roberts, utilizando o método de Runge-Kutta de 4ª ordem.

A primeira condição considerou o armazenamento refrigerado a 5 °C por 20 h, seguido de um aumento de temperatura para 12, 20 e 35 °C. Já na segunda condição, simulou-se o queijo armazenado a temperatura ambiente (25 °C) seguido de um resfriamento lento, com temperaturas de 20, 12 e 5 °C. Essas simulações visaram representar condições reais de armazenamento de produtos lácteos, com a interrupção da cadeia do frio, como por exemplo: problemas operacionais no transporte refrigerado dos alimentos, tempo de espera dos produtos a serem alocados nas gondolas dos supermercados, possíveis desligamentos dos refrigeradores dos supermercados (a fim de economizar energia), armazenamento inadequado nos refrigeradores domésticos, entre outras. As simulações da variação de temperatura, as predições do crescimento e a simulação dos dados experimentais estão representadas na Figura 4.

Figura 4 – Simulação da predição do crescimento de *L. monocytogenes* em queijo branco em diferentes condições de armazenamento não isotérmico, (A) 5-12-20-35 °C e (B) 25-20-12-5 °C. Em todos os gráficos, a linha contínua preta representa a simulação da predição do modelo de Baranyi e Roberts, a linha tracejada em vermelho representa a simulação do perfil de temperatura e os símbolos em amarelo representam uma simulação de coleta de dados de crescimento de *L. monocytogenes*.



Fonte: elaborada pelos autores (2025).

De acordo com os resultados apresentados na Figura 4, é possível observar que o aumento da temperatura (Figura 4A), de 5 a 35 °C, como o decréscimo (Figura 4B), de 25 a 5 °C teve grande influência no crescimento de *L monocytogenes*. Esses resultados demostram que qualquer falha na cadeia do frio pode resultar em elevação expressiva da carga microbiana.

Na condição ilustrada na Figura 4A, após 40 horas, a concentração microbiana foi de 2,83 $\log_{10}$ UFC/g, e com o aumento da temperatura, atingiu 8,45 $\log_{10}$ UFC/g ao final das

150 horas. Enquanto na condição representada na Figura 4B, após 40 horas, *L. monocytogenes* encontra-se com concentração de 4,89 $\log_{10}$ UFC/g, e mesmo após o resfriamento a 5 °C, observa um aumento da carga microbiana, chegando a 6,78 $\log_{10}$ UFC/g ao final das 150 horas, demonstrando que a refrigeração não é capaz de recuperar a segurança do alimento que apresenta elevados níveis de contaminação.

Dessa forma, reforça-se a importância da manutenção contínua da cadeia do frio ao longo de todas as etapas de produção, transporte e armazenamento. Ressalta-se, contudo, que o modelo preditivo ainda necessita de validação experimental em condições laboratoriais, especialmente em cenários que simulem flutuações reais de temperatura. Além disso, a aplicação de índices estatísticos adicionais de desempenho é recomendada para confirmar a robustez do modelo na previsão do crescimento microbiano.

CONCLUSÕES

O modelo primário de Baranyi e Roberts apresentou desempenho satisfatório na descrição do crescimento de *Listeria monocytogenes* em queijo branco fatiado, sob temperaturas de armazenamento de 5 °C, 15 °C, 20 °C e 25 °C, fornecendo estimativas consistentes dos parâmetros cinéticos de crescimento obtidos pelo software Combase. Os modelos secundários também se mostraram adequados para representar a influência da temperatura sobre a velocidade específica máxima de crescimento ($\mu_{máx}$), com destaque para o modelo logarítmico ($R^2 = 0,99$), que apresentou o melhor ajuste.

As simulações em condições não isotérmicas reforçaram que falhas na manutenção da cadeia do frio podem levar ao rápido aumento da carga microbiana, mesmo quando há subsequente redução da temperatura, evidenciando que o resfriamento não é capaz de restaurar a segurança do produto já contaminado.

Esses resultados destacam a relevância do uso de modelos de microbiologia preditiva como ferramenta de apoio à indústria de alimentos, possibilitando a previsão do comportamento de patógenos em diferentes cenários de armazenamento, o planejamento de medidas preventivas e o aumento da segurança microbiológica de queijos frescos e derivados lácteos.

REFERÊNCIAS

1. Soares VP, Monteiro PS, Santos JK. Influência da inspeção sanitária na melhoria da qualidade do queijo minas frescal comercializado no município de Viçosa, Mg. Higiene Alimentar. 2016; vol.30-n°252/253.

2. Santos AN. Modelagem matemática do crescimento de *Listeria monocytogenes* em queijo branco fatiado: uma abordagem utilizando o software microrisk lab. [dissertação]. Morrinhos: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano- Campus Morrinhos; 2022.

3. Borges MF, Andrade APC, Arcuri EF, Kabuki DY, Kuaye AY. *Listeria monocytogenes* em leite e produtos lácteos. Fortaleza, 2009.

4. Uhlich GA, Luchansky JB, Tamplin M, Molina-Corral FJ, Anandan S, Porto-Fett ACS. Effect of storage temperature on viability of *Listeria monocytogenes* in Queso Blanco. University of Tasmania. Journal contribution. 2006; v.26; p.202-214

5. Baranyi J, Roberts TA. A dynamic approach to predicting bacterial growth in food. Int J Food Microbiol. 1994; v.23; p.277-294.

6. Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa n° 60, de 23 de dezembro de 2019. Estabelece as listas de padrões microbiológicos para alimentos. Diário Oficial da União. Brasília (DF); 2019.

7. Ryser ET, Marth EH. Listeria, Listeriosis, and Food Safety. Marcel Dekker, Inc., New York, 1999.

8. Scolforo CZ. Modelagem preditiva do crescimento de *Listeria monocytogenes* e *Salmonella enterica* em co-cultura com *Enterococcus faecalis*. [Tese]. Viçosa (MG) Universidade Federal de Viçosa; 2018.

9. Ross T, McMeekin TA. Modeling microbial growth within food safety risk assessments. Risk Analysis. 2003; v. 23, p. 179-197.

Capítulo 35

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-35

MODELAGEM PREDITIVA DO CRESCIMENTO DE *Escherichia coli* EM CARNE MOÍDA ARMAZENADA EM CONDIÇÕES DE ABUSO DE TEMPERATURA

Wallace Daniel de Deus Nascimento; Felipe Ferreira Lô; José Felipe Cavalcante ; Matheus César Barbosa; Ana Paula Stort Fernandes; Ellen Godinho Pinto ; Wiaslan Figueiredo Martins*

Autor correspondente (Corresponding author) – Email: wiaslan.martins@ifgoiano.edu.br

Resumo: Esta pesquisa utilizou a modelagem preditiva para analisar o crescimento de *Escherichia coli* em carne moída, especialmente em condições de abuso de temperatura. O objetivo foi avaliar a influência de diferentes temperaturas de armazenamento na cinética de crescimento da bactéria e reforçar a importância da cadeia de frio na segurança de alimentos. *E. coli* é uma bactéria que, embora possa residir no intestino de pessoas saudáveis, certas cepas, como a O157:H7, podem causar infecções graves como diarreia hemorrágica. A carne moída é um substrato ideal para o desenvolvimento de microrganismos devido ao seu alto valor nutricional, atividade de água e pH neutro, além do processo de moagem que aumenta a área de superfície exposta e a suscetibilidade à contaminação. O estudo usou dados do software *ComBase* browser para simular o crescimento da *E. coli* em cinco temperaturas de abuso térmico: 15 °C, 20 °C, 25 °C, 30 °C e 37 °C, mantendo constantes o pH (5,8) e a atividade de água (0,99). Os parâmetros cinéticos obtidos pelo ajuste do modelo primário indicaram que o tempo de fase lag (λ) variou de 1,600 h (37 °C) a 8,519 h (15 °C), enquanto a velocidade máxima específica de crescimento ($\mu_{máx}$) aumentou de 0,104 h^{-1} (15 °C) a 0,783 h^{-1} (37 °C). A população máxima ($Y_{máx}$) alternou entre 8,7 e 9,4 $\log_{10}$ UFC/g, dependendo da temperatura. O modelo secundário de Ratkowsky apresentou excelente desempenho (R^2 = 0,9906), com equação ajustada $\sqrt{\mu_{máx}}$ = 0,0253 (T – Tmin), estimando $T_{mín}$ em –1,988 °C. De forma prática, os resultados demonstraram que a 37 °C a fase estacionária foi atingida em aproximadamente 12 h, enquanto a 15 °C o crescimento manteve-se contínuo por mais de 120 h, ressaltando a influência crítica da temperatura no desenvolvimento de *E. coli*. Os achados deste estudo evidenciam a utilidade dos dados do banco *ComBase* como ferramenta robusta para a modelagem preditiva do crescimento de *E. coli*, permitindo a simulação de diferentes cenários de temperatura e armazenamento.

Palavras–chave: microbiologia de alimentos, contaminação bacteriana, cadeia de frio, crescimento microbiano, inocuidade alimentar

INTRODUÇÃO

A carne bovina desempenha papel fundamental na economia e na alimentação mundial, sendo uma das principais fontes de proteínas presente nas refeições. O Brasil se encontra entre os maiores produtores e exportadores globais, tendo registrado recordes de

abate em 2024, o que reforça sua relevância socioeconômica e nutricional de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (1). A produção nacional abastece tanto o mercado interno quanto o externo, consolidando o país como referência no setor pecuário mundial, segundo Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes (ABIEC) (2). Globalmente, as projeções de mercado indicam que a demanda por carne continuará alta em termos absolutos, com variações regionais no consumo per capita; a carne bovina segue sendo um componente importante da dieta em muitos países é um produto estratégico para o comércio internacional de acordo com dados coletados pela *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD) e pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO) (3,4).

Entre os diferentes tipos de processamento, a carne bovina moída se destaca pela versatilidade culinária (hambúrgueres, almôndegas, recheios, pratos processados) e custo relativamente acessível, bem como a facilidade de preparo. A carne bovina moída, em função de seu elevado valor nutricional, alta atividade de água e pH próximo à neutralidade, apresenta-se como um substrato altamente favorável ao desenvolvimento microbiano. O processo de moagem promove o rompimento das fibras musculares e amplia a área superficial exposta, o que intensifica a suscetibilidade à contaminação por microrganismos e acelera as reações oxidativas, mesmo quando submetida a condições adequadas de manipulação e conservação (5,6).

Um dos microrganismos patogênicos de maior relevância associado à carne bovina moída é a *Escherichia coli*, sobretudo as cepas produtoras de toxina Shiga (STEC, do inglês: Shiga toxin-producing *Escherichia coli*), como a O157:H7. Essas bactérias são capazes de causar diarreia hemorrágica e complicações graves, como a síndrome hemolítico-urêmica (7,8). O crescimento ótimo ocorre em torno de 37 °C, embora *E. coli* possa sobreviver em condições de refrigeração e congelamento, o que torna seu controle ainda mais desafiador (9,10).

Estudos no Brasil identificaram STEC em carne bovina moída e em carcaças destinadas tanto ao mercado interno quanto à exportação, demonstrando a relevância do tema para a saúde pública e para o comércio internacional (5,7). A contaminação pode ocorrer em diferentes etapas da cadeia produtiva: durante o abate, pela manipulação inadequada, por contato com superfícies e equipamentos contaminados, ou ainda pela falta de higiene no processamento e na comercialização (12,6).

No Brasil, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (13) e a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (14) estabelecem programas de monitoramento e padrões microbiológicos para alimentos de origem animal, como a Instrução Normativa nº 60/2016, que regulamenta o controle de *E. coli* em bovinos. Esses marcos normativos visam reduzir a prevalência de patógenos e garantir maior segurança de alimentos à população.

A microbiologia preditiva é uma ferramenta que usa modelos matemáticos e computacionais para prever o comportamento de microrganismos em alimentos, simulando condições ambientais, utilizando fatores como temperatura, pH, atividade de água, entre outros fatores diversificados para antecipar seu crescimento e sobrevivência (15). Essa abordagem contribui para a segurança de alimentos, pois permite que empresas ligadas à área de alimentos possam avaliar riscos de saúde para o consumidor final, prolongar a vida útil dos produtos e otimizar processos de produção, armazenamento e distribuição, resultando em alimentos mais seguros e de maior qualidade (16).

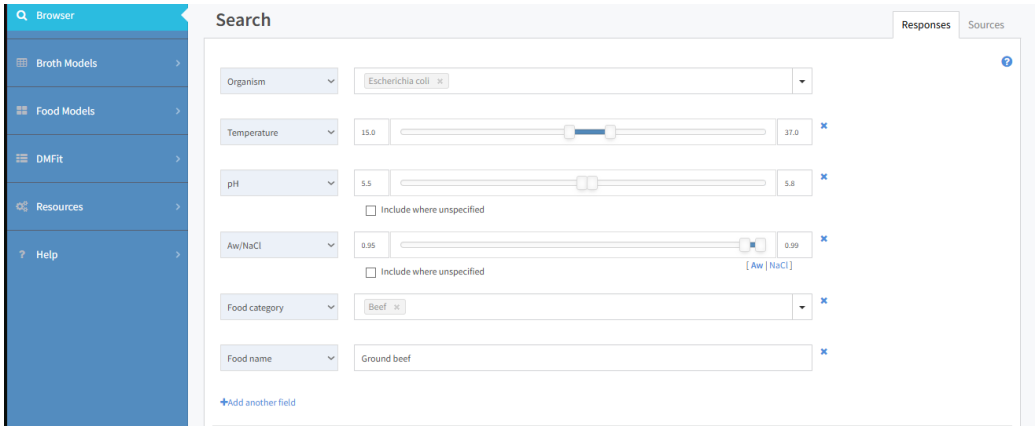
O presente estudo teve como objetivo avaliar a influência de diferentes temperaturas de abuso térmico na cinética de crescimento de *E. coli* em carne moída, por meio da modelagem preditiva, visando reforçar a importância de práticas de armazenamento e

manipulação adequadas para garantir a segurança dos alimentos. Essa abordagem contribui para a segurança de alimentos, pois permite que empresas ligadas à área de alimentos possam avaliar riscos de saúde para o consumidor final, prolongar a vida útil dos produtos e otimizar processos de produção, armazenamento e distribuição, resultando em alimentos mais seguros e de maior qualidade.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada com o auxílio do software *ComBase* browser (Figura 1), onde no mesmo foram selecionados cinco trabalhos, utilizando a categoria de alimento "*Beef*", nome do alimento "*ground beef*", o microrganismo "*Escherichia coli*" e faixa de temperatura entre 15 e 37 °CC, pH entre 5,5 e 5,8, atividade de água (aw) entre 0,95 e 0,99. Foram selecionados dados do crescimento ($\log_{10}$ UFC/g) de *E. coli* (em triplicata) em carne bovina moída em cinco temperaturas de abuso térmico 15 °C, 20 °C, 25 °C, 30 e 37 °C. Todos os trabalhos estão disponíveis na *USDA-Agricultural Research Service*. Cada trabalho possui uma temperatura específica, contendo três repetições cada.

Figura 1 - Interface de busca do *Combase* browser com todos os parâmetros utilizados, faixa de pH 5,5 a 5,8, aw 0,95 a 0,99, categoria de alimento "*beef*", nome do alimento "*ground beef*", microrganismo *Escherichia coli* e faixa de temperatura entre 15 e 37 °C.



As temperaturas de abuso escolhidas foram 15 °C, 20 °C, 25 °C, 30 °C e 37 °C respectivamente, onde todos os trabalhos possuíam o pH de 5,8 e a aw de 0,99, para que assim o único fator capaz de gerar diferença no desenvolvimento da *E. coli* fosse a temperatura.

O modelo primário utilizado no estudo foi o de Baranyi e Roberts (17) (Equações 1 a 3), o qual permitiu obter parâmetros cinéticos fundamentais, tais como λ, $\mu_{máx}$, y_0 e $Y_{máx}$. Os fatores como pH (5,8) e aw (0,99) foram os valores constantes em todos os experimentos, de acordo com as informações obtidas da *USDA-Agricultural Research Service*, permitindo que a temperatura fosse o único fator determinante para a variação dos parâmetros.

$$y(t) = y_0 + \mu_{máx}F(t) - \ln\left\{1 + \frac{e^{\mu_{máx}F(t)} - 1}{e^{y_{máx} - y_0}}\right\} \quad (1)$$

$$F(t) = t + \left(\frac{1}{\mu_{máx}}\right)\ln\left[e^{(-\mu_{máx}t)} + e^{(-h_0)} - e^{(-\mu_{máx}t - h_0)}\right] \quad (2)$$

$$h_0 = \mu_{máx}\lambda \quad (3)$$

Nas equações, *y(t)* é o logaritmo da concentração microbiana *N* (UFC/g) no tempo *t* (horas), ou seja, *y(t)* = log [*N(t)*]. O parâmetro $\mu_{máx}$ é a velocidade máxima específica de crescimento (h^{-1}); λ é a duração da fase de latência (h); y_0 é o logaritmo da concentração microbiana inicial, y_0 = log (N_0); $y_{máx}$ é o logaritmo da população máxima, $y_{máx}$ = log ($N_{máx}$); h_0 é o parâmetro relacionado ao estado fisiológico das células (adimensional); *F(t)* é a função do modelo Baranyi e Roberts.

Já a modelagem secundária buscou descrever matematicamente como os parâmetros obtidos na modelagem primária variam em função da temperatura. Assim, os valores de $\mu_{máx}$ foram relacionados com a temperatura, estabelecendo uma função de dependência. O modelo da raiz quadrada de Ratkowsky (Equação 4) foi ajustado para descrever o efeito da temperatura na velocidade máxima específica de crescimento ($\mu_{máx}$), em que *a* é um parâmetro empíricos, *T* é a temperatura de armazenamento (°C) e $T_{mín}$ é a temperatura teórica mínima de crescimento (°C).

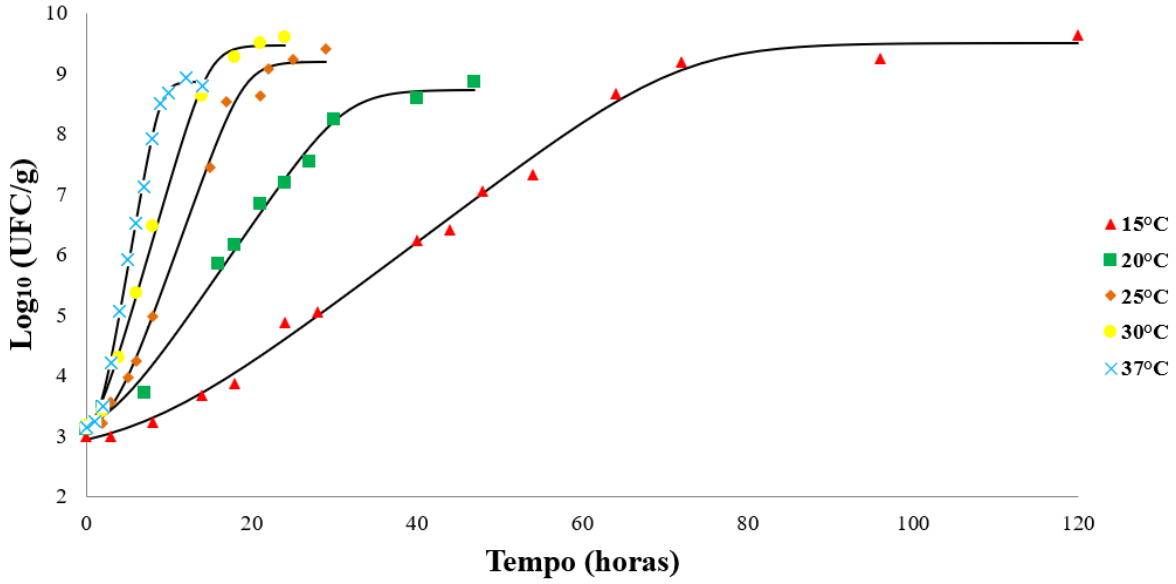
$$\sqrt{\mu_{máx}} = a(T - T_{min}) \quad (4)$$

Para a avaliação do desempenho do modelo primário, usou-se o Coeficiente de Determinação (R^2) e o Erro padrão (EP) do ajuste, obtidos no DMFit. Um valor de $R^2 = 1$ e EP= 0 indica que existe uma concordância perfeita entre todos os dados experimentais e os valores do ajuste do modelo. Já o desempenho dos modelos secundários foi avaliado pelo R^2, obtido do ajuste dos modelos aos dados de $\mu_{máx}$ em função da temperatura de armazenamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A modelagem preditiva realizada com dados do *ComBase* demonstrou que o crescimento de *E. coli* em carne moída bovina é fortemente influenciado pela temperatura de armazenamento (Figura 2). Observou-se que a velocidade de multiplicação apresentou comportamento típico de microrganismos mesófilos, com maior crescimento em condições próximas à temperatura de 35 °C.

Figura 2 - Compilação das curvas de crescimento de *Escherichia coli* em carne moída e os ajustes do modelo de Baranyi e Roberts aos dados experimentais na temperatura 15, 20, 25, 30 e 37 °C de armazenamento.



Em 37 °C, *E. coli* atingiu rapidamente a fase estacionária, em aproximadamente 12 h, alcançando valores próximos de 10^9 UFC/g. Os parâmetros cinéticos estimados foram λ = 1,600 h, $\mu_{máx}$ = 0,783 h^{-1} e $Y_{máx}$ = 8,854 $\log_{10}$ UFC/g, indicando rápida adaptação e multiplicação acentuada. A 30 °C, o crescimento manteve-se acelerado, com λ = 1,322 h, $\mu_{máx}$ = 0,473 h^{-1} e $Y_{máx}$ = 9,465 $\log_{10}$ UFC/g, estabilizando-se após 15–20 h. Em 25 °C, verificou-se crescimento mais lento (λ = 3,264 h, $\mu_{máx}$ = 0,384 h^{-1} e $Y_{máx}$ = 9,194 $\log_{10}$ UFC/g), com estabilização em torno de 25 h. A 20 °C, o crescimento ocorreu de forma gradual, apresentando λ = 3,349 h, $\mu_{máx}$ = 0,200 h^{-1} e $Y_{máx}$ = 8,727 $\log_{10}$ UFC/g, atingindo a fase estacionária somente após cerca de 40 h. Por fim, a 15 °C, embora mais lento, o crescimento manteve-se contínuo ao longo de 120 h, sem estabilização evidente. Os parâmetros obtidos (λ = 8,519 h, $\mu_{máx}$ = 0,104 h^{-1} e $Y_{máx}$ = 9,491 $\log_{10}$ UFC/g) reforçam que, mesmo em baixas temperaturas, a bactéria apresenta potencial de multiplicação significativo. Esses resultados indicam que a redução da temperatura prolonga a fase de adaptação (lag), reduz a velocidade de multiplicação, mas não inibe completamente o crescimento bacteriano, reforçando a necessidade de rigoroso controle da cadeia do frio na conservação de carne moída.

Tabela 1 - Parâmetros de crescimento estimados pelo ajuste do modelo de Baranyi e Roberts aos dados experimentais de *Escherichia coli* em carne moída bovina artificialmente inoculadas e armazenadas a 15, 20, 25, 30 e 37 °C e o índice estatísticos de desempenho do modelo.

Temperatura (°C)	**Parâmetros de crescimento**			**Índices estatísticos**	
	λ (h)	$\mu_{máx}$ (h^{-1})	$Y_{máx}$ ($\log_{10}$ UFC/g)	R^2	Erro padrão
15	8,519	0,104	9,491	0,995	0,178
20	3,349	0,200	8,727	0,991	0,195
25	3,264	0,384	9,194	0,994	0,205
30	1,322	0,473	9,465	0,994	0,203
37	1,600	0,783	8,854	0,998	0,112

A Tabela 2 apresenta o modelo secundário do tipo raiz quadrada (Ratkowsky) ajustado para descrever a influência da temperatura sobre a velocidade máxima específica de crescimento. O modelo apresentou excelente desempenho (R^2 = 0,9916), com equação ajustada $\sqrt{\mu_{máx}}$ = 0,2357 (T – 1,998), permitindo estimar a temperatura mínima teórica de crescimento em aproximadamente 2 °C. Esse resultado confirma a capacidade de *E. coli* de se multiplicar mesmo em condições de refrigeração, reforçando o risco associado à manutenção inadequada da cadeia do frio.

Tabela 2 - Equação do modelo secundário da raiz quadrada que representam a influência da temperatura na velocidade de crescimento de *Escherichia coli* carne moída bovina.

Modelo	Equação	R^2
Raiz Quadrada	$\sqrt{\mu_{máx}}$ = 0,0253 (T – 1,988)	0,9906

Os resultados desse trabalho corroboram observações experimentais de Doyle e Schoeni (9), que relataram elevada capacidade de crescimento de *E. coli* em condições favoráveis de temperatura. Resultados semelhantes foram descritos por Semanchek e Golden (10), que destacaram a influência direta de temperatura no grau de inativação e injúria celular. Além disso, revisões sistemáticas como a de Assis et al. (5) evidenciaram a persistência de cepas produtoras de toxinas shiga em carne bovina, reforçando risco potencial mesmo em condições ambientais menos propícias.

O comportamento observado em temperaturas intermediárias (20–25 °C) também confirma evidências reportadas por Hussein e Bollinger (8), que documentaram ampla prevalência de *E. coli* em carne bovina, destacando que o risco de multiplicação permanece elevado em condições de estocagem inadequada. Já a persistência de crescimento a 15 °C, embora em menor velocidade, indica que práticas de conservação que mantêm a carne em condições de "refrigeração parcial" não são eficazes para o controle da bactéria, como ressaltado em análises microbiológicas de carne moída comercializada em mercados regionais (6).

Considerando que a carne moída apresenta maior suscetibilidade à contaminação microbiana devido ao aumento da superfície de contato e à homogeneização da microbiota após a moagem (18), os resultados aqui obtidos reforçam a necessidade de manutenção rigorosa da cadeia de frio. Apenas temperaturas inferiores a 5 °C são capazes de restringir efetivamente a multiplicação de *E. coli*, conforme também recomendado por organismos internacionais de segurança de alimentos (3,18).

Dessa forma, o modelo preditivo evidencia que o crescimento de *E. coli* pode atingir níveis críticos em poucas horas quando a carne moída é mantida em temperaturas de risco, especialmente entre 25 e 37 °C. Isso sustenta a importância de boas práticas de armazenamento, refrigeração e manipulação, visando minimizar o risco de surtos de origem alimentar.

CONCLUSÕES

Conclui-se que o crescimento de *E. coli* em carne moída é diretamente influenciado pela temperatura de armazenamento. Os modelos preditivos mostraram que a bactéria pode alcançar níveis críticos em poucas horas quando a carne é mantida em temperaturas de risco, especialmente entre 25 °C e 37 °C, reforçando a necessidade de manter uma cadeia de frio rigorosa e a adoção de boas práticas de armazenamento e manipulação para minimizar riscos à saúde pública. Nesse contexto, os achados deste estudo também evidenciam a utilidade dos dados do banco ComBase como ferramenta robusta para a modelagem preditiva do

crescimento de *E. coli*, permitindo a simulação de diferentes cenários de temperatura e armazenamento. A disponibilidade de parâmetros validados em condições reais oferece suporte tanto a pesquisadores quanto à indústria alimentícia, possibilitando a previsão de riscos microbiológicos, o planejamento de estratégias de conservação e o desenvolvimento de medidas preventivas, complementando evidências experimentais e contribuindo para a segurança e qualidade dos produtos cárneos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Abate de animais alcança recorde no 2º trimestre de 2024. Rio de Janeiro: IBGE; 2024. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br

2. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes (ABIEC). Perfil da pecuária no Brasil – Relatório 2024. São Paulo: ABIEC; 2024. Disponível em: https://www.abiec.com.br

3. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). OECD-FAO Agricultural Outlook 2023-2032. Paris: OECD Publishing; 2023.

4. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). OECD-FAO Agricultural outlook 2025-2034, chapter 5 (Meat). Rome: FAO; 2025. Disponível em: https://www.fao.org

5. de Assis DCS, da Silva TML, Brito RF, da Silva LCG, Lima WG, Brito JCM. Shiga toxin-producing *Escherichia coli* (STEC) in bovine meat and meat products over the last 15 years in Brazil: A systematic review and meta-analysis. Meat Sci. 2021 Mar;173:108394. doi: 10.1016/j.meatsci.2020.108394. PMID: 33316706.

6. Oliveira A, Souza V, Furlaneto M, et al. Avaliação microbiológica de *Escherichia coli* em cortes de carne bovina (moída) comercializada nos Municípios de Valença e Vassouras, RJ. Res Soc Dev. 2020;9(7):e473974255.

7. Lucatelli A, Monte DFM, Álvares PP, Guth BEC, Destro MT, Franco BDGM, Landgraf M. Virulent shiga toxin-producing *Escherichia coli* (STEC) O157:H7 ST11 isolated from ground beef in Brazil. Braz J Microbiol. 2024 Dec;55(4):3513-3520. doi: 10.1007/s42770-024-01468-x. PMID: 39083224; PMCID: PMC11711852.

8. Hussein HS, Bollinger LM. Prevalence of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* in beef. Meat Sci. 2005 Dec;71(4):676-89. doi: 10.1016/j.meatsci.2005.05.012. PMID: 22061213.

9. Doyle MP, Schoeni JL. Survival and growth characteristics of *Escherichia coli* associated with hemorrhagic colitis. Appl Environ Microbiol. 1984 Oct;48(4):855-6. doi: 10.1128/aem.48.4.855-856.1984. PMID: 6391379; PMCID: PMC241626.

10. Semanchek JJ, Golden DA. Influence of growth temperature on inactivation and injury of *Escherichia coli* O157:H7 by heat, acid, and freezing. J Food Prot. 1998 Apr;61(4):395-401. doi: 10.4315/0362-028x-61.4.395. PMID: 9709200.

11. da Silva FF, Horvath MB, Silveira JG, Pieta L, Tondo EC. Occurrence of *Salmonella* spp. and generic *Escherichia coli* on beef carcasses sampled at a Brazilian slaughterhouse. Braz J Microbiol. 2014 May;45(1):17-23. doi: 10.1590/S1517-83822014005000037. PMID: 24948909; PMCID: PMC4059292.

12. Bier D, Silva M, Ramos CA, D'Amico GM, Silva T, Lima A, Chulli J, Araújo F. Survey of verotoxin-producing *Escherichia coli* and *faecal* coliforms in beef carcasses destined for export at slaughterhouses in Brazil. Cienc Tecnol Aliment. 2018;38. doi: 10.1590/1678-457x.37816.

13. Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 60, de 23 de dezembro de 2016. Estabelece os critérios e procedimentos para o controle e monitoramento de *Escherichia coli* em bovinos. Diário Oficial da União. Brasília; 2016. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura

14. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Instrução Normativa IN nº 60, de 26 de dezembro de 2019. Estabelece os padrões microbiológicos para alimentos prontos para oferta ao consumidor. Brasília, DF: ANVISA; 2019. Disponível em: https://www.gov.br/anvisa

15. Perez-Rodriguez F, Valero A. Predictive microbiology in foods. New York: Springer; 2013. 128 p.

16. Huang L. IPMP 2013: a comprehensive data analysis tool for predictive microbiology. Int J Food Microbiol. 2014;171:100-7. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2013.11.019.

17. Baranyi J, Roberts TA. A dynamic approach to predicting bacterial growth in food. Int J Food Microbiol. 1994;23(3-4):277-94. doi: 10.1016/0168-1605(94)90157-0.

18. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Meat Market Review – 2023. Rome: FAO; 2023. Disponível em: https://www.fao.org

Capítulo 36

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-36

MANEJO ALTERNATIVO DE *Meloidogyne* spp. COM DESTAQUE PARA TERPENOS PURIFICADOS DE *Euphorbia* sp.

João Pedro Elias Gondim; Matheus César Barbosa *; Rodrigo Vieira da Silva ; Felipe Ferreira Lô .

**Autor correspondente (Corresponding author) – Email: cesarmatheus581@gmail.com*

Resumo: Os fitonematoides causam grandes prejuízos à agricultura mundial, sendo responsáveis por reduções significativas na produtividade e na qualidade das culturas. Entre eles, os nematoides de galhas radiculares (*Meloidogyne* spp.) destacam-se pela ampla distribuição geográfica, elevada variabilidade genética e pela capacidade de parasitar uma grande diversidade de hospedeiros, ocasionando perdas bilionárias no cenário mundial e Brasileiro. Assim, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre estratégias de controle de nematoides de galhas raducilares, com ênfase em métodos alternativos e sustentáveis. Nesta revisão foram consultadas publicações recentes sobre controle cultural, biológico, químico e, principalmente, sobre o uso de compostos botânicos. Os resultados da literatura indicam, por exemplo, que extratos de *Euphorbia hirta* podem inibir até 79% da eclosão de ovos de *Meloidogyne* spp., enquanto extratos de *E. heterophylla* apresentam efeito nematicida direto sobre juvenis de segundo estádio (J2). Tais evidências destacam o potencial de terpenos e outros metabólitos bioativos como alternativas promissoras para o manejo sustentável desses fitonematoides.

PALAVRAS-CHAVE: nematoide de galhas; nematicidas botânicos; bioativos, controle alternativo.

INTRODUÇÃO

Os fitonematoides são patógenos de grande importância global, causando danos severos e perdas econômicas expressivas nas culturas agrícolas. Estima-se que mais de 4.100 espécies de nematoides fitoparasitas sejam responsáveis por perdas anuais de até 10-20% da produção agrícola mundial, o que representa prejuízos econômicos de cerca de US$ 157 a 358 bilhões por ano (1). Os gêneros *Meloidogyne* (nematoide-das-galhas), *Heterodera* e *Globodera* (nematoides de cisto), *Pratylenchus* (nematoide das lesões) e *Rotylenchulus* (nematoide reniforme) estão entre os mais danosos (2).

O manejo integrado de fitonematoides (MIF) integra práticas culturais (rotação de culturas, uso de variedades resistentes, solarização), controle biológico (uso de fungos e bactérias antagonistas como *Trichoderma, Purpureocillium, Pasteuria, Bacillus*), aplicação de produtos botânicos, manejo químico racional e melhorias no solo (adubação orgânica, compostagem (3). A prevenção, muitas vezes ignorada, é a medida de controle mais eficiente, pois a erradicação dos fitonematoides é quase impossível quando estabelecidos na

área de cultivo. Assim, o uso de material propagativo, máquinas, implementos e água isentos do patógeno são fundamentais para a prevenção (4).

Dentre as medidas de controle de fitonematoides mais comumente empregadas nos cultivos agrícolas, pode-se citar o uso de variedades resistentes, rotação de culturas, cultivo de plantas antagonistas, suplementação do solo com matéria orgânica e o controle químico (5,6). A utilização da rotação de culturas, apesar de eficiente na redução da população de fitonematoides, é dificultada pela ampla gama de plantas hospedeiras do gênero *Meloidogyne* (6). O cultivo de plantas antagonistas não possui uma produção de valor econômico, o que limita a aplicação desta medida pelos agricultores (4). Já a adição de matéria orgânica ao solo é fundamental para melhorar suas propriedades físicas, químicas e biológicas, porém com reposição em maior frequência, visto que a matéria orgânica sofre maior decomposição em solos de clima tropical e em cultivos intensivos (7). O controle químico de fitonematoides é restrito a culturas agrícolas de maior valor econômico e apresenta custo relativamente alto. Além disso, proporciona a lixiviação substâncias tóxicas capazes de contaminar diversos organismos e lençóis freáticos (6).

O gênero botânico *Euphorbia* é conhecido por conter espécies de plantas invasoras de difícil manejo (8, 9). Algumas espécies desse gênero são capazes de produzir compostos com efeitos alelopáticos sobre outras plantas (10, 11), e apresentar ação anti-fúngica (12) e anti-helmíntica (13). Em pesquisas envolvendo fitonematoides, a utilização de extratos brutos das espécies botânicas *E. fischeriana*, *E. hirta* e *E. heterophylla* causaram a mortalidade de juvenis de segundo estádio (J2) de *Meloidogyne incognita* (14, 15, 16). Já sobre a eclosão de J2 de *Meloidogyne* spp., o extrato aquoso de *E. hirta* apresentou até 79% de inibição em estudos in vitro (17). Sabe-se ainda, que a espécie *E. heterophylla* é má-hospedeira de *M. incognita* raça 3 e *M. javanica* (18).

Novos trabalhos devem explorar espécies botânicas com potencial nematicida/nematostático para descoberta e caracterização de novos compostos ativos e seu modo de ação. Além disso, buscar o desenvolvimento de formulações que possam ser empregadas em setores agrícolas carentes de alternativas para o manejo sustentável de fitonematoides. Portanto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a atividade nematicida de terpenos purificados de *Euphorbia* sp. sobre a mortalidade e eclosão de juvenis de segundo estádio (J2) de *Meloidogyne javanica*.

REFERENCIAL TEÓRICO

Os principais fatores que ocasionam redução na produção das plantas cultivadas estão relacionados com questões climáticas, tratos culturais, pós-colheita e de natureza fitossanitária. Este último merece atenção especial, pois pode causar danos e prejuízos irreparáveis, a depender da espécie cultivada e da praga/patógeno presente na área de produção. Assim, merece destaque os prejuízos causados pelos fitonematoides, que reduzem o desenvolvimento da planta, e causam queda na produtividade, qualidade e aspecto visual das hortaliças. Os nematoides mais importantes da Agricultura pertencem ao gênero *Meloidogyne* que podem inviabilizar o cultivo, em que alguns casos acarretam o abandono da atividade devido à alta infestação da área de cultivo (6).

2.1. Nematoides e sua importância para a agricultura

Os nematoides são animais invertebrados de corpo mole, com formato cilíndrico e coloração quase transparente, que se alimentam por sucção, movem-se como serpentes e, de modo geral, escapam à nossa percepção devido ao seu tamanho microscópico pertencem ao

filo Nematoda e são encontrados nos mais diversos ambientes naturais, desde que haja umidade e carbono orgânico para a sua sobrevivência (19).

Um grupo importante deste filo são os nematoides parasitas de plantas (fitonematoides) que medem e média 0,2 a 3,0 mm de comprimento, dos quais já foram descritas aproximadamente 4.100 espécies, capazes de colonizar raízes, bulbos, caules, folhas, flores e sementes, afetando diretamente o desenvolvimento vegetal (20).

O reconhecimento da importância do papel dos nematoides como fator limitante à produção agrícola teve início no último século, a partir das décadas de 1930 e 1940, devido, principalmente, a expansão das áreas de cultivo e do aumento da demanda por alimentos, impulsionados após a Segunda Guerra Mundial (21). Desde então, os nematoides vêm causando perdas significativas nas principais culturas de importância econômica e de subsistência em todos os continentes. Estimativas mais recentes indicam que os prejuízos globais anuais causados pelos nematoides fitoparasitas podem chegar a US$ 157 a 358 bilhões, representando aproximadamente 12% da produção agrícola mundial (22, 23). Esses valores refletem a ação de mais variadas espécies de nematoides fitoparasitas em diferentes cultivos, evidenciando a relevância econômica desse grupo e a necessidade de estratégias de manejo adequadas para mitigar perdas na agricultura.

Apesar de poucos estudos estimarem as perdas causadas pelos nematoides na agricultura brasileira, pesquisas recentes ressaltam os diversos problemas nematológicos enfrentados no país, frequentemente associados a sistemas agrícolas intensivos e à sucessão de culturas suscetíveis a esses patógenos. Espécies emergentes surgem periodicamente, provocando prejuízos significativos, que podem chegar a somente no Brasil em R$ 87 bilhões por ano (24, 25). Estes valores evidenciam a importância de estratégias de manejo adequadas e de maior atenção a esses organismos, cujo impacto econômico no agronegócio nacional é expressivo, afetando culturas essenciais como soja, milho e café e outras culturas. Em 2016, O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), por meio de portaria no Diário Oficial da União, listou algumas espécies de pragas dentre as principais ameaças fitossanitárias à agricultura brasileira, com priorização dos processos de registros de produtos para controle, em que estão incluídas as espécies de nematoides *Meloidogyne javanica*, *M. incognita*, *Heterodera glycines* e *Pratylenchus brachyurus* para a cultura da soja (26).

2.2 Nematoides de galhas radiculares – *Meloidogyne* spp.

Os nematoides do gênero *Meloidogyne*, conhecidos como nematoides de galhas radiculares, continuam a representar uma ameaça significativa à agricultura brasileira. Estudos recentes confirmam sua presença em diversas culturas, incluindo soja, feijão, tomate e melão, com destaque para a espécie *Meloidogyne enterolobii*, que possui ampla gama de hospedeiros e resistência a algumas variedades de plantas resistentes anteriormente eficazes contra outras espécies do gênero. Além disso, novas raças de *Meloidogyne enterolobii* foram identificadas em algodoeiro no estado da Bahia, evidenciando a evolução constante desses patógenos e a necessidade de estratégias de manejo adaptativas (27, 28).

O gênero foi proposto por Emílio Goeldi em 1887, ao publicar em seu relatório técnico-científico uma nova espécie de nematoide, *M. exigua*, encontrada parasitando cafeeiros na então Província do Rio de Janeiro (4). A partir dessa data, mais de 100 espécies do gênero já foram descritas no mundo (29), e as que causam danos severos em hortaliças no Brasil, com perdas de até 100 % da produção, são *M. incognita, M. javanica, M. arenaria, M. hapla, M. ethiopica* e *M. enterolobii* (6).

As espécies do gênero *Meloidogyne*, conhecidos como nematoides de galhas radiculares, apresentam alta variabilidade genética, atribuída à diversidade de espécies identificadas, modos de reprodução (anfimixia e partenogênese) e ampla gama de hospedeiros. Estudos confirmam que *M.e incognita* é extremamente polifágico, com uma gama de hospedeiros de até 3.000 espécies vegetais, abrangendo monocotiledôneas e dicotiledôneas, o que dificulta seu controle (30, 31). Além disso, *Meloidogyne enterolobii*, uma espécie apomítica, apresenta pouca variação genética, provavelmente devido à reprodução mitótica, o que contribui para sua homogeneidade genética (32).

São parasitas obrigatórios de raízes e de caules subterrâneos e apresentam metabolismo ativo durante todo o ano em regiões de temperaturas mais quentes e solos úmidos, porém há espécies adaptadas a regiões de climas mais frios. A forma de vida móvel no solo capaz de infectar as raízes é o juvenil de segundo estádio (J2), ou estádio infectivo. Ao penetrarem nas raízes, os J2 movimentam-se para as regiões próximas aos vasos condutores, induzem a formação de células especializadas de alimentação e tornam-se sedentários. Ali, passam por sucessivas ecdises, que é a troca da cutícula externa (2ª, 3ª e 4ª), até chegarem à fase adulta. Também ocorre o alargamento progressivo do corpo dos juvenis durante as ecdises. Ao atingirem a fase adulta, as fêmeas permanecem em seu sítio de alimentação, assumindo um formato piriforme, e os machos reassumem o formato filiforme, saindo das raízes em direção ao solo (33).

O engrossamento das raízes denominado “galha” é devido à hiperplasia celular, uma multiplicação desordenada de células adjacentes ao sítio de alimentação do nematoide. Contudo, esse sintoma não é essencial para o parasitismo de espécies de *Meloidogyne* a suas plantas hospedeiras. Posteriormente, a fêmea deposita seus ovos em uma matriz gelatinosa, que pode ser interna ou externa. São formadas em meio ao parênquima cortical ou sobre a superfície das raízes, que contêm em média de 500 a 1000 ovos protegidos pela camada gelatinosa que evita a dessecação e protege contra o ataque de microrganismos. Ainda dentro do ovo ocorre a formação do juvenil de primeiro estádio (J_1), que ali sofre a 1ª ecdise, originando o J2, que abandona o ovo e passa a migrar no solo à procura da raiz de um hospedeiro favorável.

O ciclo de vida dos nematoides do gênero *Meloidogyne* varia de acordo com a espécie, as condições ambientais e o tipo de hospedeiro. Estudos recentes mostram que *Meloidogyne incognita* pode completar seu ciclo em cerca de 37 dias a 21°C, enquanto *M. javanica*, sob temperaturas ideais entre 25 e 30°C, pode concluir seu ciclo em aproximadamente 25 dias. Já *M. enterolobii* apresenta ciclo de vida de 24 a 28 dias em raízes de pimentão verde (34, 35, 36). Essas variações evidenciam a importância de considerar a espécie e as condições ambientais ao planejar estratégias de manejo e controle desses fitonematoides.

Fase de ovo de nematoides do gênero *Meloidogyne* pode permanecer viável e “entrar em dormência” sob condições adversas (solo seco e ausência de hospedeiro), já que fatores abióticos regulam a eclosão e nem todos os ovos eclodem ao mesmo tempo, favorecendo a manutenção do inóculo no solo; revisões recentes sobre eclosão e sobrevivência de ovos ressaltam esses mecanismos. (37, 38). Além disso, a ampla gama de plantas hospedeiras do gênero, incluindo numerosas plantas daninhas, permite que populações se mantenham durante a entressafra em espécies invasoras ou espontâneas, como demonstrado em estudos recentes realizados no Brasil e em outros países (39, 40). Em campo, os sintomas tipicamente aparecem em manchas localizadas (“reboleiras”), com plantas subdesenvolvidas, cloróticas, murcha nas horas mais quentes, declínio e sintomas que se assemelham a deficiências nutricionais — sinais decorrentes das galhas radiculares e da perda de função radicular (28).

A dispersão do nematoide ocorre majoritariamente por vias assistidas pelo homem: transporte de solo ou substrato aderido a máquinas e implementos, água de irrigação, mudas

e material de plantio infectado, bem como por comércio de plantas, sendo esses os principais responsáveis pela introdução e estabelecimento em áreas novas.
A espécie *Meloidogyne javanica* possui ampla distribuição mundial, considerada a segunda mais importante do gênero (41). Ocorre predominantemente em regiões com estações secas bem características (42), como as apresentadas no Cerrado brasileiro. Em levantamento realizado em plantas nativas na região do Cerrado (43), detectaram a predominância de *M. javanica* em 75,7 % das amostras. No Brasil, *M. javanica* sempre foi a espécie do gênero de maior ocorrência nas áreas de cultivo, desde que a cultura seja hospedeira dessa espécie (44, 45).

2.3 principais estratégias de controle de fitonematoides em hortaliças

O manejo integrado de nematoides tem se consolidado como a principal estratégia para reduzir perdas nas culturas, envolvendo práticas culturais, uso de resistência genética, agentes biológicos e medidas de exclusão. A identificação correta das espécies presentes na área é fundamental, pois permite selecionar métodos mais adequados de controle e direcionar a rotação de culturas e o uso de variedades resistentes. Pesquisas recentes destacam que ferramentas de diagnóstico moleculares e de campo têm aperfeiçoado essa identificação, tornando o manejo mais eficiente e sustentável (46, 47, 48).

2.3.1 Prevenção

A prevenção constitui-se na estratégia de controle de nematoides mais eficiente, pois uma vez introduzidos na área, sua erradicação é praticamente impossível. Assim, as medidas usuais de controle têm a finalidade apenas de manter a densidade populacional em níveis baixos o suficiente para que os fitonematoides presentes não causem perdas econômicas (6). No manejo de fitonematoides, diversas medidas preventivas são recomendadas para minimizar a disseminação desses patógenos. A limpeza rigorosa de equipamentos, como ferramentas, implementos agrícolas e maquinários, é essencial para evitar a transferência de nematoides entre áreas infestadas e não infestadas. Além disso, o uso de material de plantio isento de nematoides, como mudas, sementes e tubérculos, é fundamental para prevenir a introdução desses organismos no campo. A quarentena, que envolve ações para a exclusão de organismos indesejáveis, também desempenha um papel crucial na proteção das lavouras. Estudos recentes indicam que práticas como rotação de culturas, manejo adequado do solo e medidas sanitárias podem ajudar a reduzir as populações de nematoides e prevenir sua disseminação (49, 50, 51).

2.3.2 Eliminação de restos culturais

A eliminação de restos culturais é uma prática eficaz contra nematoides de galhas: restos de raízes, tubérculos e bulbos podem abrigar ovos e fases juvenis, por isso recomenda-se revolver o solo e expor esses resíduos ao sol (solarização/exposição e dessecação) ou recolhê-los, amontoar e destruir, medidas que reduzem significativamente a sobrevivência do inóculo; da mesma forma, o controle e a remoção de plantas invasoras — manualmente ou com herbicidas — são fundamentais, já que várias plantas daninhas funcionam como hospedeiras que mantêm e aumentam populações de *Meloidogyne* durante a entressafra. (52, 53, 54, 55).

2.3.3 Solarização e biofumigação

A solarização tem sido empregada em áreas com altas populações de nematoides, principalmente em regiões de clima quente e intensa radiação solar (56). É uma prática que consiste em cobrir o solo com uma camada de plástico de polietileno transparente, permitindo a entrada de raios solares que aquecem o solo nas camadas superficiais com efeitos positivos sobre a redução da população de nematoides por um período de 3 a 8 semanas. Durante a solarização, a temperatura pode chegar a 54 ºC nas camadas mais superficiais e 50 ºC até aos 30 cm de profundidade (6). Por exemplo, a solarização do solo foi capaz de diminuir em 99 % a incidência de *Meloidogyne* spp. em área com tomateiro (57), 86 % em cultivo de cenoura (58), 82,7 % em cultivo de quiabo (59) e 35 % de pepino (60).
A biofumigação, aplicada com culturas ricas em glucosinolatos (principalmente Brassicaceae), libera isotiocianatos na decomposição que atuam como agentes nematicidas, e quando integrada à solarização (incorporação de biomassa seguida de cobertura e aquecimento do solo) aumenta a mortalidade de nematoides e a supressão de doenças de solo; revisões e estudos experimentais recentes mostram que a combinação dessas práticas potencializa o efeito sobre *Meloidogyne* e outros patógenos de sistema radicular, além de modular a comunidade microbiana do solo, o que contribui para a durabilidade do controle. (61, 62, 63, 64).

2.3.4 Uso de plantas antagonistas

O uso de plantas antagonistas é uma prática comprovadamente eficaz para reduzir populações de nematoides fitoparasitas, sendo uma alternativa sustentável aos nematicidas químicos. Essas plantas atuam principalmente de duas formas: como hospedeiras desfavoráveis, impedindo o desenvolvimento dos nematoides (65, 66).
As plantas antagonistas mais utilizadas e eficientes no manejo de nematoides de galhas em áreas de cultivo de hortaliças são: cravo-de-defunto (*Tagetes patula*, *T. minuta* e *T. erecta*), crotalárias (*Crotalaria spectabilis* e *C. juncea*) e mucuna-preta (*Mucuna aterrima*). As crotalárias e mucunas podem ainda ser utilizadas como cultura de cobertura ou incorporadas ao solo na forma de adubo verde (6).

2.3.5 Rotação de culturas

A distribuição de culturas é extremamente conhecida como uma das práticas mais práticas para o controle de fitonematoides, especialmente quando envolve culturas não hospedeiras ou antagonistas. Além da redução da população de nematoides, a rotação traz benefícios agronômicos como aumento de produtividade, melhoria da saúde do solo e sustentabilidade do sistema agrícola (67). A rotação de culturas melhora a fertilidade do solo, aumenta a biomassa e a produtividade das culturas seguintes, e favorece a ciclagem de nutrientes (68).
As espécies: sorgo (*Sorghum bicolor*), milho (*Zea mays*), milheto (*Pennisetum glaucum*), mamona (*Ricinus communis*), crotalárias (*Crotalaria* spp.), cravo-de-defunto (*Tagetes patula*) e brássicas são as mais empregadas em rotação com hortaliças (6). Entretanto, o manejo de populações mistas de *Meloidogyne* em olerícolas é bastante complexo. Charchar et al. (69) relataram que o cultivo de *Crotalaria spectabilis*, *C. juncea*, *Mucuna pruriens*, *Brassica nigrum* ou *Zea mays* por 120 dias não foi suficiente para viabilizar a produção de cenoura em solo infestado com *M. incognita* raça 1 e *M. javanica*.

2.3.6 Suplementação do solo com matéria orgânica

A incorporação de matéria orgânica ao solo é uma prática tradicional e eficaz para o manejo de fitonematoides, promovendo melhorias físicas, químicas e biológicas no solo e favorecendo o controle biológico desses patógenos, as emendas orgânicas do solo suprimem os nematoides por meio de uma combinação de vários mecanismos, incluindo liberação de compostos nematicidas, geração de compostos nematicidas, aumento de microrganismos antagônicos e alterações na fisiologia do solo (70). As principais fontes orgânicas utilizadas no manejo de nematoides são: tortas de sementes de oleaginosas (algodão, amendoim, gergelim, mamona, mostarda, nim, soja, etc.); biomassa vegetal (alfafa, brássicas, cravo-de-defunto, crotalárias, mucunas, folhas de nim, etc.); resíduos da agroindústria (casca de amendoim, manipueira, palha de arroz e café, sementes de mamão, torta de filtro, vinhaça, etc.), de animais (esterco bovino e de frango, farinha de ossos, rejeitos da limpeza de peixes, etc.) e de lixo urbano (compostos orgânicos e lodo de esgoto) (70, 71).

2.3.7 Resistência genética

A resistência genética, seja natural ou causada, é considerada uma das estratégias mais eficazes e sustentáveis para o controle de nematoides, reduzindo significativamente danos e perdas de produtividade em diversas culturas (72). Avanços em técnicas moleculares como sequenciamento de genoma, RNAi e edição genética podem aumentar a eficácia e a sustentabilidade do controle de nematoides parasitas de plantas em espécies de plantas economicamente importantes (73). A utilização de cultivares de hortaliças resistentes diminuem o uso de nematicidas, que apresentam custo relativamente elevado e alta toxicidade. Espécies selvagens têm sido importantes fontes de resistência a nematoides, como no programa de melhoramento do tomateiro, em que o gene *Mi*, relatado há mais de 60 anos, foi identificado em um acesso selvagem (*Solanum peruvianum*) (74). A proteína codificada a partir desse gene confere resistência a *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* e *M. arenaria*, porém com ineficiência em temperaturas elevadas do solo (75). Apesar da existência de cultivares comerciais de tomateiro com resistência ao nematoide de galhas, essa resistência apresenta limitações importantes: ela é restrita principalmente a três espécies (*Meloidogyne incognita, M. javanica e M. arenaria*) e pode ser superada pelo surgimento de biótipos virulentos, especialmente com o uso de cultivares em uma mesma área (76).

2.3.8 Controle biológico

O controle biológico é uma estratégia promissora e sustentável para o manejo de nematoides, ocorrendo por múltiplos mecanismos e podendo ser integrado a sistemas agrícolas para maior eficácia e segurança ambiental, os fungos oferecem uma alternativa ecologicamente correta, seletiva e de longo prazo aos nematicidas químicos para o controle de nematoides parasitas de plantas em culturas hortícolas (77). As principalmente as espécies de fungos são: *Pochonia chlamydosporia* e *Purpureocillium lilacinum* (parasitas de ovos e fêmeas); *Arthrobotrys* spp. e *Monacrosporium* spp. (predadores); espécies de *Aspergillus*, *Fusarium*, *Myrothecium*, *Penicillium*, *Pleurotus* e *Trichoderma* (produtores de metabólitos tóxicos). Além dos fungos, as bactérias também são eficientes agentes de biocontrole de fitonematoides, principalmente *Pasteuria* spp. (endoparasita); e rizobactérias dos gêneros *Bacillus* e *Pseudomonas* (78)

No Brasil, há 120 registros de nematicidas microbiológicos no MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), sendo que 18 estão disponíveis para o uso em hortaliças, e são à base de espécies de *Bacillus*, *Purpureocillium lilacinum*, *Pochonia chlamydosporia* e *Trichoderma harzianum* (79).

2.3.9 Controle químico

O controle químico, embora eficaz e de ação rápida, não deve ser considerado a única ou mais eficiente estratégia para o manejo de fitonematoides, devido a limitações agronômicas, ambientais e econômicas (80). Nematicidas químicos podem contaminar organismos não-alvo, solo e lençóis freáticos, devido à lixiviação e persistência no ambiente. Compostos como fumigantes e organofosforados apresentam alta toxicidade e já foram banidos ou restritos em muitos países por riscos à saúde humana e ambiental (80).
Alguns fatores como a toxicidade e o período residual dificultam o emprego desses produtos, pois a maioria das hortaliças apresenta ciclo relativamente curto, principalmente as folhosas, inviabilizando o seu uso (6).

2.4. Compostos botânicos ativos no controle de fitonematoides

As plantas produzem uma grande diversidade de metabólitos secundários que desempenham papéis essenciais tanto em processos fisiológicos internos quanto nas interações com outros organismos, os metabólitos secundários e os microbiomas vegetais interagem para proteger as plantas de patógenos, pragas e herbívoros, além de regular o metabolismo das plantas, impactando potencialmente a produção sustentável de culturas (81).

Algumas plantas antagonsitas, produtoras de compostos tóxicos a fitonematoides, são bastante estudadas, visando identificar a série de componentes com propriedades nematicidas ou nematostáticas presentes nessas plantas. Contudo, tal linha de pesquisa ainda é bastante insipiente. A partir da identificação, esses componentes podem ser testados para comprovação da ação sobre fitonematoides, com possibilidade de formulação para o uso em produtos à base de extratos botânicos. Esses defensivos naturais destacam-se dos sintéticos, apresentando vantagens como o baixo custo, fácil biodegradação das moléculas químicas presentes, baixa toxicidade e podem ser empregados em cultivos agroecológicos. Apresentam ainda grande diversidade de constituintes químicos e podem apresentar amplo modo de ação, além de serem obtidos a partir de recursos renováveis (71, 82).

Assim, dentre as espécies vegetais mais comumente estudadas no preparo de extratos ou óleos essenciais com propriedades nematicidas estão as mucunas (*Mucuna* spp.), cravo-de-defunto (*Tagetes* spp.), crotalárias (*Crotalaria* spp.), nim (*Azadirachta indica*), algumas gramíneas, mamona (*Ricinus communis*), brássicas, plantas medicinais e aromáticas (71, 83).

2.4.1 *Mucuna* spp.

O gênero Mucuna possui mais de 100 espécies descritas, sendo a mucuna-preta (*Mucuna pruriens*) a mais conhecida e utilizada no Brasil. As sementes de Mucuna pruriens são ricas em L-Dopa (3,4-diidroxifenilalanina), um composto com atividade nematicida comprovada (84, 85). Além disso, outros compostos isolados da parte aérea, como tiacontil-tetracosanato e 1-triacontanol, também apresentam efeito contra o nematoide de galhas,

reduzindo a eclosão de juvenis (J2) e o número de galhas em experimentos in vitro e em casa de vegetação.
A *Mucuna cinerea* contém uma mistura de ácidos graxos, triacilgliceróis, b-sitosterol, estigmasterol, daucosterol, asperglaucida e isoflavonóides, sendo o composto mais ativo a prunetina, causando 70% de mortalidade de nematoides.

2.4.2 *Tagetes* spp.

O cravo-de-defunto (*Tagetes* spp.) contém mais de 50 espécies diferentes, das quais somente *T. patula*, *T. erecta*, *T. luneta* e *T. tenuifolia* são cultivadas em todo o mundo (71).
As plantas de cravo-de-defunto são amplamente estudadas quanto à presença de compostos com propriedades nematicidas, a exemplo de α-tertienil e alil-isotiocianato. Todavia, alguns compostos presentes nas raízes dependem da fotoativação, da ação da peroxidase ou de outros ativadores para liberar o composto tóxico contra os nematoides (82, 83). Porém, compostos podem estar presentes em folhas e flores e não dependerem da luz, a exemplo de extratos aquosos obtidos de flores de *T. patula*, que apresentaram redução de 62,2 % no número de galhas, e de 61,5 e 52,8 %, no número de J2 e ovos de *M. incognita*, respectivamente, em tomateiro (86).

2.4.3 *Crotalaria* spp.

Crotalaria juncea é reconhecida como a espécie mais importante do gênero devido à sua capacidade de fixação de nitrogênio, tolerância à seca, crescimento em solos pobres e ação antagonista a nematoides. No entanto, *C. spectabilis* é a espécie mais científica para o controle de nematoides, especialmente em sistemas agrícolas brasileiros (87). Diversos estudos mostram sua eficácia na redução de populações de *Meloidogyne* spp., *Pratylenchus brachyurus* e *Heterodera glycines*, tanto em cultivos solteiros quanto em consórcios (88).
Um importante exsudato radicular presente nas crotalárias é o alcaloide monocrotalina (71). Fassuliotis & Skucas (89) avaliaram a exposição de J_2 de *M. incognita* a este composto e encontraram inibição de 100 % quando utilizada a concentração de 10 µg mL^{-1}.

2.4.4 *Azadirachta indica*

A planta Azadirachta indica, conhecida como nim, é amplamente reconhecida por conter compostos bioativos, principalmente a azadiractina, que conferem atividade contra mais de 200 espécies de pragas e patógenos, incluindo insetos, ácaros, nematoides, bactérias, fungos e alguns vírus, esses atuam como antialimentares, inibidores de crescimento, repelentes, inibidores de oviposição, além de afetarem processos metabólicos e fisiológicos de pragas e patógenos (90). Seu efeito contra nematoides é devido à presença de substâncias químicas, como azadiractina, nimbina, salalina, entre outras (82).
O nim controla pragas agrícolas como pulgões, mosca-branca, lagartas, besouros, ácaros, além de fitonematoides, bactérias (ex: *E. coli*, *Staphylococcus aureus*), fungos (ex: *Aspergillus*, *Pyricularia oryzae*) e até vírus de plantas (90) A eficiência do nim já foi comprovada por vários autores, dos quais relataram a ação nematicida de extratos aquosos e metanólicos desta planta a vários fitonematoides, a exemplo dos gêneros *Heterodera* e *Meloidogyne* (83).

2.4.5 Gramíneas

Diversas gramíneas apresentam compostos químicos com potencial nematicida, destacando-se o sorgo (*Sorghum bicolor*) e o sudão (*S. sudanense*), que produzem o glicosídeo cianogênico durrina. A durrina pode liberar ácido cianídrico (HCN) após a hidrólise, substância tóxica para diversos organismos, incluindo nematoides, S. bicolor apresenta teores elevados de durrina, enquanto S. sudanense possui concentrações significativamente menores, especialmente em estágios iniciais de desenvolvimento (91). A comprovação da presença desse composto foi descrita por Widmer & Abawi (92), que relataram a redução da eclosão de J_2 de *M. hapla* em até 55 % em cultivo de alface utilizando extrato de *S. sudanense*.

O capim-colchão (*Eragrotis curvula*) também apresenta antagonismo contra fitonematoides, devido ao composto fenólico catecol presente em suas raízes (93), com eficiência relatada por Brito & Ferraz (94) no controle de *M. javanica*. Outra gramínea estudada é o capim-limão (*Cymbopogon citratus*) e seus principais constituintes são o citral (mistura dos aldeídos geranial + neral) e alguns terpenos (mirceno e geraniol), ambos com propriedades nematicidas (95).

2.4.6 *Ricinus communis*

A mamona contém compostos tóxicos como a ricina e a ricinina, sendo a ricina especialmente abundante na torta de sementes. Extratos de mamona demonstraram atividade nematicida significativa contra *M. incognita*, rápido a eclosão de ovos, a formação de galhas e a mortalidade de juvenis, Extratos aquosos de mamona causaram mortalidade significativa de nematoides do gênero *Meloidogyne* em testes in vitro, diminuindo potencial para controle biológico (96).

2.4.7 Brássicas

As brássicas possuem uma série de compostos químicos em sua constituição, tais como epinitrilas, glicosinolatos, isotiocianatos, nitrilas e tiocinatos, todos com atividade nematicida (82, 97).

Isocianatos demonstram alta toxicidade para nematoides, inibindo motilidade e causando mortalidade significativa, especialmente em espécies como *Pratylenchus penetrans* e *Meloidogyne* spp. Compostos como benzil, feniletil e alil isotiocianato apresentam efeito dose-dependente e irreversível sobre nematoides (98). Nitrilas e epinitrilas: Também compostos de glicosinolatos, possuem atividade biológica, mas geralmente são menos potentes que os isotiocianatos. No entanto, podem atuar de forma sinérgica, potencializando o efeito dos isotiocinatos (99).

Extratos e óleos essenciais de mostarda (*Brassica campestres*), couve-flor (*Brassica oleracea*) e brócolis (*Brassica oleracea*) são alguns exemplos do emprego de brássicas no controle de *M. javanica* (100).

2.4.8. Medicinais e aromáticas

As plantas medicinais e aromáticas são bastante estudadas no controle de fitonematoides por possuírem componentes tóxicos, principalmente nos óleos essenciais, tais como ácidos graxos, alcaloides, esteroides, flavonoides, glicosídeos, isotiocianatos, saponinas, taninos e outros compostos (82). Óleos essenciais de espécies como *Origanum vulgare* (rico em carvacrol), *Cinnamomum burmanni*, *Mentha pulegium* (pulegona, mentol), *Thymus vulgaris*

(timol), entre outros, apresentaram mortalidade superior a 80% de juvenis de *Meloidogyne* spp. e forte inibição da eclosão de ovos (101).

Assim, extratos e óleos essenciais de bulbilhos de alho (*Allium sativum*), casca de gliricídia (*Gliricidia sepium*), folhas de hortelã (*Mentha piperita*), folhas de mandioca (*Manihot esculenta*), sementes e folhas de mamoeiro (*Carica papaya*), açafrão-da-terra (*Curcuma longa*), amora (*Morus nigra*), arruda (*Ruta graveolens*), cebola (*Allium cepa*), eucalipto (*Corymbia citriodora*), erva-de-santa-maria (*Chenopodium* spp.), fedegoso (*Cassia obtusifolia*), figueira (*Ficus elastica*), manjericão (*Ocimum* spp.), orégano (*Origanum vulgare*), pimenta malagueta (*Capsicum frutescens*), quebra-pedra (*Phylanthus amarus*), romã (*Punica granatum*), tomilho (*Thymus vulgaris*) e vinca (*Catharantus roseus*) são relatadas como excelentes fontes potenciais de substâncias com ação nematicida, atuando principalmente sobre J_2 de *Meloidogyne* (100, 102, 103, 104).

2.4.9 *Euphorbia* spp.

O gênero botânico *Euphorbia* abrange mais de 2000 espécies de plantas e é considerado o maior dentro da família Euphorbiaceae (105). Esse gênero possui a região Indomalaia como centro de diversidade primário, e a região Neotropical como secundário. Todavia pode ser encontrada uma diversidade de espécies em vários habitats (106).

Muitas espécies de *Euphorbia* são bastante conhecidas por serem ornamentais, tais como *E. pulcherrima* (bico-de-papagaio, flor-de-são-joão, poinsétia-natalina), *E. milii* (coroa-de-cristo) e *E. cotinifolia* (caracasana). Outras também são conhecidas por serem plantas invasoras de difícil controle, a exemplo de *E. heterophylla* (amendoim-bravo), com distribuição em regiões tropicais e subtropicais (8, 9). Encontra-se ainda algumas espécies com propriedades medicinais, tais como *E. peplus*, *E. prostrata*, *E. thymifolia* e *E. hirta*, que são produtoras de compostos anticancerígenos, inibidores de tumores, imuno-estimulantes e anti-inflamatórios (107).

Em pesquisas envolvendo fitonematoides, Olabiyi et al. (104) relataram a eficiência de 100 % do extrato etanólico de *E. hirta* na mortalidade de J_2 de *Meloidogyne incognita* em condições laboratoriais. Liu et al. (107) obtiveram os mesmos resultados, porém utilizando a espécie botânica *E. fischeriana*. Ainda, Khun et al. (14) mostraram a eficácia *in vitro* do extrato aquoso de *E. heterophylla* sobre J_2 de *M. incognita*. Já sobre eclosão de J_2 de *Meloidogyne* spp., Ononuju & Nzenwa (17) descreveram inibição de 79 % da eclosão utilizando o extrato aquoso de *E. hirta*. Por fim, em pesquisa avaliando o parasitismo de *M. incognita* raça 3 e *M. javanica* em plantas invasoras em áreas de cultivo de cana-de-açúcar, Giraldeli et al. (18) classificaram *E. heterophylla* como má-hospedeira, com baixos valores de fator de reprodução para os respectivos fitonematoides.

Apesar de se ter uma vasta lista de plantas produtoras de compostos tóxicos a fitonematoides, muitos desses estudos datam de vários anos atrás e pouco se sabe sobre quais são os compostos nematicidas presentes nessas plantas e menos ainda sobre os possíveis modos de ação. Vale salientar ainda que geralmente os trabalhos relatados na literatura investigaram somente a atividade de extratos brutos e pouquíssimos avançaram na busca pela identidade das moléculas responsáveis por tais efeitos tóxicos aos fitonematoides. Há muitas plantas ainda a serem pesquisadas no Brasil, pois o país possui uma flora muito rica, e muitas famílias botânicas ainda não foram sequer estudadas. Deste modo, novos trabalhos devem se basear na busca por novas plantas com potencial nematicida/nematostático, na descoberta e caracterização de novos compostos ativos, na determinação das concentrações efetivas de uso, seu modo de ação e definição de formas de aplicação (5).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados evidenciados na literatura, demonstram que os terpenos presentes em espécies do gênero *Euphorbia* apresentam ação efetiva contra os nematoides de galhas do gênero *Meloidogyne*, reduzindo de forma significativa a eclosão e a sobrevivência de juvenis de segundo estádio (J2). Esses efeitos reforçam o potencial dos metabólitos vegetais como alternativas sustentáveis ao uso de nematicidas sintéticos, contribuindo para minimizar impactos ambientais e riscos à saúde. O presente estudo confirma ainda, a relevância do manejo alternativo, no contexto da agricultura brasileira, sobretudo em sistemas que demandam maior sustentabilidade. Diante disso, recomenda-se o avanço de pesquisas experimentais e de validação em condições de campo, visando a consolidação do uso de compostos de origem botânica, como os derivados de *Euphorbia* spp., no manejo integrado de fitonematoides.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Nimnoi P, et al. Insights sobre a diversidade de nematoides do solo e a comunidade bacteriana da rizosfera do arroz jasmim tailandês em diferentes arrozais na Tailândia. PeerJ. 2024;12:e17289. doi:10.7717/peerj.17289.
2. Kalatur K, et al. Fitonematoides como fator biótico limitante da produção agrícola no mundo (revisão). Artigos Cient Inst Cult Bioenergia Beterraba Açuc. 2021. doi:10.47414/np.29.2021.244423.
3. Abd-Elgawad M, et al. Estratégias integradas de manejo de nematoides: otimização de insumos nematicidas e multifuncionais combinados. Plants. 2025;14:1004. doi:10.3390/plants14071004.
4. Ferraz LCCB, Brown DJF. Nematologia de plantas: fundamentos e importância. Manaus: Norma Editora; 2016.
5. Ferraz S, et al. Manejo sustentável de fitonematoides. Viçosa: Editora UFV; 2010.
6. Pinheiro JB. Nematoides em hortaliças. Brasília: Embrapa Hortaliças; 2017.
7. Barros JDS. Contribuições da matéria orgânica do solo para mitigar as emissões agrícolas de gases de efeito estufa. Polêmica. 2013;12(2):342-51.
8. Brighenti AM, Oliveira MF. Biologia de plantas daninhas. In: Oliveira Jr, Constantin J, Inoue MH, editores. Biologia e manejo de plantas daninhas. Curitiba: Omnipax; 2011. p.1-36.
9. Takano HK, Oliveira Jr RS, Constantin J, Biffe DF, Franchini LHM, Braz GBP, et al. Efeito da adição do 2,4-D ao glyphosate para o controle de espécies de plantas daninhas de difícil controle. Rev Bras Herbic. 2013;12(1):1-13.
10. Abu-Romman S, Shatnawi M, Shibli R. Allelopathic effects of spurge (*Euphorbia hierosolymitana*) on wheat (*Triticum durum*). Am-Eur J Agric Environ Sci. 2010;7(3):298-302.
11. Silva UP, Furlani GM, Demuner AJ, Silva OLM, Varejão EVV. Allelopathic activity and chemical constituents of extracts from roots of *Euphorbia heterophylla* L. Nat Prod Res. 2018; 6419:1-4.
12. Dhole JA, Dhole NA, Lone KD, Bodke SS. Preliminary phytochemical analysis and antimicrobial activity of some weeds collected from Marathwada region. J Res Biol. 2011;1(2):19-23.

13. Nalule AS, Mbaria JM, Kimenju JW. In vitro anthelmintic potential and phytochemical composition of ethanolic and water crude extracts of Euphorbia heterophylla Linn. J Med Plants Res. 2013;7(43):3202-10.
14. Khun PR, Bellé C, Reinehr M, Kulczynski SM. Extratos aquosos de plantas daninhas, aromáticas e oleaginosa no controle de *Meloidogyne incognita*. Nematropica. 2015;45(2):150-7.
15. Liu XC, Zhou L, Liu ZL. Evaluation of nematicidal activity of ethanol extracts of Euphorbiaceae plants and constituents from Euphorbia fischeriana to *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood. J Entomol Zool Stud. 2014;2(4):311-7.
16. Olabiyi TI, Oyedunmade EEA, Ibikunle GJ, Ojo OA. Chemical composition and bio-nematicidal potential of some weeds extracts on *Meloidogyne incognita* under laboratory conditions. J Plant Sci Res. 2008;1(2):30-5.
17. Ononuju CC, Nzenwa PO. Nematicidal effects of some plants extracts on egg hatchability and control of *Meloidogyne* spp. in cowpea (*Vigna unguiculata (L.) Walp*.). Afr J Plant Sci. 2011;5(3):176-82.
18. Giraldeli AL, San Gregorio JPR, Monquero PA, Aguillera MM, Ribeiro NM. Weeds hosts of nematodes in sugarcane culture. Rev Bras Ciênc Plantas Daninhas. 2017;35.
19. Cares JE. Nematoides. In: Moreira FMS, Cares JE, Zanetti R, Stumer SL, editores. O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal. Lavras: Editora UFLA; 2013. p.223-53.
20. Koenning SR, Grooters AM, Yeates GW. Nematodes as suppressors and facilitators of plant performance. New Phytol. 2023;237(1):55-72. doi:10.1111/nph.18925.
21. Lopes EA, Ferraz S. Importância dos fitonematoides na agricultura. In: Oliveira CMG, Santos MA, Castro LHS, editores. Diagnose de Fitonematoides. Campinas: Millennium Editora; 2016. p.1-13.
22. Barker KR, et al. Global economic impact of plant-parasitic nematodes: current estimates and management strategies. Sci Rep. 2023; 13:41466. doi:10.1038/s41598-023-41466-x.
23. Liu Q, et al. Economic losses caused by plant-parasitic nematodes in major crops worldwide: a 2023 assessment. Front Plant Sci. 2023; 14:1153562. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024013562. Acesso em: 13 set. 2025.
24. Sociedade Brasileira de Nematologia (SBN). Por ano, nematoides causam prejuízos de R$ 35 bilhões ao agronegócio nacional. Disponível em: https://www.fundacaomeridional.com.br/imprensa/por-ano--nematoides-causam-prejuizos-de-r--35-bilhoes-ao-agronegocio-nacional. Acesso em: 13 set. 2025.
25. Syngenta. Pesquisa inédita revela mapa de crescimento e danos econômicos causados por nematoides no Brasil. Disponível em: https://www.syngenta.com.br/press-release/institucional/pesquisa-inedita-revela-mapa-de-crescimento-e-danos-economicos-causados. Acesso em: 13 set. 2025.
26. Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Gabinete do Ministro. Portaria nº 82, de 12 de agosto de 2016. Define as pragas de maior risco fitossanitário nas principais culturas agrícolas nacionais. Diário Oficial da União. Brasília (DF); 2016 ago 15. p.1.
27. Gonsaga RF, Pollo AS, Nascimento DD, Ferreira RJ, Braz LT, Soares PLM. First report of root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*, infecting hops, Humulus lupulus, in São Paulo, Brazil. J Nematol. 2021;53:e2021-08. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/350948691. Acesso em: 13 set. 2025.

28. Sikandar A, Shah SA, Khan MI, et al. Tackling the plant parasitic nematode *Meloidogyne enterolobii*. 2023. Disponível em https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1175561/1/Tackling-the-plant-parasitic-nematode.pdf. Acesso em: 13 set. 2025.
29. Hunt DJ, Handoo ZA. Taxonomy, identification and principal species. In: Perry RN, Moens M, Starr JL, editores. Root-Knot Nematodes. Cambridge: CABI International; 2009. p.55-97.
30. Castagnone-Sereno P. *Meloidogyne incognita*. In: Jeppson LR, Hunt DJ, Berry RE, editores. Root-knot nematodes. New York: Academic Press; 2002. p.1-30.
31. Jepson SB. Root-knot nematodes. 2nd ed. London: H.M. Stationery Office; 1987. 318 p.
32. Holterman M, Elling A, et al. *Meloidogyne enterolobii*. In: Holterman M, Elling A, et al., editors. Root-knot nematodes. Wallingford: CABI; 2012. p. 1-20.
33. Ferraz LCCB. Nematoides. In: Amorim L, Bergamin Filho A, Rezende JAM, editores. Manual de Fitopatologia. 5. ed. Ouro Fino: Agronômica Ceres; 2018. v. 1, cap. 13, p. 195-211.
34. García AL, Rivera LE, et al. Life cycle of *Meloidogyne javanica* in vegetable crops under greenhouse conditions. Eur J Plant Pathol. 2023. Available from: https://link.springer.com/article/10.1007/s10658-023-02741-9
35. Springer. *Meloidogyne incognita* biology and management strategies. 2023. Available from: https://link.springer.com/article/10.1007/s10658-023-02741-9
36. ResearchGate. Complete life cycle of root-knot nematode Meloidogyne spp. 2023. Available from: https://www.researchgate.net/figure/Complete-life-cycle-of-root-knot-nematode-10_fig1_344327958. Acesso em: 13 set. 2025.
37. Mkandawire TT, Grencis RK, Berriman M, Duque-Correa MA. Hatching of parasitic nematode eggs: a crucial step determining infection. Trends Parasitol. 2022;38(2):174–87. doi:10.1016/j.pt.2021.08.008.
38. Pulavarty A, Egan A, Karpinska A, Horgan K, Kakouli-Duarte T. Plant parasitic nematodes: behaviour, host interaction, management approaches and occurrence in Ireland. Plants. 2021;10(11):2352. doi:10.3390/plants10112352.
39. Sikandar A, Jia L, Wu H, Yang S. *Meloidogyne enterolobii* risk to agriculture, status and management prospects. Front Plant Sci. 2023; 13:1093657. doi:10.3389/fpls.2022.1093657.
40. López KJA, Ribeiro DG, Chiapinotto DM, Gomes CB, Agostinetto D, Araújo Filho JV. Host suitability of weeds to *Meloidogyne ottersoni* and *M. graminicola*. Cienc Rural. 2025;55(6):e20240269.
41. Carneiro RMDG, Monteiro JMS, Silva UC, Gomes G. Gênero *Meloidogyne*: diagnose através de eletroforese de isoenzimas e marcadores SCAR. In: Oliveira CMG, Santos MA, Castro LHS, editores. Diagnose de Fitonematoides. Campinas: Millennium; 2016. p. 47-70.
42. Eisenback JD, Triantaphyllou HH. Root-knot nematode: *Meloidogyne* species and races. In: Nickle WR, editor. Manual of Agriculture Nematology. New York: Marcel Dekker; 1991. p. 191-274.
43. Silva JGP, Furlanetto C, Almeida MRA, Rocha DB, Mattos VS, Correa VR, Carneiro RMDG. Occurrence of *Meloidogyne* spp. in Cerrado vegetations and reaction of native plants to *M. javanica*. J Phytopathol. 2014; 162:449-55.
44. Castro JMC, Lima RD, Carneiro RMDG. Variabilidade isoenzimática de populações de *Meloidogyne* spp. provenientes de regiões brasileiras produtoras de soja. Nematol Bras. 2003; 27:1-12.

45. Cofcewicz ET, Carneiro RMDG, Castagnone-Sereno P, Quénéhervé P. Enzyme phenotype and genetic diversity of root-knot nematodes parasitizing Musa in Brazil. Nematology. 2004;6(1):85-95.
46. Bogale M, Baniya A, DiGennaro P. Nematode identification techniques and recent advances. Plants. 2020;9(10):1260. doi:10.3390/plants9101260.
47. Shao H, Zhang P, Peng D, Huang W, Kong LA, Li C, et al. Advances in the identification of plant nematode diseases: from lab assays to in-field diagnostics. Front Plant Sci. 2023; 14:1106784. doi:10.3389/fpls.2023.1106784.
48. Abd-Elgawad MMM, De Luca F, Askary TH. Editorial: Nematodes: an integrated pest management approach. Front Plant Sci. 2024 Jan 10. doi:10.3389/fpls.2023.1355670.
49. Faulkner LR. A sanitation program for nematode control. Potato Research Station; 1964. Available from: https://www.nwpotatoresearch.com/images/documents/Dr.L.R.Faulkner1964.pdf. Acesso em: 13 set. 2025.
50. United States Department of Agriculture (USDA). Golden Nematode Program Manual. 2024. Available from: https://www.aphis.usda.gov/sites/default/files/gnpm.pdf. Acesso em: 13 set. 2025.
51. PMC. Management strategies for plant-parasitic nematodes. 2023. Available from: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11091314/
52. Rudolph RE, et al. Effects of soil solarization and grafting on tomato yield and root-knot nematode management. HortScience. 2023;58(11):1443–50. Available from: https://journals.ashs.org/downloadpdf/view/journals/hortsci/58/11/article-p1443.pdf. Acesso em: 13 set. 2025.
53. Schwarz T, et al. Evaluation of weed species for host status to *Meloidogyne* spp. Agronomy. 2024. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11033719/. Acesso em: 13 set. 2025.
54. Pei Y, et al. Weed Solanum nigrum L. increases populations of *Meloidogyne enterolobii*. Agronomy. 2024; 14:129. Available from: https://www.mdpi.com/2073-4395/14/1/129. Acesso em: 13 set. 2025.
55. Sikandar A, et al. *Meloidogyne enterolobii* risk to agriculture: status and prospects. Front Plant Sci. 2023. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9902769/. Acesso em: 13 set. 2025.
56. Katan J. Solar heating (solarization) of soil control of soilborne pests. Annu Rev Phytopathol. 1981; 19:211-36.
57. Eddaoudi M, Ammati M. Soil solarization and resistant tomato on *Meloidogyne javanica* in Morocco. Afro-Asian J Nematol. 1995; 5:28-33.
58. Stapleton JJ, Quick J, DeVay JE. Soil solarization: effect on soil properties, crop fertilization, and plant growth. Soil Biol Biochem. 1985;17(3):369-73.
59. Bettiol W, Ghini R, Cunha MIB, Tratch R, Galvão JAH. Solarização do solo para controle do nematoide das galhas em quiabeiro. Hortic Bras. 1996;14(1):158-60.
60. Esfahani MN. Integration of solar-heating and soil-amendments for nematode control in cucumber fields. Pak J Plant Nematol. 2008; 26:97-106.
61. Ji Y. Review of biofumigation effects with plant materials. Pest Manag Sci. 2024. Available from: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/npp2.21. Acesso em: 13 set. 2025.

62. Waisen P, et al. Biofumigation effects of brassicaceous cover crops on soil-borne pathogens and plant-parasitic nematodes. Soil Biol Biochem. 2022. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1002016021600541. Acesso em: 13 set. 2025.
63. Eugui D, et al. Glucosinolates as an effective tool in plant-parasitic nematode management: mechanisms and applications. Biol Control. 2022. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139322001135. Acesso em: 13 set. 2025.
64. Castelló I, et al. Enhancing the effects of solarization-based approaches to control soil-borne pathogens. Soil Tillage Res. 2024. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666154324003922. Acesso em: 13 set. 2025.
65. Mushtaq S, et al. Manejo de nematoides parasitas de plantas usando plantas antagonistas como um possível substituto para o controle químico perigoso – uma revisão. Int J Pest Manag. 2024. doi:10.1080/09670874.2024.2399069
66. Eugui D, et al. Glucosinolatos como uma ferramenta eficaz no controle de nematoides parasitas de plantas: Explorando as defesas naturais das plantas. Appl Soil Ecol. 2022. doi:10.1016/j.apsoil.2022.104497
67. Zhang H, et al. A rotação de culturas de cobertura suprime a infecção por nematoides das galhas ao moldar a microbiota do solo. New Phytol. 2024. doi:10.1111/nph.20220
68. Garba I, et al. Os tipos funcionais de culturas de cobertura alteram a composição e a estrutura da comunidade de nematoides do solo em rotações de culturas de sequeiro-pousio. Appl Soil Ecol. 2024. doi:10.1016/j.apsoil.2023.105196
69. Charchar JM, Gonzaga V, Vieira JV, Oliveira VR, Moirta AW, Aragão FAS. Efeito da rotação de culturas no controle de *Meloidogyne* spp. em cenoura na região Norte do Estado de Minas Gerais. Nematol Bras. 2007;31(3):173-9.
70. Oka Y. Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments – A review. Appl Soil Ecol. 2010;44(2):101-15.
71. Ferraz S, et al. Manejo sustentável de fitonematoides. Viçosa: Editora UFV; 2010. 306 p.
72. Yadav H, et al. Combatendo nematoides das galhas (*Meloidogyne* spp.): Dos mecanismos moleculares às culturas resistentes. Plants. 2025;14. doi:10.3390/plants14091321
73. Abd-Elgawad M, et al. Compreendendo as interações moleculares entre plantas e nematoides para desenvolver abordagens alternativas para o controle de nematoides. Plants. 2022;11. doi:10.3390/plants11162141
74. Watts VM. The use of Lycopersicon peruvianum as a source nematode resistance in tomato. Proc Am Soc Hortic Sci. 1947; 49:233-4.
75. Ammati M, Thomason IJ, McKinney HE. Retention of resistance to *Meloidogyne incognita* in Lycopersicon genotypes at high soil temperature. J Nematol. 1986;18(4):491-5.
76. Philbrick A, et al. *Meloidogyne enterolobii*, uma grande ameaça à produção de tomate: situação atual e perspectivas futuras para seu manejo. Front Plant Sci. 2020;11. doi:10.3389/fpls.2020.606395
77. Rahman MU, et al. Aplicação de fungos como estratégias de controle biológico para o manejo de nematoides em culturas hortícolas. Pesqui Fitopatol. 2024. doi:10.1186/s42483-024-00257-6

78. Abd-Elgawad MMM. Biological control agents of plant-parasitic nematodes. Egypt J Biol Pest Control. 2016;26(2):423-9.
79. Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Agrofit. 2019. Available from: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/agrofit. Acesso em: 13 set. 2025.
80. Opdensteinen P, et al. Abordagens bioquímicas e nanotecnológicas para combater nematoides fitoparasitários. Plant Biotechnol J. 2024; 22:2444-60. doi:10.1111/pbi.14359.
81. Pang Z, et al. Relacionando metabólitos secundários de plantas e microbiomas de plantas: uma revisão. Front Plant Sci. 2021;12. doi:10.3389/fpls.2021.621276
82. Chitwood DJ. Phytochemical based strategies for nematode control. Annu Rev Phytopathol. 2002; 40:221-49.
83. Baldin ELL, Wilcken SRS, Pannuti LER, Schlick-Souza EC, Vanzei FP. Uso de extratos vegetais, manipueira e nematicida no controle do nematoide das galhas em cenoura. Summa Phytopathol. 2012;38(1):36-41.
84. Kumar N, et al. Uma visão sobre as propriedades dietéticas e nutracêuticas de uma leguminosa subutilizada: *Mucuna pruriens* (L.) DC. J Food Compos Anal. 2024. doi:10.1016/j.jfca.2024.106095
85. Barcelos FF. Isolamento e avaliação da atividade nematicida de constituintes químicos de *Mucuna aterrima* [dissertação]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 1997. 93 f.
86. Franzener G, Martinez-Franzener AS, Stangarlin JR, Furlanetto C, Schwan-Estrada KRF. Proteção de tomateiro a *Meloidogyne incognita* pelo extrato aquoso de *Tagetes patula*. Nematologia Brasileira. 2007; 31(1):27-37.
87. Sowmya R, et al. Influência da adubação verde de verão na população de nematoides do solo no sistema de cultivo de arroz e trigo. Indian J Nematol. 2021. doi:10.5958/0974-4444.2021.00001.9
88. Scupinari T, et al. Efeitos do extrato de Crotalaria spectabilis nos nematóides da soja *Meloidogyne javanica* e *Heterodera glycines*. Eur J Plant Pathol. 2024. doi:10.1007/s10658-024-02821-4
89. Fassuliotis G, Skucas GP. The effect of pyrrolizidine alkaloid ester and plants containing pyrrolizidine on *Meloidogyne incognita* acrita. J Nematol. 1969;1(4):287-8.
90. Wylie M, Merrell D. O potencial antimicrobiano da árvore de neem *Azadirachta indica*. Front Pharmacol. 2022;13. doi:10.3389/fphar.2022.891535
91. Li J, et al. Uma sequência do genoma em escala cromossômica do capim sudão (*Sorghum sudanense*) destaca a evolução do genoma e a regulação da biossíntese da dhurrina. Theor Appl Genet. 2023; 136:1-12. doi:10.1007/s00122-023-04262-9
92. Widmer TL, Abawi GS. Mechanism of suppression of *Meloidogyne hapla* and its damage by a green manure of sudan grass. Plant Dis. 2000; 84(5):562-8.
93. Scheffer F, Kickuth R, Visser JH. Die Wurzelausscheidugen von Eragrotis curvula, Nees und ihr Einfluss auf Wurzelknoten-Nematoden. Z Pflanzenernähr Bodenk. 1962;98(2):114-20.
94. Brito JA, Ferraz S. Seleção de gramíneas antagonistas a *Meloidogyne javanica*. Nematol Bras. 1987; 11:260-9.
95. Negrelle RRB, Gomes EC. *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf: chemical composition and biological activities. Rev Bras Pl Med. 2007;9(1):80-92.
96. Estelle C, Patrice A, Ben K, Diallo H. Avaliação in vitro de extratos aquosos de mamona (*Ricinus communis*) contra nematoides das galhas (gênero *Meloidogyne*)

que infectam o tomateiro. Int J Phytopathol. 2023. doi:10.33687/phytopath.012.02.4646

97. Mayton HS, Claudia O, Vaughn SF, Loria R. Correlation of fungicidal activity of Brassica species with allyl isotiocianato production in macerated leaf tissue. Phytopathology. 1996;86(3):267-71.
98. Chekanai V, Neilson R, Roberts D, Edwards S, Back M. Eficácia nematicida in vitro de isotiocianatos derivados de brássicas contra o nematoide das lesões radiculares, *Pratylenchus penetrans*. Nematology. 2024. doi:10.1163/15685411-bja10347
99. Szűcs Z, et al. Atividade antifúngica de nitrilas derivadas de glucosinolatos e sua atividade sinérgica com isotiocianatos derivados de glucosinolatos distinguem vários táxons de endófitos de *Brassicaceae* e fungos do solo. Plants. 2023;12. doi:10.3390/plants12142741
100. Neves WS, Freitas LG, Coutinho MM, Dallemole-Giaretta R, Ferraz S. Uso de sementes de mamão e solarização do solo no controle de *Meloidogyne javanica* e *Meloidogyne incognita*. Nematol Bras. 2008;32(4):253-9.
101. Ferreira R, et al. Triagem química e atividade nematicida de óleos essenciais de plantas da Macaronésia e do Mediterrâneo para o controle de nematoides fitoparasitas. Plants. 2025; 14:30337. doi:10.3390/plants14030337.
102. Amora DX, Podestá GS, Grupioni PHF, Nasu EGC, Figueiredo LD, Ferreira FC, et al. Effect of essential oils on the root-knot nematode management. Rev Agri-Environ Sci. 2017;3(1):15-23.
103. Mioranza TM, Muller MA, Inagaki AM, Fuchs F, Coltro-Roncato S, Stangarlin JR, et al. Potencial nematicida e nematostático do extrato de *Curcuma longa* sobre *Meloidogyne incognita*. Rev Ciênc Agroambientais. 2016;14(1):104-9.
104. Olabiyi TI, Oyedunmade EEA, Ibikunle GJ, Ojo OA. Chemical composition and bio-nematicidal potential of some weeds extracts on *Meloidogyne incognita* under laboratory conditions. J Plant Sci Res. 2008;1(2):30-5.
105. Horn JW, van Ee BW, Morawetz JJ, Riina RG, Steinmann VW, Berry PE, et al. Phylogenetics and evolution of major structural characters in the giant genus *Euphorbia* L. (Euphorbiaceae). Mol Phylogenet Evol. 2012;63(2):305-26.
106. Govaerts R, Frodin DG, Radcliffe-Smith A. World checklist and bibliography of Euphorbiaceae (and Pandaceae). Vol. 2. Chicago: Royal Botanical Gardens – Kew; 2000. 1661 p.
107. Liu XC, Zhou L, Liu ZL. Evaluation of nematicidal activity of ethanol extracts of Euphorbiaceae plants and constituents from *Euphorbia fischeriana* to *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood. J Entomol Zool Stud. 2014;2(4):311-7.

Capítulo 37

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-37

UTILIZAÇÃO DE SUBPRODUTOS COMO INGREDIENTES FUNCIONAIS NA FORMULAÇÃO DE NOVOS PRODUTOS NA ÁREA DA PANIFICAÇÃO: UMA REVISÃO

Iorrana Luísa de Almeida; Adriele Vaz da Silva; Suzane Martins Ferreira

* Iorrana Luísa de Almeida *(Corresponding author) – Email: iorrana.almeida@estudante.ifgoiano.edu.br*

Resumo: Este trabalho apresenta uma revisão sobre a utilização de subprodutos como ingredientes funcionais na panificação, destacando sua importância tanto no combate ao desperdício de alimentos quanto na inovação de produtos. Foram identificados resultados expressivos nos trabalhos avaliados: a farinha de melão apresentou composição com proteínas variando entre 7,13% e 10,70%, lipídios entre 4,97% e 5,40% e elevado teor de potássio (63,82% a 78,16%), além de aumentar fibras e proteínas em bolos elaborados com 25% a 50% de substituição da farinha de trigo, que obtiveram alta aceitação sensorial. Já a farinha de sementes de uva se destacou pelo elevado teor de compostos fenólicos (1352 mg de ácido gálico/100 g) e fibras (15% a 25%), promovendo aumento da fermentação em até 2 vezes em relação à farinha de trigo convencional. A farinha de casca de banana incrementou o teor de fibras em bolos em até 12% e apresentou boa aceitação sensorial, enquanto cookies enriquecidos com farinha de casca de laranja atingiram índices de aceitação superiores a 80% e aumentaram minerais como cálcio e potássio. Outros estudos mostraram que biscoitos com farinha da casca de banana vermelha atingiram nota média de 6,89 na escala hedônica (5% de substituição) e que pães elaborados com farinha de semente de jaca em até 25% apresentaram bom valor nutricional e aceitação positiva. Além disso, a adição de 5 a 10% de soro de leite em pó a pães aumentou o volume e elevou as notas sensoriais para 4,5 a 4,9 (em escala de 5 pontos). Dessa forma, os resultados apontam que a incorporação de subprodutos na panificação contribui para o enriquecimento nutricional, melhora da textura e cor, eleva a fermentação e, em geral, apresenta boa aceitação pelo consumidor, configurando-se como alternativa promissora para o desenvolvimento de produtos sustentáveis e de maior valor agregado.
Palavras-chave: Aproveitamento integral; fibras alimentares; nutrição; processamento de alimentos; produtos panificados.

INTRODUÇÃO

O desperdício de alimentos constitui-se em um dos principais desafios globais da atualidade, com impactos significativos nos âmbitos ambiental, social e econômico. De acordo com o Índice de Desperdício de Alimentos 2024, elaborado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, foram geradas aproximadamente 1,05 bilhão de toneladas de resíduos alimentares em 2022, o que equivale a cerca de 132 kg por pessoa e a quase 20 % dos alimentos disponibilizados aos consumidores (1).

A distinção entre perdas de alimentos e desperdício é essencial para o entendimento integrado da sustentabilidade alimentar no Brasil. As perdas ocorrem nas etapas de

produção, armazenamento, embalagem e transporte, enquanto o desperdício se manifesta no varejo e no consumo (2).

A redução dessas perdas e desperdícios não apenas contribui para a segurança alimentar e nutricional, bem como abre espaço para a criação de novas oportunidades de negócios. O estímulo às iniciativas públicas e privadas, por meio de políticas bem formuladas, pode acelerar a adoção da economia circular por meio da inovação tecnológica e, assim, fortalecer o desenvolvimento econômico do país (2).

A farinha de trigo durante muitos anos, tem sido um ingrediente essencial na panificação, fornecendo estrutura e textura aos produtos. Com o crescente foco dos consumidores em saúde e nutrição, há uma demanda por farinhas alternativas que ofereçam melhor valor nutricional. Opções como farinha de chia, farinha de amêndoa e misturas de grãos ancestrais fornecem mais fibras, proteínas de origem vegetal e nutrientes essenciais, enquanto formulações à base de arroz são populares em dietas sem glúten. Essa mudança está impulsionando novas tendências na indústria da panificação, com fabricantes desenvolvendo produtos ricos em fibras, proteínas, sem glúten e com baixo teor de carboidratos para atender às demandas do mercado em evolução (3).

O Brasil ocupa posição de destaque mundial na produção de alimentos, mas enfrenta um elevado índice de perdas ao longo da cadeia produtiva. Esse desperdício não apenas compromete a segurança alimentar e nutricional, como também gera impactos ambientais significativos. Nesse contexto, a produção de farinhas alternativas, obtidas a partir de partes de vegetais que seriam descartadas, surge como uma estratégia sustentável e funcional. Tais farinhas apresentam elevado teor de fibras e minerais, o que contribui para a elaboração de produtos enriquecidos, como pães, massas e barras de cereais. Além de ampliar o valor nutricional, sua utilização possibilita a redução do desperdício e a diversificação de matérias-primas, oferecendo alternativas para a substituição total ou parcial da farinha de trigo, conforme as exigências tecnológicas e sensoriais de cada produto (4).

1.1 Principais subprodutos utilizados na panificação

O estudo de Moin et al. (5) investigou biscoitos produzidos com farinha composta de trigo e milheto, enriquecidos com Moringa oleifera e chá verde. A análise sensorial mostrou boa aceitação para os biscoitos com moringa e milheto, enquanto os com chá verde tiveram menor preferência devido ao sabor amargo e maior umidade. Mais da metade dos consumidores demonstrou interesse nos produtos com moringa (53,5%) e milheto (57,5%), evidenciando o potencial desses ingredientes na formulação de alimentos funcionais e no combate à insegurança alimentar.

O inhame (*Dioscorea spp.*) é um tubérculo rico em carboidratos, fibras, amido, proteínas, lipídios, vitaminas e minerais, configurando-se como um alimento de alto valor nutricional. Apesar do seu potencial, ele é bem pouco explorado pela indústria, e embora tenha usos tradicionais como cozido, frito, em ensopados, chips e farinha. A farinha de inhame apresenta propriedades químicas, estruturais e térmicas relevantes, podendo ser analisada por técnicas como MEV (Microscopia de varredura), DRX (Difração de raios) e análises térmicas. Suas características reológicas e de formação de pasta são essenciais para o desenvolvimento de novos produtos, agregando valor a esse alimento de importância nutricional, cultural e econômica (6).

O melão possui aroma agradável, cor atrativa e alto teor de açúcares, mas vida útil curta devido ao alto teor de água e baixa acidez, favorecendo a deterioração. A conversão em farinha aumenta a conservação, reduzindo a atividade de água e inibindo microrganismos. A secagem em temperaturas amenas (50–60 °C) preserva compostos

bioativos, como carotenoides, vitaminas e polifenóis, tornando a farinha de melão um ingrediente funcional capaz de enriquecer nutricionalmente produtos alimentícios (7).

As farinhas de melão (*Cantaloupe, Charentais e Honey Dew)* apresentaram boa composição nutricional, com destaque para proteínas (7,13% a 10,70), lipídios (5,40% a 4,97%) e potássio (78,16% a 63,82%), além de propriedades tecnológicas que favorecem sua aplicação em produtos alimentícios. Na panificação, bolos elaborados com substituição parcial da farinha de trigo por farinha de melão (25 e 50%) mostraram aumento de fibras, proteínas e lipídios, ausência de contaminação microbiológica e alta aceitação sensorial, indicando grande potencial para uso como ingrediente alternativo em produtos de panificação (7).

O experimento avaliou o impacto das farinhas de sementes de uva, sementes de corniso, linhaça e trigo-sarraceno verde sobre a atividade enzimática das leveduras de panificação, com foco nos compostos fenólicos presentes nesses ingredientes. A análise demonstrou que a adição dessas farinhas promoveu um aumento significativo da fermentação, de 1,5 a 2 vezes em comparação à farinha de trigo branca. Esse efeito positivo é atribuído à riqueza dessas farinhas em antioxidantes, que podem estimular a atividade das leveduras e favorecer o processo fermentativo. Esses resultados sugerem que a inclusão de farinhas funcionais na panificação não apenas contribui para a melhoria nutricional dos produtos, mas também pode potencializar o desempenho tecnológico das leveduras, abrindo possibilidades para a formulação de produtos mais saudáveis e funcionais (8).

A utilização de partes não convencionais dos alimentos vem sendo explorada em diferentes pesquisas, revelando seu potencial na área da panificação. Entre os exemplos, destacam-se bolos elaborados com casca de banana, de fácil preparo, baixo custo e boa aceitação sensorial (9), e biscoitos tipo cookies com farinha de casca de laranja, que além de atender à legislação, apresentaram enriquecimento em minerais como cálcio e potássio e boa aceitação sensorial, especialmente nas formulações com 10% (Índice de aceitabilidade = 85,3%) e 20% (Índice de aceitabilidade = 89,9%) de substituição da farinha de trigo (9).

A incorporação de resíduos vegetais na formulação de pães mostra-se uma alternativa sustentável e viável, reduzindo desperdícios e agregando valor nutricional aos produtos. Os estudos analisados demonstram que farinhas provenientes de frutos, raízes, verduras, legumes e cereais podem resultar em produtos com características físicas, químicas e sensoriais favoráveis, atendendo às demandas da indústria e dos consumidores.

1.2 Impactos nutricionais e funcionais nos produtos de panificação

Segundo Svetlana *et.al* (8) a farinha de sementes de uva apresenta elevado teor de compostos fenólicos e flavonoides, destacando-se com 1352 mg de ácido gálico/100 g e 227 mg de rutina/100 g, enquanto a farinha de trigo sarraceno verde apresentou os menores teores, com 350 mg de ácido gálico/100 g e 109 mg de rutina/100 g. A incorporação dessas farinhas no fermento de pão promoveu aumento significativo da atividade fermentativa, refletido na liberação de dióxido de carbono entre 1,5 e 2 vezes superior à amostra controle, sendo a farinha de sementes de uva a que gerou maior produção de CO_2. Estudos indicam que os compostos fenólicos individuais, em especial a rutina, favorecem a fermentação, encurtando a fase de latência e prolongando a fase logarítmica, com maior intensidade nos primeiros 1,5 a 2 horas de processo.

Uma alternativa promissora é a utilização de farinhas de trigo sarraceno verde, uva, linhaça e sementes de corniso na panificação. Como os compostos fenólicos presentes não prejudicam a fermentação da levedura, essas farinhas podem fornecer bioativos que

contribuem para prolongar a conservação dos produtos. Além disso, a ingestão desses compostos na dieta humana está associada a benefícios à saúde (10).

A mucilagem da Ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata*) vem sendo estudada como ingrediente funcional em diferentes alimentos, como pães, derivados lácteos e sorvetes, por melhorar o teor proteico e algumas propriedades tecnológicas. No Brasil, porém, ainda existem poucos estudos sobre seus compostos bioativos. Por isso, é importante investigar melhor sua composição química e efeitos biológicos, já que esses compostos, principalmente os fenólicos, têm ação antioxidante e podem ajudar a reduzir o estresse oxidativo, ligado ao envelhecimento precoce e a várias doenças crônicas (11).

A substituição parcial ou total da farinha de trigo por farinhas alternativas em produtos alimentícios configura-se como uma estratégia de elevada relevância na atualidade, sendo a farinha de cacto uma opção promissora devido à sua composição rica nutricionalmente. Tal substituição pode contribuir para o desenvolvimento de formulações inovadoras (12).

De modo geral, os cactos, e consequentemente as farinhas deles derivadas, apresentam elevados teores de minerais, fibras alimentares totais e compostos fenólicos, aliados a baixos teores de lipídios. Nesse sentido, a utilização de farinhas obtidas de diferentes espécies de cactos, como *Pilosocereus gounellei, Opuntia ficus-indica L., Opuntia monacantha e Opuntia macrorhiza Engelm.*, pode representar uma alternativa tecnológica relevante para a melhoria das propriedades nutricionais e bioativas de novos produtos alimentícios. Estudos têm demonstrado resultados promissores em aplicações práticas, incluindo a elaboração de biscoitos (12).

1.3 Aspectos tecnológicos e sensoriais

Os subprodutos provenientes de frutas, hortaliças, alimentos de origem animal, lácteos e outros segmentos agroindustriais apresentam elevado potencial tecnológico. Esses resíduos ou matérias-primas secundárias podem ser aproveitados por meio de diferentes processos de transformação, resultando em cosméticos, fármacos, alimentos funcionais e diversos biomateriais de alto valor agregado (13).

A farinha obtida a partir de sementes de jaca pode ser incorporada com êxito à farinha de trigo, em proporções de até 25%, para a elaboração de produtos de panificação, embora afete as qualidades sensoriais, resulta em pães com excelente aceitação do publico no geral e maior valor nutricional em termos de carboidratos, gorduras, fibra bruta e proteínas em comparação com o pão de trigo integral. De acordo com as análises sensoriais feitas, um pão achatado feito com farinha composta (farinha de trigo e farinha de semente de jaca, em proporção de 75:25) é o mais apropriado e com melhor aceitação (14).

As farinhas obtidas a partir de frutas do Cerrado e de seus subprodutos apresentam boa aceitabilidade sensorial, além de expressivo potencial de mercado. Um exemplo disso são as barras alimentícias formuladas com diferentes concentrações de farinha de polpa de marolo (20, 30, 40 e 50%), cuja aceitação sensorial aumentou proporcionalmente ao incremento da farinha de fruta. Contudo, no caso de matérias-primas com características sensoriais mais marcantes, como o pequi, a utilização deve ser realizada com cautela. Estudos demonstraram que brownies elaborados com elevadas proporções de farinha da casca de pequi não foram bem recebidas, pois apresentaram baixa aceitação sensorial e reduzida intenção de compra de mercado (15).

Para análise sensorial da maioria dos alimentos foi utilizada a escala hedônica e com ela foi possível afirmar que a comercialização de qualquer produto oriundo da panificação sendo produzidos a partir de resíduos, subprodutos, ou partes não convencionais dos

alimentos, pode ser bem vista, uma vez que a maioria dos resultados apresentam boa aceitação desses novos produtos. Um bom exemplo disso são os biscoitos com RBPP casca de banana vermelha (*Musa acuminata*) em pó, que apresentaram a maior preferência média registrada com 6,89, para biscoitos com 5% de RBPP, e em seguida 6,84 para biscoitos com 10% de RBPP. Tendo diferença significativamente do controle 5,7 (16).

Romero, Siche & Rombald (2025) mostraram que pães e biscoitos elaborados a partir da junção de derivados da casca de *H. Polyrhizus* (pitaia de polpa vermelha), apresentaram efeitos benéficos nesses produtos. Por exemplo, extratos de betacianina purificada a 2% inibiram a formação de produtos finais de glicação avançada (AGEs) em crostas de pão expostas a altas temperaturas, melhorando a cor. Da mesma forma, a adição de 3 a 4% de pó da casca de *H. Polyrhizus* a pães e biscoitos chineses cozidos no vapor melhorou seus perfis sensoriais e nutricionais (17).

Aplicações gerais em bases alimentares revela que a liofilização, a secagem por ar quente e a secagem a vácuo permitiram a produção de farinhas a partir da casca da pitaia, retendo compostos bioativos como fibra alimentar, compostos fenólicos e betaínas (17).

Novos cereais matinais foram desenvolvidos a partir da massa de farinha de maçã e subprodutos de cereais. As formulações de farinha de maçã foram caracterizadas com termos sensoriais mais atrativos, sugerindo que a adição de uma quantidade significativa dessa farinha pode melhorar o perfil de sabores de cereais matinais ricos em fibras (18).

Biscoitos produzidos a partir de pó de azeitona tiveram boa avaliação, destacando-se os biscoitos feitos com pó de azeitona sem caroço. Demonstrou-se que 75% dos provadores gostaram de sua aparência geral e sabor. A incorporação desse pó em biscoitos, constatou valor nutricional semelhante ao dos produtos comerciais. (19) Oliveira, 2018, produziu biscoitos sem glúten utilizando as farinhas do caroço de abacate, casca de abacaxi e casca de banana a partir de subprodutos agroindustriais. A formulação 7 onde se utilizou as três farinhas na proporção de 33,33% cada, sensorialmente foi uma das que apresentou as melhores médias para os atributos analisados (20).

Silva (2021), desenvolveu biscoitos tipo cookie utilizando a farinha das cascas de maracuja, maçã, limão, gengibre e talos de couve e hortelã, obtendo propriedades sensoriais acetáveis. Dentre as elaboradas, a formulação com 25% de farinha de resíduos vegetais, foi uma das mais aceitas em relação aos atributos de cor, aroma, sabor, textura, acidez e impressão global. Logo, revela-se o potencial de aproveitamento das cascas e talos juntamente com o desenvolvimento de alternativas alimentícias (21). Ademais, foram produzidos biscoitos tipo cookie, com implementação da farinha da semente de jaca. Os bicoitos contendo essa farinha com proporção de 50% (trigo e semente de jaca), em relação a intenção de compra, mostraram que 58% dos 50 julgadores comprariam esse produto, idependente de o sabor não ter sido o mais preferido no item (gostaram extremamente) em relação a cor, ainda seria uma opção de compra, obtendo uma aceitação positiva desse novo produto (22).

A implementação de soro de leite na panificação contribui para o desenvolvimento de produtos funcionais. Por exemplo, a adição de 10% de soro de leite ao pão branco, que demonstrou aumentar o volume do pão e melhorar as pontuações sensoriais nos testes de sabor, além do oferecimento de benefícios tecnológicos e sensoriais. Isso confirma que a incorporação de soro de leite em receitas de pães e doces facilita o desenvolvimento de produtos alimentícios sustentáveis e inovadores (23).

Foram produzidas quatro amostras de pão feitas com farinha de trigo e diferentes porcentagens de soro de leite em pó (5, 10 e 15%). As amostras de pão branco (PB) com adição de 5 a 10% de soro de leite obtiveram pontuações mais altas para todos os atributos

sensoriais analisados, com resultados variando de 4,50 a 4,90 na escala hedônica de 5 pontos (23).

CONCLUSÃO.

A utilização de subprodutos como a farinha composta de trigo e milheto, farinha de melão, farinha de sementes de uva, bolo de casca de banana e cookies da casca de laranja na panificação surgem como uma alternativa interessante, pois contribui para reduzir o desperdício de alimentos, diversificar as matérias-primas e melhorar o valor nutricional dos produtos. Pesquisas apontam que farinhas obtidas de frutas, sementes, tubérculos e até mesmo cactáceas possuem bons teores de fibras, minerais e compostos bioativos, além de ajudarem nos processos fermentativos dos produtos. Na parte sensorial, os estudos mostram que esses ingredientes costumam ser bem aceitos pelos consumidores, que enxergam nessas formulações uma versão mais saudável dos produtos tradicionais. Isso indica que, além dos benefícios nutricionais, esse tipo de inovação pode ter grande potencial comercial dentro do setor de panificação.

AGRADECIMENTOS

As autoras expressam seus agradecimentos ao Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos, pelo suporte oferecido, e à professora Suzane Martins, pela orientação, dedicação e pelas valiosas contribuições no desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

1. Nações Unidas Brasil. Índice de Desperdício de Alimentos 2024 [internet]. Brasília; 2024 [acesso em 2025 set 12]. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/264460-%C3%ADndice-de-desperd%C3%ADcio-de-alimentos-2024.
2. Brasil. Ministério da Agricultura e Pecuária. Perdas e desperdício de alimentos [internet]. Brasília; 2022 [acesso em 2025 set 12]. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/perdas-e-desperdicio-de-alimentos.
3. DPO International. Flours [internet]. Kuala Lumpur; 2024 [acesso em 2025 set 12]. Disponível em: https://dpointernational.com/food-industry-news/exclusive-articles/flours.
4. Sarinho AMM, Cavalcanti MS, Oliveira IM. Aproveitamento Integral dos Alimentos: Sustentabilidade e Utilização de Farinhas Modificadas. Rev. Cie. Multidisciplinar. 2021; v.2, n.10: 1-13.
5. Moin A, Zaid M, Moin M, Mariagiufrré A. Aceitação do consumidor e propriedades sensoriais do trigo e pó de folhas de *Camellia Sinensis.* Rev. Nutr Food Sci Jour; 2024; 12 (2) 683-695.
6. Argaw SG, Beyene TM, Woldemariam HW, Esho TB, Worku SA, Gebremeskel HM, et al. Caracterização Química, estrutural e técnico-funcional da farinha de inhame (*Dioscorea)* do sudoeste da Etiópia. [Internet]. 2024 [acesso em 2025 Set 12]. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024071792.

7. Medeiros LDG, Carvalho LBA, Freitas EPS, Porto DL, Aragão CFS, Júnior FCS et al. Farinhas alternativas de polpa de melão (*Cucumis* melo L.): influência da sazonalidade em parâmetros físicos, químicos, tecnológicos e utilização em produtos de panificação. [Internet]. 2024 [acesso em 2025 set 12]. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024056408.
8. Grinvald SA, Barakova NV, Kiprushkina EI, Jamaldinova BA, Ushaeva IU, Tochilnikov GV, et al. The effect of phenolic compounds contained in flour from green buckwheat, flaxseed, grape and dogwood seeds on the fermentation activity of yeast *S. Cerevisiae*. FFHD. 2024; 14(3): 207-218.
9. Bressiani J, Schwarz K, Gatti RR, Demário RL, Freire PLI. Desperdício Alimentar x Aproveitamento Integral de Alimentos: Elaboração de Bolo de Casca de Banana. UNICIÊNCIAS. 2017; 21(1): 39-44.
10. Rosolen MD, Bresciani L, Sprandel CL, Spader M, Klein AL, Wollmuth JOM. Biscoitos Tipo Cookies Desenvolvidos A Partir De Farinha de Casca de Laranja. Rev. D. A. L. 2018; 10(4): 8-17.
11. Ciríaco ACA, Mendes RM , Carvalho VS. Antioxidant activity and bioactive compounds in ora-pro-nóbis flour (*Pereskia aculeata Miller*). Braz. J. Food Technol. 2023; 26(54).
12. Martins ACS, Medeiros GKVV, Silva JYP, Viera VB, Barros PS, Lima MS. Propriedades físicas, nutricionais e bioativas da farinha de cladódio de mandacaru (Cereus jamacaru DC.): uma planta alimentícia não convencional do semiárido do nordeste brasileiro. Foods. 2022;11 (23):3814. Citado em Pubmed. PMID: 36496622.
13. Brigagão TCS, Fortes RR, Lourenço CO, Carvalho EEN, Cirillo MA, Nachtigall AM et al. Optimization of gluten-free muffins made with pineapple peel, banana peel, and pumpkin seed flours. J Food Process Preserv. 2021;45(37):1-10.
14. Fabil M, Dubey PK, ,Roy S, Sharma M. Jackfruit seed valorization: A comprehensive review of nutritional potential, value addition, and industrial applications. [Internet]. 2024; [acesso em 2025 set 3]. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2949824424001812.
15. Lopes IS, Silva LV, Gomes AR, Lopes FS, Prudêncio CV. Fruits of the Brazilian Cerrado: Possibilities of Uses for the Manufacture of Food Products. Braz. A. Biology and Technology. 2024; vol.67. e24230266.

16. Aravind SM, Mattshe RKS, Prasanna P, Saran SP, Dharanesh D, Kumar SR. Valorização e caracterização do pó da casca da banana vermelha *(Musa acuminata*) para o desenvolvimento de biscoitos funcionais. [Internet]. 2025. [acesso em 2025 set 3]. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2949824425001879.
17. Romero DAC , Siche R, Rombaldi CV. Casca de pitaya como ingrediente funcional: pectina, fenólicos, pigmentos e aplicações. [Internet]. 2025. [acesso em 2025 set 3]. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2949824425002484.
18. Santos D, Silva JAL , Pintado M. Extrusão de massa de farinhas de maçã e subprodutos de cereais: um caminho para cereais matinais mais saudáveis. [Internet]. 2025. [acesso em 2025 set 3]. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960308525001294.
19. Escobar SP, Fernández PR, López AF. Pó de azeitona de mesa como novo ingrediente funcional para produtos de panificação: biscoitos de trigo e azeitona. [Internet]. 2025. [acesso em 2025 set 3]. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878450X25001544.
20. Oliveira JF, Elaboração E Avaliação De Biscoitos Sem Glúten Com Farinha De Subprodutos De Frutas. [TCC]. Medianeira. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. 2018.
21. Silva SS, Elaboração e Caracterização de Farinha de Resíduos de Vegetais Para a Aplicação em Biscoitos Tipo *Cookie.* [TCC]. Imperatriz. Universidade Federal do Maranhão. 2021.
22. Pinheiro JCS, Brito JSP, Pereira SR, Freitas RF. Análise Físico-Química E Sensorial De Biscoito Cookies Produzido Com Farinha Da Semente De Jaca (*Artocarpus Heterophyllus).* Rev Biodiv. 2022; 21(2): 27-39.
23. Baltatu DF , Neagu C, Dossa S, Negrea M, Jianu C, Berbecea A. et al. O uso de soro de leite em pó para melhorar a qualidade do pão: uma solução sustentável para o aproveitamento de subprodutos lácteos. Foods. 2025. 14(16):2911. Citado em PubMed. PMID: 40870823.

Capítulo 38

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-38

POTENCIAL DE FARINHAS ALTERNATIVAS COM ALTO TEOR PROTEICO EM MASSAS ALIMENTÍCIAS - UMA REVISÃO

Laura Rocha Carvalho; Vitória Eduarda Malaquias; Vania Silva Carvalho; Suzane Martins Ferreira

**Vitória Eduarda Malaquias (Corresponding author) – Email: vitória.malaquias.estudante@ifgoiano.edu.br*

Resumo: O consumo de massas alimentícias é significativo em escala global, sendo um alimento acessível, versátil e de alta aceitação sensorial. No entanto, por serem tradicionalmente produzidas com farinha de trigo, apresentam composição nutricional caracterizada pelo elevado teor de carboidratos e baixo teor de proteínas e fibras. Diante da crescente demanda por alimentos mais saudáveis e funcionais, o uso de farinhas alternativas com alto teor proteico tem se mostrado uma estratégia promissora para o desenvolvimento de massas alimentícias com maior valor nutricional. Esta revisão reúne evidências científicas sobre o potencial de farinhas de leguminosas, cereais, PANC´s, raiz tuberosa e subprodutos agroindustriais ricos em proteínas para a elaboração de massas alimentícias enriquecidas. Estudos indicam que essas matérias-primas contribuem para o aumento do teor proteico, fornecimento de fibras alimentares e presença de compostos bioativos, além de apresentarem vantagens na formulação de produtos voltados para consumidores vegetarianos, veganos, flexitarianos e para consumidores com foco em aumento de massa magra, como atletas por exemplo. Entretanto, a incorporação de farinhas alternativas implica desafios tecnológicos, como alterações na textura, cor e sabor, exigindo ajustes de formulação, uso de aditivos como hidrocoloides e técnicas de processamento para garantir boa aceitação sensorial. Conclui-se que o desenvolvimento de massas alimentícias com alto teor proteico, utilizando farinhas alternativas, representa uma oportunidade de inovação para a indústria de alimentos, promovendo produtos mais nutritivos, diversificados e alinhados às tendências de saúde, sustentabilidade e valorização de ingredientes regionais.

Palavras–chave: Desenvolvimento de produtos; Glúten-free; Panificação; Proteínas; Tendências de consumo.

INTRODUÇÃO

As massas alimentícias são um dos produtos de consumo mundial, de fácil preparo e contribuem com o aporte calórico. O principal ingrediente destas é a farinha de trigo que é proibitivo para pessoas intolerantes ao glúten. Assim, buscar novas fontes vegetais, devem ser estudadas (1). Já o mercado de massas manteve sua importância, com um crescimento de 4,0% em valor, atingindo quase R$ 15 bilhões em 2024. Em volume também avançou 4,9%, com mais de 1,3 milhão de toneladas comercializadas. As massas secas apresentaram uma elevação em volume superior ao valor, influenciada por promoções e pela migração de consumidores das massas instantâneas. A frequência de compra foi afetada pelo preço mais acessível do arroz em 2024, enquanto massas frescas e instantâneas mantiveram uma trajetória de crescimento (2). São amplamente populares em todo o mundo e bem aceitas por causa de seus atributos sensoriais e baixo custo, geralmente ricas em carboidratos, porém

com escassez de proteínas, fibras alimentares e outros nutrientes (3), em sua maioria tendo a farinha de trigo como ingrediente, portanto contêm glúten.

No entanto, substituir o trigo apresenta desafios relacionados às propriedades reológicas conferidas pelo glúten. As farinhas derivadas de subprodutos agroindustriais são matérias-primas utilizadas em pesquisas por possuírem características que podem contribuir para o desenvolvimento de alimentos com qualidade nutricional e compostos bioativos (4, 5).

Devido ao alto consumo das massas alimentícias destaca-se a necessidade de alternativas que atendam a demanda crescente de alimentos par fins especiais, saudáveis, práticos e sustentáveis, principalmente para portadores de intolerância ao glúten. Esse público necessita de alimentos maior valor nutricional, sem afetar as características tecnológicas e minimizar o impacto na aceitação sensorial (6).

De acordo com Garcia (7) as proteínas de origem animal são compostas, em sua maioria, por água, proteínas e gorduras, enquanto as proteínas vegetais, além desses elementos, apresentam carboidratos simples e complexos, fibras, amido e óleos. Assim, o desenvolvimento de novos ingredientes proteicos demanda caracterização funcional e nutricional para viabilizar sua aplicação como análogos proteicos.

Pesquisadores da Embrapa, no Rio de Janeiro, desenvolveram ingredientes para produtos alimentícios à base de plantass que imitam textura, sabor e aparência de itens de origem animal. Atualmente, estudam feijão carioca, grão-de-bico e lentilha. Esses produtos, voltados para vegetarianos, veganos e flexitarianos, têm crescido rapidamente no mercado brasileiro, com um aumento anual de 11,1% nas vendas e previsão de crescimento de 40% ao ano até 2026 (8).

Esse processo envolve desafios técnicos e de formulação, mas é uma oportunidade de evolução na indústria de panificação, devido a novas tendências de consumo e às necessidades de saúde pública, principalmente no tratamento de doenças autoimunes. A doença celíaca (DC) é uma condição crónica autoimune que resulta de uma interação complexa entre o glúten, a predisposição genética do indivíduo e a resposta do seu sistema imunológico. É importante notar que, devido ao aumento dos casos de doença celíaca e intolerância ao glúten, a procura por produtos sem glúten tem crescido no mercado. Cada vez mais, observa-se um maior uso de farinhas alternativas, livres de glúten, que são ricas em compostos bioativos, visando melhorar a qualidade nutricional desses produtos (7, 9).

O aproveitamento integral dos alimentos não só enriquece a alimentação e agrega valor nutricional, ma também auxilia na redução de custos, promove a valorização de produtos regionais e oferece novas possibilidades tecnológicas para a indústria de alimentos (9).

Diante desse contexto e da relevância do desenvolvimento de alimentos voltados a indivíduos que não consomem glúten, esta revisão reúne evidências científicas sobre o potencial de farinhas alternativas farinhas de leguminosas, cereais, plantas alimentícias não-convencionais (PANC´s), raiz tuberosa e subprodutos agroindustriais ricos em proteínas para a elaboração de massas alimentícias enriquecidas.

Panorama do consumo e desenvolvimento de novos produtos com alto teor proteico

O consumo de alimentos com elevado teor proteico tem crescido de forma expressiva nos últimos anos, impulsionado por fatores que vão desde a busca por estilos de vida mais saudáveis até a necessidade de atender públicos específicos, como atletas, idosos e indivíduos com restrições alimentares. As proteínas, reconhecidas por seu papel essencial na manutenção e reparação de tecidos, na formação de anticorpos e hormônios, além de sua contribuição para a saciedade, têm sido valorizadas em produtos inovadores que unem

conveniência, funcionalidade e sabor (10). Abreu *et al*. (11) abordaram que os suplementos nutricionais podem desempenhar um papel complementar na otimização dos resultados da recomposição corporal. Suplementos como proteínas em pó, aminoácidos, creatina, pré-treinos e outros têm sido amplamente utilizados por praticantes de musculação para melhorar o desempenho, acelerar a recuperação e potencializar os ganhos de massa muscular magra.

Nesse contexto, observa-se um movimento crescente em direção à diversificação de fontes proteicas, sobretudo de origem vegetal. A redução do poder aquisitivo da população em paralelo ao aumento da prevalência de doenças relacionadas ao glúten tem impulsionado a demanda por produtos acessíveis, nutritivos e isentos dessa proteína. A utilização de farinhas alternativas provenientes de frutas, vegetais e subprodutos agroindustriais representa, portanto, uma estratégia viável para enriquecer produtos panificados, massas e *snacks*, ampliando seu valor nutricional e reduzindo o desperdício de matérias-primas (12).

Souza e Nunes (13) em um estudo experimental, com 40 homens entre 25-40 anos observaram que a ingestão de proteínas vegetais e seu impacto na recomposição corporal observaram um impacto positivo na recomposição corporal, com ênfase em fontes vegetais de proteína.

Estudos demonstram que leguminosas, como o grão-de-bico, apresentam alto teor de proteínas e fibras, além de possuírem boa digestibilidade e propriedades tecnológicas que favorecem sua aplicação em pães, bolos e massas alimentícias. A farinha obtida desse grão, por exemplo, pode atingir teores de até 24% de proteínas, dependendo do cultivar e das condições de processamento, revelando-se um ingrediente promissor para substituir parcialmente a farinha de trigo em formulações sem glúten (12).

Da mesma forma, massas sem glúten enriquecidas com proteínas de soja e albumina de ovo apresentaram melhorias nutricionais e tecnológicas, expandindo as possibilidades de consumo para pessoas com doença celíaca (6). Ainda no setor de panificação, a incorporação de farinhas funcionais, como a de berinjela, em biscoitos salgados, demonstrou aumento nos teores de fibras e proteínas, sem prejuízo da aceitação pelos consumidores (15).

O segmento de *snacks* e produtos prontos para consumo também tem acompanhado essa tendência. As barras de cereais funcionais enriquecidas com proteína texturizada de soja e gérmen de trigo, por exemplo, alcançam teores proteicos próximos a 15%, com boa aceitação sensorial e benefícios antioxidantes, evidenciando que a associação entre nutrição e prazer continua sendo determinante para o sucesso de mercado (16).

Além das leguminosas, as PANC´s, como a ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata*), tem ganhado destaque, por apresentar teores proteicos próximos a 28% em matéria seca, além de mucilagem com propriedades emulsificantes e boa estabilidade, o que potencializa seu uso em massas alimentícias e produtos panificados (12). Também tem sido aplicada no desenvolvimento de alimentos inovadores, como sorvetes funcionais elaborados com ora-pro-nóbis e inulina, que aliam indulgência ao aumento significativo do teor proteico, com boa aceitação sensorial (14).

Assim, a valorização de produtos com alto teor proteico não se limita à performance esportiva, mas integra um movimento social mais amplo em prol da saúde, da sustentabilidade e da acessibilidade (1, 2).

O aproveitamento de subprodutos agroindustriais, aliado ao uso de matérias-primas alternativas como o grão-de-bico e a ora-pro-nóbis, reforça a importância da inovação tecnológica e científica para atender às novas demandas alimentares, ao mesmo tempo em que promove práticas mais conscientes e sustentáveis de produção e consumo.

Fontes de farinhas alternativas ricas em proteínas

O uso de farinhas alternativas em substituição à farinha de trigo tem se tornado uma estratégia não apenas para atender ao público celíaco ou alérgico ao glúten, mas também para valorizar matérias-primas regionais e ampliar a oferta de alimentos mais nutritivos. O grande destaque está naquelas farinhas que, além de não conterem glúten, apresentam teores relevantes de proteínas e compostos bioativos, o que lhes confere caráter funcional e potencial de inovação no setor alimentício (17).

Farinha de mandioca

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), uma das principais culturas agrícolas do Brasil, apresenta ampla aceitação popular e versatilidade de uso. Tradicionalmente consumida sob a forma de fécula ou polvilho, ela gera subprodutos que ainda são pouco aproveitados. Estudos têm demonstrado que resíduos oriundos da extração do amido podem ser transformados em farinha para aplicação em massas alimentícias e panificados. Essa farinha apresenta teor proteico em torno de 8–9 g/100 g, valor superior ao de outras farinhas amiláceas, e agrega fibras e minerais (18). Além de contribuir para o enriquecimento nutricional, seu uso reduz desperdícios e promove sustentabilidade. Contudo, devido à ausência de glúten, é necessária a combinação com hidrocoloides ou outras fontes proteicas para garantir melhor textura e elasticidade nos produtos.

Farinha de batata doce biofortificada

A batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) vem ganhando notoriedade como ingrediente funcional, especialmente em cultivares biofortificadas ricas em provitamina A. A farinha obtida a partir dessa raiz mantém teores interessantes de proteínas (4–6 g/100 g), fibras alimentares e amido de digestão lenta, o que contribui para baixo índice glicêmico. Além disso, é uma fonte expressiva de β-caroteno, importante antioxidante e precursor da vitamina A. Em formulações de massas sem glúten, a batata-doce biofortificada melhora o valor nutricional, intensifica a coloração amarelada/alaranjada e acrescenta leve dulçor natural, favorecendo a aceitação sensorial (19). Contudo, sua aplicação em grandes proporções pode comprometer a firmeza da massa, sendo recomendada em combinações com farinha de arroz, proteína de soja ou outros ingredientes estruturantes.

Farinha de milheto

O milheto (*Pennisetum glaucum*) é um cereal de grande relevância em regiões da Ásia e da África, mas ainda pouco explorado no Brasil, onde a maior parte da produção é destinada à alimentação animal. Sua composição revela elevado teor de proteínas (10–12 g/100 g), fibras alimentares, minerais e compostos fenólicos. A farinha integral de milheto é naturalmente isenta de glúten e apresenta propriedades funcionais, como capacidade antioxidante e efeito anti-hiperglicêmico. O uso da extrusão termoplástica vem sendo utilizado, pois melhora a solubilidade das proteínas e a digestibilidade do amido, resultando em pães e massas alimentícias com qualidade tecnológica próxima às versões tradicionais. Entretanto, produtos elaborados exclusivamente com essa farinha podem apresentar textura mais densa, exigindo ajustes no processamento ou combinação com outras matérias-primas (20).

Farinha de leguminosas e farinhas mistas

As leguminosas, como o grão-de-bico e a soja, são ricas em proteínas de alto valor biológico e constituem alternativas relevantes para o desenvolvimento de farinhas funcionais. O **grão-de-bico (***Cicer arietinum* **L.)** destaca-se por apresentar elevado valor nutricional, com teor proteico variando entre 22 e 24 g por 100 g de farinha, além de conter fibras alimentares, amido resistente e minerais como ferro e magnésio. Em produtos de panificação, sua utilização contribui para o aumento do teor proteico e para a redução do índice glicêmico, sem comprometer a aceitação sensorial. Entretanto, o uso dessa leguminosa pode conferir um leve sabor residual característico, o que requer equilíbrio na formulação para garantir boa aceitação pelo consumidor (17).

A **soja (***Glycine max* **(L.) Merr.)** é outra matéria-prima amplamente utilizada, apresentando entre 36 e 40% de proteínas, além de compostos bioativos, como as isoflavonas, associadas à prevenção de doenças cardiovasculares e osteoporose. A farinha de soja e seus derivados, como a proteína texturizada e a proteína isolada, são empregados com frequência no desenvolvimento de produtos sem glúten, promovendo melhor elasticidade e retenção de gases em pães e bolos. Devido à alta digestibilidade e ao perfil de aminoácidos essenciais, a soja é considerada uma das fontes proteicas vegetais mais completas disponíveis para aplicação na indústria alimentícia (17).

O uso de **farinhas mistas**, obtidas pela combinação de diferentes matérias-primas, tem mostrado resultados promissores na formulação de massas alimentícias com bom aporte nutricional, destacando-se pelos teores elevados de fibras e compostos antioxidantes. Produtos elaborados com farinhas de **sorgo (***Sorghum bicolor* **(L.) Moench)**, **palmito (***Euterpe edulis* **Mart.)** e **farelo de mandioca (***Manihot esculenta* **Crantz)** apresentam parâmetros tecnológicos adequados, como tempo de cozimento e absorção de água, compatíveis com os padrões de consumo consolidados (1).

Além disso, farinhas de **mandioca (***Manihot esculenta* **Crantz)**, **batata-doce biofortificada (***Ipomoea batatas* **(L.) Lam.)**, **milheto (***Pennisetum glaucum* **(L.) R.Br.)** e leguminosas em geral representam alternativas diversificadas e acessíveis para o enriquecimento nutricional de produtos alimentícios. Embora apresentem desafios tecnológicos relacionados à textura e ao sabor, essas matérias-primas possuem elevado potencial para agregar valor econômico, social e ambiental, consolidando-se como alternativas estratégicas para o desenvolvimento de produtos inovadores, funcionais e sustentáveis.

Aspectos tecnológicos, sensoriais e químicos em massas alimentícias

As massas alimentícias ocupam um espaço consolidado na dieta humana, sendo apreciadas mundialmente pela praticidade, versatilidade e aceitação sensorial. Contudo, os desafios relacionados ao desenvolvimento de massas sem glúten e com atributos nutricionais

diferenciados têm conduzido a inúmeros estudos que buscam compreender como os aspectos tecnológicos, químicos e sensoriais interagem na formulação de novos produtos. A ausência da rede proteica formada pelo glúten, por exemplo, impõe barreiras quanto à textura, elasticidade e coesão da massa, exigindo a utilização de matérias-primas alternativas, como tubérculos, leguminosas e pseudocereais, além da aplicação de técnicas de processamento específicas (17, 19).

Sob a ótica tecnológica, a escolha e o tratamento das farinhas influenciam diretamente nas propriedades de cozimento, viscosidade, absorção de água e perda de sólidos durante a preparação. Farinhas de batata-doce biofortificada, por exemplo, apresentam amido com características funcionais que, ao serem incorporadas em massas sem glúten, contribuem para a melhoria da cor, do aporte de β-caroteno e de propriedades tecnológicas relacionadas à absorção hídrica. Entretanto, a textura permanece como um dos atributos mais sensíveis à substituição do trigo, sendo frequentemente relatada como o fator que mais compromete a aceitação sensorial (19). Estratégias como o uso de proteínas vegetais, fibras solúveis e processos como a extrusão termoplástica têm sido aplicadas para modificar a estrutura dos amidos e melhorar a coesão da massa, aproximando-se das características do glúten (20). A farinha de brócolis apresenta alto teor de minerais e proteínas se comparado aos teores encontrados na hortaliça in natura e a farinha de trigo integral, média de 9,3% de minerais e 29,8% de proteínas (21), podendo ser aplicado a massas alimentícias (22).

A substituição parcial ou total da farinha de trigo por farinhas de leguminosas, como o grão-de-bico, confere teores mais elevados de proteínas, fibras e minerais, promovendo maior valor agregado ao produto e alinhamento às demandas de consumo saudável (17). Da mesma forma, ingredientes regionais como a mandioca, quando aproveitados integralmente, incluindo subprodutos como o resíduo fibroso da raiz, resultam em massas com maior conteúdo de fibras e satisfatória estabilidade físico-química, sem comprometer a segurança microbiológica (18).

Os aspectos sensoriais, por sua vez, são determinantes para a aceitação pelo consumidor. Estudos com massas formuladas a partir de batata-doce biofortificada indicam que a cor alaranjada, conferida pelos carotenoides, é percebida de maneira positiva, associada à ideia de naturalidade e saudabilidade. Entretanto, a textura firme e a elasticidade ainda são características que demandam maior ajuste, pois exercem forte influência na percepção global de qualidade (19). Em formulações com milheto submetido à extrusão, verificou-se que a modificação estrutural do amido aumentou a integridade e a firmeza da massa após o cozimento, elevando a aceitabilidade sensorial, embora a textura continue sendo o principal ponto de crítica por parte dos consumidores (20). Já no caso da mandioca, o emprego do resíduo como ingrediente mostrou-se eficiente na obtenção de um produto com adequado índice de aceitabilidade, indicando que a valorização de matérias-primas locais pode ser também uma estratégia de inovação sustentável (18).

Em farinha processada da ora-pro-nóbis para aplicação em massas alimentícias, foram encontrados teores de 23,21% de proteínas, 19,12% de cinzas, 44% de carboidratos e 6,93% de fibras, respectivamente. As formulações com a adição de 5%, 10%, 15% e 20% de farinha de ora-pro-nóbis obtiveram propriedades tecnológicas desejadas para massas alimentícias, como a redução do tempo de cocção, de absorção de água e de aumento de volume das massas alimentícias e a diminuição da perda de sólidos solúveis na água de cocção conforme o teor era aumentado (23).

Em síntese, os avanços tecnológicos, químicos e sensoriais em massas alimentícias sem glúten demonstram que é possível desenvolver produtos mais nutritivos e atrativos, embora o desafio da textura ainda se mantenha como barreira central. A integração de diferentes fontes vegetais, como raiz tuberosa, leguminosas, cereais, pseudocereais,

PANC´s, associada a processos inovadores, configura-se como um caminho promissor para a criação de massas que conciliem qualidade tecnológica, aporte nutricional e aceitação sensorial.

CONCLUSÃO

O desenvolvimento de massas alimentícias com alto teor proteico, utilizando farinhas alternativas, representa uma oportunidade de inovação, o que reforça a importância do desenvolvimento de novos produtos isentos de glúten, mais saudáveis e sustentáveis. O uso de farinhas alternativas contribui para a valorização de ingredientes regionais e para o fortalecimento da indústria nacional. É necessário investir em padronização de matérias-primas, treinamento técnico e adaptação de maquinários, já que farinhas alternativas tendem a apresentar granulometria e comportamento reológico diferentes da farinha de trigo. A análise de custo-benefício também é fundamental, buscando equilibrar o preço final com o valor agregado do produto, além da aceitação sensorial por parte dos consumidores.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem: Ao Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos e CNPq pela parceria e pelas bolsas concedidas.

REFERÊNCIAS

1. Marçal EN, et al. Desenvolvimento de massas alimentícias plant-based com farinhas alternativas isentas de glúten. Bo Cen Pesqui Proces Aliment. 2025;42(2):1-11. Disponível em: https://revistas.ufpr.br/alimentos/article/view/94609
. Acesso em: 15 set. 2025.

2. ABIMAPI. Setor de biscoitos, massas e pães cresce 4% no Brasil em 2024. Disponível em: https://www.abimapi.com.br/setor-de-biscoitos-massas-e-paes-cresce-4-no-brasil-em-2024. Acesso em: 30 ago. 2025.

3. Aguiar EV, Santos FG, Faggian L, da Silveira Araujo M, Araújo VA, Conti AC, et al. An integrated instrumental and sensory techniques for assessing liking, softness and emotional related of gluten-free bread based on blended rice and bean flour. Food Res Int. 2022;154. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.110999
. Acesso em: 22 jul. 2025.

4. Oliveira IM, Melo FSN, Sousa MM, Menezes MS, Paz EO, Cavalcanti MS. Utilização de farinhas alternativas em produtos de panificação: uma revisão literária. Res Soc Dev. 2020; 9 (9):1–27.

5. Comettant-Rabanal R, Carvalho CWP, Ascheri JLR, Chávez DWH, Germani R. Extruded whole grain flours and sprout millet as functional ingredients for gluten-free bread. LWT. 2021; 150:112042.

6. Schmiele M, Jaekel LZ, Ishida PMG, Chang YK, Steel CJ. Massa alimentícia sem glúten com elevado teor proteico obtida por processo convencional. Ciênc Rural. 2013;43:908-914.

7. Garcia EEC, Nabeshima EH, Sadahira MS, Ferrari RA, Silva N, Sarantopoulos CIGL, et al. Estudo regulatório sobre proteínas alternativas no Brasil – Proteínas vegetais. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos; 2022. Disponível em: https://gfi.org.br/

8. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. Pesquisa brasileira avança em estudos sobre proteínas alternativas. Brasília: Embrapa; 2024. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/64626603/artigo-pesquisa-brasileira-avanca-em-estudos-sobre-proteinas-alternativas

9. Silva KF, et al. Uso de farinhas alternativas sem glúten na panificação como fonte de fibras: uma revisão. In: Simpósio de Ciência e Tecnologia de Alimentos (SICITAL), 4., 2025, Palmas. Anais [...]. Palmas: Even3; 2025. Disponível em: https://www.even3.com.br/anais/iv-simposio-ciencia-tecnologia-alimentos-sicital/1121907-uso-de-farinhas-alternativas-sem-gluten-na-panificacao-como-fonte-de-fibras--uma-revisao/. Acesso em: 15 set. 2025.

10. Arouca MN, Auriane Filho WV. Principais aspectos das dietas dos praticantes de musculação. Taubaté: UNITAU; 2021.

11. Abreu VA, et al. A importância da alimentação na hipertrofia. Res Soc Dev. 2021;10(14):e431101422041.

12. Silva Prado HAP, Peixoto JVM, Carvalho VS, Ferreira SM. Aplicação de farinhas isentas de glúten e com alto teor proteico como ingrediente em produtos panificados – uma revisão. Cap. 4 In: Pesquisas e Avanços Segurança Alimentar. 2023;4:83-94. DOI: https://doi.org/10.53934/08082023-04.

13. Souza RD, Nunes FT. Impacto da suplementação de leucina e creatina em praticantes de musculação: uma revisão integrativa. Rev Bras Ciênc Esp. 2020;14(3):101-112.

14. Santos PPA, Ferrari GS, Rosa MS, Almeida K, Araújo LA, Pereira MHC, et al. Desenvolvimento e caracterização de sorvete funcional de alto teor proteico com ora-pro-nóbis e inulina. Braz J Food and Techn. 2022;25.

15. Perez PMP, Germani R. Elaboração de biscoitos tipo salgado, com alto teor de fibra alimentar, utilizando farinha de berinjela. Ciênc Tecn Alim. 2007;27(1):186-192.

16. Freitas DGC, Moretti RH. Caracterização e avaliação sensorial de barra de cereais funcional de alto teor proteico e vitamínico. Ciênc Tecn Alim. 2006;26(2):318-324.

17. Azeredo BM. Impacto da substituição da farinha de trigo nas propriedades tecnológicas e sensoriais nos produtos de panificação e massas alimentícias. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba; 2022.

18. Fernandes ROC. Desenvolvimento de massa alimentícia à base de mandioca: avaliação físico-química, microbiológica e sensorial. Campo Grande: Universidade Federal do Mato Grosso do Sul; 2017.

19. Scarton M. Avaliação tecnológica, funcional e sensorial de massas alimentícias sem glúten com farinha de batata-doce biofortificada em pro-vitamina A. Campinas: Universidade Estadual de Campinas; 2017.

20. Pessanha KLF. Aspectos tecnológicos e nutricionais no desenvolvimento de pães e massas alimentícias integrais de milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.) utilizando a tecnologia de extrusão termoplástica. 2021. 67 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2021.

21. Rodrigues, CN.; Silveira, HS.; Costa, LV.; Pinto, SD.; Bastos, CP. Elaboração e avaliação sensorial e físico-química de *snacks* de frango enriquecido com farinha de brócolis. Pelotas: CIT da UFPEL. 2019 [Acesso em 2025 jul 08]; Disponível em: http://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2019/CA_02059.pdf

22. Silva, SZ.; Oliveir, MPS.; Martins, AH. Desenvolvimento e avaliação nutricional de massas alimentícias ricas em fibras. Cascavel: BVS. 2017 [Acesso em 08 ago2025]; 31: 266-267. Disponível em: https://docs.bvsalud.org/biblioref/2017/05/833326/266-267-site-61-65.pdf

23. Ferreira AL, Gonçalves VGO, Maradini Filho AM, Carneiro JAS, Francisco CL. Caracterização do pó de ora-pro-nóbis e utilização em massas alimentícias. Open Sci Res [Internet]. 2022 [Acesso em 29 ago 2025]; 5:70-89. Disponível em: https://dx.doi.org/10.37885/221211240

Capítulo 39

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-39

REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS INTELIGENTES NA CONSERVAÇÃO PÓS COLHEITA: AVANÇOS EM POLÍMEROS BIODEGRADÁVEIS, ADITIVOS FUNCIONAIS E NANOCOMPÓSITOS

Valeska Cristina Souza Silva de Assis*; Lidiane Machado Dionízio; Matheus Carneiro Heinzelman[n]; Natália Veleda Duailibe[e]; Ana Carolina Leal Capanema Barcelos de Freitas ;Renato Dusmon Vieira; Flívia Fernandes de Jesus Souza

** Email: valeska.souza@ueg.br*

RESUMO

A conservação pós-colheita de frutas e hortaliças é um desafio crítico devido à elevada perecibilidade desses produtos e às perdas que afetam a economia, o ambiente e a segurança alimentar. Revestimentos comestíveis surgem como alternativa sustentável às embalagens convencionais, formando barreiras semipermeáveis que regulam trocas gasosas, reduzem perdas de umidade e retardam a senescência, contribuindo para a manutenção de atributos sensoriais e nutricionais. Produzidos a partir de polímeros naturais — como polissacarídeos, proteínas e lipídios — isolados ou em compósitos, esses materiais possibilitam a incorporação de aditivos funcionais (extratos vegetais, óleos essenciais, probióticos), conferindo propriedades antimicrobianas, antioxidantes e nutritivas. Trata-se de uma revisão bibliográfica baseada em artigos científicos recentes, que analisa avanços no desenvolvimento e aplicação de revestimentos comestíveis em frutas e hortaliças. Estudos selecionados relatam, por exemplo, reduções na perda de massa e ganhos na vida de prateleira em diferentes matrizes. Avanços em nanocompósitos e em sistemas de nanoencapsulação têm melhorado propriedades mecânicas e de barreira, possibilitando ainda liberação controlada de bioativos e o desenvolvimento de embalagens inteligentes capazes de monitorar qualidade em tempo real. Apesar de limitações tecnológicas, regulatórias, econômicas e de aceitação do consumidor, o reúso de resíduos agroindustriais, a otimização de processos industriais e a demanda por produtos com rotulagem limpa aumentam a viabilidade dessa estratégia. Em síntese, revestimentos comestíveis ativos e multifuncionais representam uma abordagem promissora para reduzir desperdício e preservar qualidade pós-colheita.

Palavras–chave: alimentos, bioativos, filmes, nanotecnologia, sustentabilidade

INTRODUÇÃO

A conservação pós-colheita de alimentos constitui um desafio crucial para a sociedade contemporânea, em razão do significativo desperdício e dos impactos ambientais, econômicos e sociais associados (1). No Brasil — um dos maiores produtores de frutas e

hortaliças do mundo — as perdas pós-colheita podem atingir entre 30% e 40% da produção, afetando toda a cadeia produtiva, da colheita à comercialização, e sendo frequentemente agravadas por práticas inadequadas de manuseio, armazenamento precário e consequente contaminação microbiana (2).

A elevada perecibilidade de frutas e hortaliças decorre de fatores intrínsecos (composição química e elevada atividade de água) e de sua sensibilidade a condições externas, como temperatura e disponibilidade de oxigênio (3). Frutos climatéricos, que continuam a amadurecer após a colheita, apresentam maior suscetibilidade à deterioração rápida devido ao aumento da taxa respiratória e à síntese de etileno (4). Frente a esse cenário, a adoção de estratégias eficazes de conservação pós-colheita é essencial para prolongar a vida útil dos produtos e preservar atributos sensoriais e compostos nutricionais (5).

Historicamente, a indústria tem adotado tecnologias convencionais — refrigeração, tratamentos térmicos e embalagens plásticas — para estender a durabilidade dos alimentos. Filmes plásticos (p. ex. polietileno e polipropileno) podem criar uma atmosfera modificada ao redor dos frutos, reduzindo a respiração e retardando a maturação (6). Contudo, essas abordagens têm limitações: tratamentos térmicos podem comprometer qualidade sensorial e nutricional; a refrigeração implica elevado consumo energético (7); e embalagens plásticas de origem fóssil geram impactos ambientais persistentes e baixas taxas de recuperação, contribuindo para poluição e degradação de ecossistemas (8). Essa conjuntura estimula a busca por alternativas mais sustentáveis que não comprometam segurança e qualidade dos alimentos.

Nesse contexto, revestimentos e filmes comestíveis biodegradáveis despontam como solução promissora. Aplicados diretamente sobre a superfície dos alimentos, formam uma fina camada semipermeável que regula trocas gasosas, reduz perda de umidade e retarda a senescência (9). Produzidos a partir de fontes renováveis e, frequentemente, de resíduos agroindustriais, esses materiais favorecem a economia circular e reduzem a dependência de plásticos convencionais (10). Embora não substituam completamente as embalagens tradicionais, os revestimentos comestíveis atuam de forma complementar, agregando funcionalidades que prolongam a vida útil, preservam firmeza, cor e textura, e possibilitam a incorporação de compostos bioativos (agentes antimicrobianos, antioxidantes), o que agrega valor e segurança ao alimento (11).

O presente capítulo revisa avanços científicos e tecnológicos no uso de polímeros biodegradáveis, aditivos funcionais e nanocompósitos para formulação de revestimentos comestíveis aplicados a frutas e hortaliças. **Trata-se de uma revisão bibliográfica baseada em artigos científicos recentes, obtidos por busca nas bases Scopus, Web of Science e SciELO, com seleção de estudos originais e revisões que abordaram revestimentos comestíveis aplicados a frutas e hortaliças.**

Serão abordadas as principais matrizes poliméricas (polissacarídeos — amido, quitosana, pectina, celulose, gomas — e proteínas — gelatina, caseína), estratégias de incorporação de aditivos (extratos vegetais, óleos essenciais — por exemplo, gengibre, cravo e capim-limão) e o crescente uso de nanocompósitos e nanopartículas (incluindo partículas de prata) para melhorar propriedades de barreira, mecânicas e atividade antimicrobiana.

FUNDAMENTOS DOS REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS

Os revestimentos comestíveis são **finas camadas de materiais biopoliméricos** aplicados diretamente sobre a superfície dos alimentos, sendo seguros para consumo e podendo ser ingeridos juntamente com o produto, sem oferecer riscos à saúde (12). Sua

principal função é criar uma **barreira semipermeável** entre os elementos internos e externos do alimento, regulando as trocas gasosas e minimizando perdas de umidade.

A formulação desses revestimentos envolve a dispersão ou solubilização de **polímeros naturais** — como carboidratos, proteínas ou lipídios — em solventes apropriados, incluindo água, álcool ou ácidos orgânicos (5). Frequentemente, adicionam-se **plastificantes** (ex.: glicerol, sorbitol) para aumentar a flexibilidade e estabilidade das ligações poliméricas, bem como **aditivos bioativos**, como agentes antimicrobianos e antioxidantes, que conferem propriedades funcionais adicionais (7). Para que sejam considerados de boa qualidade, os revestimentos devem apresentar **transparência, ausência de odor e sabor perceptível, boa adesão, propriedades mecânicas e de barreira adequadas e ausência de toxicidade** (3).

Apesar de possuírem formulações semelhantes, os **revestimentos comestíveis diferem dos filmes biodegradáveis** principalmente pelo método de aplicação (10). O revestimento comestível é aplicado **em estado líquido diretamente sobre o alimento**, formando a película protetora *in situ*, geralmente por **imersão, pulverização ou aspersão**, e apresenta espessura **inferior a 30 µm**. Já o filme comestível é **produzido separadamente**, a partir da moldagem e secagem da solução filmogênica sobre uma superfície plana, apresentando espessura **superior a 30 µm** (13). Ambos compartilham o objetivo de **prolongar a vida útil e proteger a integridade dos alimentos**, atuando de forma complementar às embalagens convencionais (14).

A principal função desses revestimentos é atuar como **barreira seletiva**, controlando a transferência de massa entre o alimento e o ambiente. Dessa forma, reduzem a **perda de água** em produtos frescos sensíveis à desidratação — processo que leva ao enrugamento e perda de textura (15). Polímeros **hidrofóbicos**, como lipídios, são especialmente eficazes na minimização da transpiração, preenchendo parcialmente estômatos e lenticelas e mantendo a aparência de frescor e a integridade do alimento (5). Além disso, esses revestimentos **atuam como barreira gasosa**, criando uma atmosfera modificada ao redor do produto que reduz a permeabilidade ao oxigênio e dióxido de carbono, retardando a respiração, a síntese de etileno e, consequentemente, a senescência (16).

Adicionalmente, funcionam como **barreira física contra microrganismos**, dificultando a penetração e proliferação de patógenos e deteriorantes. Quando enriquecidos com compostos ativos — como óleos essenciais e extratos vegetais — podem promover **liberação gradual de agentes antimicrobianos**, aumentando a segurança microbiológica e prolongando a vida de prateleira (9).

O uso de coberturas protetoras em alimentos remonta à década de 1930, quando ceras naturais, como a de carnaúba, eram aplicadas para reduzir a abrasão durante o manuseio e conferir brilho aos frutos frescos. O uso sistemático de filmes e revestimentos comestíveis como tecnologia de conservação consolidou-se na década de 1950 (10).

Nas últimas décadas, a pesquisa nessa área evoluiu significativamente, passando da aplicação de **polímeros isolados** (amido, quitosana, pectina, proteínas) para o desenvolvimento de **revestimentos compósitos**, que combinam diferentes matrizes e aprimoram funcionalidades, como barreira à umidade. Surgiram também os **revestimentos ativos**, incorporando antioxidantes, antimicrobianos, probióticos e nutrientes, e as **tecnologias avançadas** baseadas em nanopartículas, que reforçam propriedades mecânicas e de barreira. Paralelamente, destaca-se o aproveitamento de **resíduos agroindustriais** — como caroço de abacate, cascas e polpas residuais — como fontes renováveis de biopolímeros (4, 8).

Essa evolução evidencia o **crescente interesse científico e tecnológico** em desenvolver revestimentos cada vez mais eficientes, inteligentes e sustentáveis, capazes de

atender às demandas da indústria alimentícia e às expectativas do consumidor contemporâneo (11).

EVOLUÇÃO DOS REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS

Ao longo da história, práticas análogas aos revestimentos comestíveis já eram empregadas de forma empírica para preservar alimentos (7). Registros históricos indicam que, desde a **China medieval (séculos XII–XIII)**, frutas cítricas eram recobertas com ceras ou preparações naturais para reduzir a perda de água durante transporte e armazenamento — uma primeira forma rudimentar de "embalagem comestível" (2). Essas técnicas tradicionais, amplamente difundidas no Oriente, precederam por séculos o desenvolvimento científico e industrial dos revestimentos alimentares (10).

No **início do século XX**, o uso de coberturas protetoras evoluiu para aplicações comerciais mais amplas, marcando o início da sistematização dessa tecnologia (4). A partir da **década de 1930**, tornou-se comum, especialmente nos **Estados Unidos**, a aplicação de ceras parafínicas e, posteriormente, ceras naturais — como a de carnaúba — em frutas cítricas e maçãs, com o objetivo de reduzir abrasão, perda de umidade e melhorar o brilho superficial (9). Nas décadas seguintes, foram desenvolvidas **emulsões óleo-em-água e dispersões cerosas**, consideradas a primeira geração de revestimentos comerciais (1). Essas formulações pioneiras pavimentaram o caminho para o surgimento de revestimentos baseados em polímeros alimentares naturais, como amidos e proteínas, com propriedades mais controláveis e biodegradáveis (6).

A partir da **metade do século XX**, com ênfase nas décadas de **1970 a 1990**, a pesquisa científica passou a sistematizar o uso de **biopolímeros alimentares** para a produção de filmes e revestimentos com propriedades mecânicas e de barreira mensuráveis (3). Revisões técnicas clássicas definiram a distinção entre **filmes e revestimentos**, detalhando o papel dos **plastificantes, emulsificantes e aditivos funcionais**, bem como os métodos de avaliação de **permeabilidade ao vapor d'água e gases** (11). Esse período consolidou o tema como um campo interdisciplinar, envolvendo **química de polímeros, ciência de alimentos e fisiologia pós-colheita**, e favoreceu o desenvolvimento de formulações baseadas em **alginatos, pectinas, gelatina e quitosana**, amplamente empregadas até hoje (5).

Nas últimas **duas décadas**, a intensificação das pesquisas e a inovação tecnológica impulsionaram o surgimento de uma nova geração de **revestimentos comestíveis ativos e multifuncionais** (8). Entre os principais avanços estão os **revestimentos ativos**, que incorporam compostos antioxidantes, antimicrobianos e probióticos; os **revestimentos compósitos**, que combinam diferentes matrizes poliméricas para aprimorar barreiras à umidade e resistência mecânica; e as **abordagens nanoestruturadas**, com o uso de **nanocarreadores e nanocompósitos** para controle de liberação de bioativos (9). Paralelamente, a preocupação ambiental estimulou o desenvolvimento de revestimentos provenientes de **resíduos agroindustriais**, promovendo a **valorização de subprodutos e a economia circular** (2). Essa evolução transformou os revestimentos comestíveis de uma prática empírica em uma **plataforma tecnológica consolidada**, essencial para a conservação pós-colheita e para a formulação de **embalagens ativas e inteligentes** (7).´

POLÍMEROS BIODEGRADÁVEIS COMO BASE DOS REVESTIMENTOS

Os polímeros naturais constituem a base dos filmes e revestimentos comestíveis, atuando como agentes filmogênicos que formam uma matriz contínua e protetora sobre a superfície dos alimentos (8). Esses materiais podem ser classificados em polissacarídeos,

proteínas e lipídios, aplicados isoladamente ou combinados em blends e compósitos para otimizar propriedades mecânicas, de barreira e sensoriais (1,6). A formulação envolve a dissolução ou dispersão dos polímeros em solventes apropriados, como água ou álcool, e a adição de plastificantes para aumentar a flexibilidade, bem como de aditivos funcionais que conferem propriedades antimicrobianas, antioxidantes ou nutricionais (6,10).

Entre os polissacarídeos, o amido, proveniente de mandioca, milho ou batata, forma filmes transparentes, flexíveis e inodoros, eficientes na redução da perda de massa e na manutenção da firmeza de frutas, embora seja necessário adicionar plastificantes devido à sua alta permeabilidade ao vapor d'água (10). A quitosana, derivada da quitina de crustáceos e fungos, destaca-se pela biodegradabilidade e atividade antimicrobiana intrínseca, formando películas semipermeáveis que reduzem a respiração dos frutos e contribuem para o controle de patógenos (12). Outros polissacarídeos, como a pectina e o alginato de sódio, apresentam boa barreira a gases e capacidade de formar géis estáveis, embora apresentem limitações frente à umidade (13,14). Gomas e derivados de celulose são frequentemente incorporados para modular a viscosidade das soluções e aprimorar propriedades mecânicas e sensoriais (18).

As proteínas, provenientes de fontes animais ou vegetais, formam filmes coesos por desnaturação molecular, conferindo boa adesão à superfície, resistência mecânica e barreira eficiente a gases. A gelatina, derivada do colágeno, apresenta propriedades anfifílicas, garantindo flexibilidade, transparência e proteção contra a exposição ao ambiente externo, embora sua sensibilidade à umidade limite a barreira contra vapor d'água (13). Caseína, zeína e glúten também são utilizadas, com variações em resistência mecânica e sensibilidade à umidade, permitindo ajustes conforme a aplicação desejada.

Os lipídios, incluindo ceras como as de carnaúba e de abelha, possuem caráter hidrofóbico e são eficazes na redução da perda de água, mas não formam filmes coesos isoladamente. Por isso, são frequentemente combinados com polissacarídeos ou proteínas para formar compósitos que equilibram a barreira a gases e à água, conferem proteção mecânica aos frutos e melhoram a aparência superficial, como brilho e homogeneidade (1,15).

A combinação de diferentes polímeros em blends ou compósitos, associada à incorporação de aditivos funcionais e nanopartículas, permite o desenvolvimento de revestimentos ativos, inteligentes e multifuncionais. Esses sistemas promovem o prolongamento da vida útil dos alimentos, aumentam a segurança microbiológica, agregam valor nutricional e alinham-se à sustentabilidade e às demandas do mercado por alimentos mais seguros e duráveis (4,10,17).

Tabela 1 – Tipos de polímeros biodegradáveis utilizados em revestimentos comestíveis.

Polímero	Fonte	Propriedades principais	Limitações	Aditivos possíveis
Amido	Mandioca, milho, batata	Transparente, flexível, inodoro, barreira a gases	Alta permeabilidade a vapor d'água	Plastificantes (glicerol, sorbitol)
Quitosana	Quitina de crustáceos e fungos	Biodegradável, antimicrobiana, semipermeável	Limitação em barreira à umidade	Óleos essenciais, extratos vegetais
Pectina	Cítricos	Boa barreira a gases, preserva aroma e nutrientes	Hidrofílica, limitada resistência à umidade	Compostos antimicrobianos
Gelatina	Colágeno animal	Filme coeso, transparente, flexível,	Sensível à umidade, baixa	Óleos essenciais, antioxidantes

Polímero	Fonte	Propriedades principais	Limitações	Aditivos possíveis
		adesão boa	barreira a vapor	
Caseína	Leite	Boa barreira a gases, adesão à superfície	Sensível à umidade, baixa resistência mecânica	Extratos bioativos
Zeína	Milho	Resistente, barreira a gases	Frágil em contato com umidade	Plastificantes, bioativos
Alginato de Sódio	Algas marrons	Biodegradável, forma géis, barreira a óleos e O_2	Permeável à água, limitada estabilidade	Compostos antioxidantes
Gomas	Plantas	Aumentam viscosidade, formam filmes flexíveis	Hidrofílicas, barreira limitada a vapor	Polissacarídeos ou proteínas
Lipídios	Plantas/animais	Hidrofóbicos, reduzem perda de água	Não formam filme coeso sozinho	Combinados com polissacarídeos/proteínas

Dessa forma, a integração de polímeros biodegradáveis com aditivos funcionais e nanocompósitos não apenas aprimora a eficácia dos revestimentos, mas também alinha a tecnologia à sustentabilidade, à economia circular e às demandas do mercado por alimentos mais seguros, nutritivos e de longa duração (4). Essa abordagem evidencia o potencial dos revestimentos comestíveis como alternativa complementar às embalagens tradicionais, permitindo o desenvolvimento de soluções cada vez mais inteligentes, funcionais e ambientalmente responsáveis na conservação pós-colheita de frutas e hortaliças (3).

INCORPORAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS (ANTIOXIDANTES E ANTIMICROBIANOS

Os revestimentos comestíveis, além de atuarem como barreiras físicas que reduzem a perda de umidade e controlam as trocas gasosas, evoluíram para sistemas funcionais capazes de veicular compostos bioativos, configurando as chamadas **embalagens ativas** (6). Essa abordagem tecnológica baseia-se na incorporação de agentes antimicrobianos, antioxidantes e outros compostos funcionais diretamente na matriz polimérica, que são liberados de forma gradual e controlada sobre a superfície do alimento (4). Esse mecanismo de liberação prolongada aumenta a eficácia dos agentes bioativos em comparação com aditivos convencionais, reduzindo perdas, retardando processos oxidativos e microbiológicos e, consequentemente, ampliando a vida útil e a segurança dos produtos, em consonância com a crescente demanda por alimentos naturais e minimamente processados (16).

O interesse pelo uso de fontes naturais de compostos bioativos tem se intensificado, alinhando-se às estratégias de sustentabilidade e à substituição de aditivos sintéticos (8). Entre essas fontes, destacam-se extratos vegetais ricos em compostos fenólicos e flavonoides, reconhecidos pelas propriedades antioxidantes e antimicrobianas (7). Exemplos notáveis incluem a própolis, eficaz contra bactérias Gram-positivas e capaz de preservar a coloração e a textura de hortaliças como a alface (*Lactuca sativa* L.), além de extratos obtidos da casca de romã (*Punica granatum* L.), folhas de manga (*Mangifera indica* L.) e erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.), que demonstram capacidade de inibir o crescimento fúngico e aumentar a atividade antioxidante de frutas e hortaliças (8). Resíduos agroindustriais, como entrecascas de laranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck) e maracujá

(*Passiflora edulis* Sims), bem como sementes de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), também têm sido explorados como fontes alternativas de fibras e compostos bioativos, promovendo a economia circular e a valorização de subprodutos vegetais (9).

Os óleos essenciais, compostos voláteis naturais extraídos de plantas aromáticas, apresentam reconhecida atividade antimicrobiana, antifúngica e antioxidante, sendo amplamente estudados em espécies como gengibre (*Zingiber officinale* Roscoe), cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M. Perry), orégano (*Origanum vulgare* L.), canela (*Cinnamomum verum* J. Presl), capim-limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf) e *Lippia gracilis* Schauer (20). Contudo, devido à sua alta volatilidade, possível toxicidade em concentrações elevadas e potencial impacto sensorial, sua incorporação em revestimentos deve ser criteriosamente controlada (14). Estratégias de modificação química, como a ligação de compostos aromáticos à quitosana, têm sido adotadas para reduzir odores intensos sem comprometer a atividade antimicrobiana (14).

Além disso, outros compostos naturais, como a vitamina C, o ácido cítrico e polpas de frutas tropicais ricas em antioxidantes, como a acerola (*Malpighia emarginata* DC.), têm sido utilizados para retardar o escurecimento enzimático, preservar o valor nutricional e agregar funcionalidade aos revestimentos (17).

Assim, os revestimentos comestíveis ativos representam uma evolução significativa em relação às barreiras físicas convencionais, configurando-se como sistemas multifuncionais que protegem o alimento, prolongam sua durabilidade, enriquecem seu valor nutricional e atendem às exigências contemporâneas por produtos seguros, naturais e ambientalmente sustentáveis (5). A incorporação estratégica de compostos bioativos transforma essas matrizes em plataformas inteligentes e funcionais, consolidando seu papel como tecnologia inovadora e promissora para a conservação pós-colheita de frutas e hortaliças (1).

AVANÇOS EM NANOCOMPÓSITOS

A nanotecnologia tem emergido como uma das ferramentas mais promissoras na área de conservação pós-colheita, promovendo soluções inovadoras e sustentáveis para o aumento da vida útil de frutas e hortaliças (8). Sua aplicação em sistemas de embalagem e revestimento comestível visa não apenas aprimorar as propriedades estruturais e funcionais dos materiais, mas também introduzir funcionalidades ativas e inteligentes que interagem com o alimento e o ambiente, redefinindo o conceito de conservação de produtos perecíveis (17).

Os nanocompósitos consistem em materiais híbridos resultantes da incorporação de nanopartículas — geralmente com dimensões inferiores a 100 nanômetros — em uma matriz polimérica contínua (11). Essa integração confere ao material final propriedades físico-químicas, mecânicas e funcionais superiores às do polímero puro, devido à elevada área superficial e à reatividade das nanopartículas, que favorecem interações intermoleculares e modificações estruturais na matriz (5). Nos filmes e revestimentos comestíveis, as matrizes mais comumente empregadas são polímeros biodegradáveis como amido, quitosana, pectina, gelatina e proteínas vegetais (9). Esses biopolímeros, embora ambientalmente favoráveis, apresentam limitações quanto à resistência mecânica, permeabilidade a gases e estabilidade térmica (15). A adição de nanopartículas atua, portanto, como um reforço estrutural e funcional, ampliando a aplicabilidade desses materiais em sistemas de conservação alimentar (3).

A dispersão homogênea das nanopartículas na matriz polimérica é um fator determinante para o desempenho do nanocompósito (10). Quando bem distribuídas, essas

partículas formam caminhos tortuosos que dificultam a passagem de moléculas gasosas e de vapor d'água, reduzindo a taxa de respiração e a perda de umidade dos produtos revestidos (6). Estudos demonstram que filmes de quitosana ou amido reforçados com nanopartículas apresentam significativa redução na permeabilidade ao oxigênio e dióxido de carbono, contribuindo para retardar processos fisiológicos como o amadurecimento e a senescência de frutos climatéricos (19). Paralelamente, a melhoria nas propriedades mecânicas e térmicas aumenta a estabilidade dos revestimentos durante o manuseio, transporte e armazenamento, reduzindo fissuras e deformações (4).

Entre as nanopartículas mais estudadas, destacam-se as metálicas, em especial as de prata (Ag) e de óxido de zinco (ZnO) (1). As nanopartículas de prata exibem amplo espectro de ação antimicrobiana, atuando por múltiplos mecanismos, como a interação com grupos tiol (-SH) de enzimas celulares, o comprometimento da integridade da membrana e a indução de estresse oxidativo por espécies reativas de oxigênio (ROS) (16). Já as nanopartículas de óxido de zinco combinam propriedades antimicrobianas e antioxidantes, devido à sua capacidade fotocatalítica de neutralizar radicais livres, além de atuarem como barreiras físicas à colonização microbiana (7). Essas nanopartículas têm sido incorporadas com sucesso em revestimentos aplicados sobre frutas e hortaliças, resultando em redução da carga microbiana superficial e prolongamento da vida útil sem impacto sensorial significativo (13).

Além das nanopartículas metálicas, as argilas nanométricas, especialmente a montmorilonita, constituem uma classe relevante de nanocargas inorgânicas (2). Quando incorporadas a biopolímeros ou ceras naturais, como a cera de carnaúba, formam estruturas lamelares altamente ordenadas, nas quais as camadas de silicato criam um efeito de barreira eficiente contra gases e vapor d'água (12). Essa configuração impede a oxidação lipídica e reduz a desidratação superficial de frutos, sendo particularmente vantajosa para revestimentos de cítricos e outras frutas de alta umidade (14).

Nos últimos anos, tem ganhado destaque a associação entre nanotecnologia e bioativos naturais, por meio da nanoencapsulação de compostos antioxidantes e antimicrobianos — como óleos essenciais e extratos vegetais — em matrizes poliméricas (18). Essa abordagem melhora a estabilidade térmica e oxidativa dos compostos voláteis, além de permitir uma liberação controlada e gradual sobre a superfície do alimento, garantindo ação prolongada sem alterar as características sensoriais (9). Exemplos incluem a encapsulação de óleos essenciais de *Lippia gracilis*, cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum*) e limão (*Citrus limon*), com resultados promissores na inibição de fungos e bactérias em produtos minimamente processados (5).

Outro avanço emergente é o desenvolvimento de embalagens e revestimentos inteligentes baseados em nanocompósitos funcionais (17). Esses sistemas são capazes de detectar mudanças na condição do alimento, respondendo a variações de pH, concentração de gases (O_2 e CO_2), presença de microrganismos patogênicos ou sinais de deterioração (8). A integração de biossensores e indicadores de frescor, constituídos por nanopartículas sensíveis a variações químicas e biológicas, permite o monitoramento em tempo real da qualidade de frutas e hortaliças, oferecendo uma alternativa segura, sustentável e de alto valor agregado para a rastreabilidade pós-colheita (19).

A literatura científica recente evidencia que os nanocompósitos aplicados a filmes e revestimentos comestíveis representam um marco na transição para sistemas de embalagem multifuncionais e inteligentes (11). Tais materiais não apenas reforçam as propriedades físicas das matrizes biodegradáveis, mas também conferem funcionalidades ativas — antimicrobianas, antioxidantes e sensoriais — e interativas, alinhadas aos princípios de sustentabilidade e economia circular (6). Assim, o uso de nanocompósitos consolida-se como uma estratégia de ponta na conservação pós-colheita, permitindo o desenvolvimento

de embalagens biodegradáveis, ativas e inteligentes, capazes de preservar a qualidade nutricional e sensorial dos alimentos, reduzir desperdícios e atender às exigências de segurança e rastreabilidade da cadeia produtiva contemporânea (15).

Tabela 2 – Tecnologias de nanocompósitos aplicados a filmes e revestimentos comestíveis.

Tipo de nanopartícula	Efeito sobre barreira	Efeito antimicrobiano	Aplicação experimental
Nanopartículas de prata (Ag)	Redução da permeabilidade a gases, melhora mecânica	Amplamente bactericida, fungicida e antiviral	Frutas cítricas, hortaliças frescas
Nanopartículas de óxido de zinco (ZnO)	Aumenta barreira a gases e vapor, efeito fotocatalítico antioxidante	Eficaz contra bactérias Gram-positivas e Gram-negativas	Frutas frescas, hortaliças, efeito antioxidante na superfície
Nanoclay (montmorilonita)	Estrutura em camadas, maior resistência à difusão de gases e vapores	Barreira física contra microrganismos	Laranjas ‘Valencia’, cera de carnaúba compósitos
Nanoencapsulação de óleos essenciais	Liberação controlada de compostos bioativos, manutenção de barreira	Protege bioativos e mantém atividade antimicrobiana	Limão, cravo, *Lippia gracilis* encapsulados em quitosana

DESAFIOS E PERSPECTIVAS

Os revestimentos comestíveis, enquanto alternativa promissora às embalagens convencionais, enfrentam desafios técnicos, econômicos, regulatórios e sociais que demandam análise crítica fundamentada em evidências científicas (12). A transição de soluções desenvolvidas em laboratório para aplicações comerciais em larga escala requer a superação de barreiras multifatoriais, envolvendo desde as propriedades intrínsecas dos materiais até aspectos relacionados à viabilidade econômica, à aceitação do consumidor e à integração com políticas públicas de sustentabilidade (3).

Do ponto de vista técnico, os biopolímeros mais empregados ainda apresentam limitações significativas. Filmes à base de amido, embora biodegradáveis, abundantes e de baixo custo, são altamente permeáveis ao vapor d’água devido à sua natureza hidrofílica, o que reduz sua eficácia em ambientes com elevada umidade relativa (17). Estratégias como a combinação de diferentes polímeros, a adição de plastificantes ou a incorporação de nanopartículas têm demonstrado avanços promissores na melhoria das propriedades de barreira e flexibilidade dos filmes (5). Entretanto, alcançar desempenho equivalente aos materiais sintéticos de forma economicamente viável permanece um obstáculo considerável (9). A eficácia do revestimento também depende da compatibilidade entre seus componentes e o alimento ao qual é aplicado, já que formulações inadequadas podem comprometer a adesão e favorecer o surgimento de fissuras, prejudicando a função protetora (14).

No âmbito regulatório, a ausência de diretrizes específicas para embalagens ativas e inteligentes representa um entrave significativo à sua inserção comercial (8). A harmonização das normas entre diferentes países ainda é limitada, o que dificulta a padronização e a expansão global do uso desses materiais. É essencial que os órgãos reguladores estabeleçam critérios claros sobre os materiais permitidos, limites de migração

de aditivos e alegações funcionais que possam ser utilizadas em rótulos de alimentos (11). Além disso, todos os componentes devem ser comprovadamente seguros para consumo humano e ambientalmente inócuos (19). A aprovação de novos ingredientes, como nanopartículas e compostos de origem não convencional, depende de estudos toxicológicos robustos e de validação científica criteriosa (4).

A aceitação do consumidor constitui outro ponto crítico nesse processo. Embora haja crescente conscientização sobre sustentabilidade e redução de resíduos plásticos, a adoção de revestimentos comestíveis depende de fatores sensoriais e perceptivos (16). Esses materiais devem ser organolepticamente neutros, evitando alterações indesejáveis no sabor, aroma ou textura do alimento (2). A confiança do consumidor pode ser fortalecida por meio de estratégias de comunicação transparente e de campanhas educativas que evidenciem os benefícios ambientais e a segurança das tecnologias de "rótulo limpo" (7).

Do ponto de vista ambiental, embora os revestimentos biodegradáveis contribuam para reduzir a dependência de polímeros sintéticos, é fundamental considerar seu ciclo de vida completo (13). A degradação de alguns biopolímeros ocorre apenas sob condições específicas, como em sistemas de compostagem industrial, o que limita sua efetividade quando descartados em ambientes inadequados (18). Além disso, a produção das matérias-primas e o processamento industrial também podem gerar impactos ambientais relevantes, reforçando a necessidade de práticas mais sustentáveis (6). A utilização de resíduos agroindustriais como insumos surge como estratégia promissora, alinhando essa tecnologia aos princípios da bioeconomia e da economia circular (10).

Apesar das barreiras, as perspectivas futuras são amplamente positivas. O avanço de tecnologias emergentes pode ampliar as funcionalidades e a eficiência dos revestimentos (1). O desenvolvimento de embalagens inteligentes, capazes de monitorar a qualidade e segurança dos alimentos em tempo real, representa um avanço expressivo rumo a sistemas mais seguros e sustentáveis (15). Paralelamente, o uso de nanotecnologia e de sistemas de liberação controlada de compostos bioativos apresenta potencial para aprimorar propriedades de barreira e permitir a liberação gradual de substâncias antimicrobianas e antioxidantes (9).

No horizonte estratégico, o fortalecimento do mercado dependerá da interação entre inovação tecnológica, aceitação social e regulação adequada (5). A convergência entre biopolímeros renováveis, compostos bioativos naturais e ferramentas digitais de rastreabilidade projeta os revestimentos comestíveis como elementos centrais na modernização da indústria de alimentos (14). Essa integração entre ciência, tecnologia e sustentabilidade posiciona os revestimentos comestíveis como protagonistas na transição para sistemas alimentares mais resilientes, seguros e ambientalmente responsáveis (17).

CONCLUSÃO.

Em síntese, os revestimentos comestíveis configuram-se como uma tecnologia emergente de grande relevância para a indústria de alimentos, ao integrarem preservação da qualidade pós-colheita, extensão da vida útil, segurança microbiológica e sustentabilidade ambiental. Os principais desafios ainda estão relacionados às limitações físico-químicas dos biopolímeros, à compatibilidade entre componentes ativos, ao escalonamento industrial, aos custos de produção, à aceitação do consumidor e às exigências regulatórias. No entanto, avanços recentes em nanotecnologia, sistemas de liberação controlada e embalagens inteligentes demonstram elevado potencial para superar essas barreiras. Dessa forma, os revestimentos comestíveis consolidam-se como uma estratégia tecnológica inovadora e viável, capaz de transformar práticas de conservação, armazenamento e distribuição de frutas

e hortaliças, alinhando inovação científica às demandas crescentes por alimentos seguros, funcionais e ambientalmente responsáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SILVA, L. G. M.; SARTO, L. E.; ROCHA, M. C. Influência do revestimento comestível a base de amido e cera de abelha na preservação da qualidade pós-colheita de tomates italianos. **Research, Society and Development,** v. 11, n. 7, p. e54111728387, 2022.
2. CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Produção anual de tomate cereja no Brasil em 2024.** Brasília, 2024.
3. ORNELAS, V. J.; ALVES, G. A.; GUIMARÃES, V. D. O.; MENDES, F. Q.; MORAES, A. R. F. E. M.; FERNANDES, M. E. Revestimentos dos frutos prolongam a vida de prateleira do tomateiro? Utilização da polpa de tomate em revestimento comestível para o fruto. In: **Avanços da pesquisa e inovação em sistemas agrícolas: conjunturas da Ciências Agrárias.** São Carlos: Editora Científica Digital, 2023. v. 1, p. 143-152.
4. CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio.** 2. ed. Lavras: UFLA, 2005.
5. COSTA, F.; BRAGA, R. C.; BASTOS, M. D. S. R.; SANTOS, D. N.; FROTA, M. M. Revestimentos comestíveis à base de fécula de mandioca (Manihot esculenta) em produtos vegetais: uma revisão. **Research, Society and Development,** v. 11, n. 4, p. e55511427597, 2022.
6. FRIEDRICHSEN, J. S. A.; BRUNI, A. R. S.; LIMA FIGUEIREDO, A.; SANTOS, E. D. O.; SILVA, G. A. R.; SILVA GOMES, E.; SANTOS, O. O. Propriedades e funcionalidades oferecidas a alimentos por filmes e revestimentos comestíveis: Uma revisão. **Research, Society and Development,** v. 11, n. 13, p. e468111335649, 2022.
7. MENEZES, K. R. P.; SOUZA SANTOS, G. C.; OLIVEIRA, O. M.; SANCHES, A. G.; CORDEIRO, C. A. M.; OLIVEIRA, A. R. G. Influência do revestimento comestível na preservação da qualidade pós-colheita de tomate de mesa. In: **Colloquium Agrariae.** v. 13, n. 3, p. 14-28, 2017.
8. ARQUELAU, P. B. F.; OLIVEIRA, E. G. Filmes e revestimentos comestíveis incorporados de bagaço de uva (Vitis spp.): uma revisão bibliográfica. **Ciência dos Alimentos: Pesquisa e Aplicações,** v. 4, p. 14-28, 2023.
9. KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal.** 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 413 p.
10. AQUINO, D.; SANTOS, R. A.; MOREIRA, E. D. S.; XAVIER, M. L.; ARANHA, C. L. S.; PEREIRA, M. A.; BRANDÃO, M. R. S. Conservação Pós-Colheita de Tomate-Cereja Orgânico com Revestimento Comestível e Adicionado de Óleo Essencial de Manjericão. **Estudos, Pesquisa e Extensão em Ciências e Tecnologia de Alimentos,** v. 1, p. 129-153, 2021.
11. FERREIRA, F. F.; OTA, D. S.; CAMPOS, L. F.; SHIRAI, M. A.; COELHO, A. R. Incidência de infecção por Penicillium expansum em maçãs contendo revestimento comestível com composto antifúngico natural. In: **Tecnologia e microbiologia sob a perspectiva da segurança dos alimentos.** São Carlos: Editora Científica Digital, 2022. v. 2, p. 110-123.
12. BARBOZA, H. T. G.; SOARES, A. G.; FERREIRA, J. C. S.; SILVA, O. F. Filmes e revestimentos comestíveis: conceito, aplicação e uso na pós-colheita de frutas, legumes e vegetais. **Research, Society and Development,** v. 11, n. 9, p. e9911931418, 2022.
13. RIBEIRO, M. B.; SOUZA, P. A. Uso de revestimentos biodegradáveis em pós-colheita de frutas: uma revisão. **Ciência dos Alimentos: Pesquisa e Aplicações,** v. 1, p. 84-99, 2023.

14. VIEIRA, C. L.; ASCHERI, D. P. R.; SIGNINI, R. Revestimento em frutas com quitosana pura e misturada a outros materiais: uma revisão sistemática. **Revista Processos Químicos,** v. 16, n. 31, p. 29-43, 2022.
15. RODRIGUES, E.; SILVA, F.; BARROS, C.; ALMEIDA, J.; BARROS, N.; NOBRE, E. Utilização de revestimentos comestíveis de óleo de girassol, pectina natural, gelatina incolor e fécula de mandioca na conservação pós-colheita de acerola e goiaba. **Brazilian Journal of Development,** v. 8, n. 4, p. 27542-27557, 2022.
16. CALZA, S.; BORDIGNON, R.; STREY, C. B.; DALLA ROSA, A.; FORALOSSO, F. B.; GILIOLI, A.; SILVEIRA, S. M. Avaliação de revestimento comestível à base de alginato e óleo essencial de capim-limão (Cymbopogon flexuosus) na qualidade pós-colheita de mirtilos (Vaccinium corymbosum). **Anais da Mostra de Iniciação Científica do Instituto Federal Catarinense Campus Concórdia,** v. 12, n. 1, p. 32, 2022.
17. RODRIGUES, E.; SILVA, F.; BARROS, C.; ALMEIDA, J.; BARROS, N.; NOBRE, E. Utilização de revestimentos comestíveis de óleo de girassol, pectina natural, gelatina incolor e fécula de mandioca na conservação pós-colheita de acerola e goiaba. **Brazilian Journal of Development,** v. 8, n. 4, p. 27542-27557, 2022.
18. CARVALHO, S. A.; FIGUEIREDO NETO, A.; COSTA, M. S.; COSTA, J. D. S.; PEREIRA FILHO, A.; ARAGÃO, C. A. Effects of the application of biodegradable coatings on post-harvest tomato conservation. **Research, Society and Development,** v. 11, n. 9, p. e59011931677, 2022.
19. RAGAZZON, D.; PINHEIRO, M. F.; GOMES, M. M.; QUAST, E.; LIMA, C. S. M. Conservação de mamão Formosa minimamente processado com uso de ácido cítrico. **Revista Faz Ciência,** v. 25, n. 42, p. 1-15, 2023.
20. ALVES, S. S. A.; COSTA, A. M. T.; SILVA, A. V.; SIMÕES, C. V. S.; SOUZA, I. A.; COSTA, R. M. C. E.; STAMFORD, T. C. M. Revestimentos comestíveis à base de polissacarídeos em frutas: uma revisão narrativa. In: **Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos.** 2022. v. 6, p. 388-402.
21. SHELLY, D.; SINGHAL, V.; SINGH, S.; NANDA, T.; MEHTA, R.; LEE, S. Y.; PARK, S. J. Exploring the impact of nanoclay on epoxy nanocomposites: A comprehensive review. **Journal of Composites Science,** v. 8, n. 12, p. 506, 2024.
22. OLIVEIRA FILHO, J. G. **Nanoemulsões à base de plantas com óleos essenciais como revestimentos comestíveis: uma nova abordagem para preservação de morangos.** 2022. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara, 2022.
23. SIMÕES, M. P.; VELOSO, A.; GASPAR, P. D.; ESPÍRITO SANTO, C.; SILVA, P. D.; ANDRADE, L. P. PrunusPÓS-Otimização de processos de armazenamento, conservação em frio, embalamento ativo e/ou inteligente, e rastreabilidade da qualidade alimentar no pós-colheita de produtos frutícolas. In: **Grupos Operacionais de Fruticultura 2018-2022.** 2021. p. 404-427.
24. MENEZES, F. L. G. **Avaliação de filmes biopoliméricos com incorporação de nanopartículas de TiO2 e sua aplicação na conservação pós-colheita do mamão.** 2021. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Fortaleza, 2021.
25. SANTOS JUNIOR, J. R. **Desenvolvimento e caracterização de filme compósito e sua aplicação na conservação de frutas do maracujazeiro–amarelo (Passiflora edulis Sims f. Flavicarpa).** 2023. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2023.
26. SILVA, A. P.; SILVA, A. M.; BERNARDES, T. G.; SILVA FERREIRA, A. F.; MESQUITA, M. A. M.; COSTA, J. R. M. Biofilme a base de fécula de mandioca, gelatina e óleo de soja

na conservação pós-colheita de banana prata. **Cadernos de Agroecologia,** v. 19, n. 1, p. 1-15, 2024.

27. MARTINS, B. L.; ARAÚJO, R. H.; ROCHA, J. L.; SILVA, T. I.; ALVES, K. D. A.; ALMEIDA, E. S.; FERREIRA, K. N. Nano-óxido de zinco e bioinoculantes na qualidade pós-colheita da berinjela submetidas a déficit hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** v. 28, p. e279019, 2024.
28. VELOSO, L. K. S.; RIBEIRO, M. G. R.; PAIVA, M. A. M.; COSTA, T. B. F.; CARVALHO, W. C. B.; MATIAS, W. L.; OBREGON, R. D. F. A. Aplicações da nanotecnologia em embalagens inteligentes para alimentos. **Lumen et Virtus,** v. 15, n. 38, p. 1010-1021, 2024.
29. TEIXEIRA, S. C.; SOARES, N. D. F. F.; STRINGHETA, P. C. Desenvolvimento de embalagens inteligentes com alteração colorimétrica incorporadas com antocianinas: uma revisão crítica. **Brazilian Journal of Food Technology,** v. 24, p. e2021033, 2021.
30. ROSSETO, M.; RIGUETO, C. V. T.; DETTMER, A.; LOSS, R. A.; PIZZUTTI, I. R.; SANTOS, N. S. P. Adição de compostos bioativos em embalagens alimentícias ativas e inteligentes: tendências, avanços e desafios. In: **Compostos Bioativos e Suas Aplicações.** 2021. p. 1-25.
31. TEIXEIRA, S. C.; SOARES, N. D. F. F.; STRINGHETA, P. C. Desenvolvimento de embalagens inteligentes com alteração colorimétrica incorporadas com antocianinas: uma revisão crítica. **Brazilian Journal of Food Technology,** v. 24, p. e2021033, 2021.
32. MKHARI, T.; ADEYEMI, J. O.; FAWOLE, O. A. Recent advances in the fabrication of intelligent packaging for food preservation: a review. **Processes,** v. 13, n. 2, p. 539, 2025.
33. LI, X.; LIU, D.; PU, Y.; ZHONG, Y. Recent advance of intelligent packaging aided by artificial intelligence for monitoring food freshness. **Foods,** v. 12, n. 15, p. 2976, 2023.
34. DUDAR, C. M.; LOPES, G. P. Análise da aplicação de revestimentos comestíveis na conservação pós-colheita de citros. **Revista Científica Maratauira,** v. 1, p. 01-08, 2024.

Capítulo 40

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-40

CARACTERIZAÇÃO MICROBIOLÓGICA DE REVESTIMENTO COMESTÍVEL À BASE DE ÓLEO ESSENCIAL EM MORANGOS

Victória Cristina Gomes Colman*; Eryck Allan Alves Fernandes ;Francisco Bruno Ferreira de Freitas; Weslayna Firme Ferreira; Thais Ribeiro Luna de Melo; Luderlândio de Andrade Silva; Alfredina dos Santos Araújo

**Victória Cristina Gomes Colman – Email: vikcolman@gmail.com*

Resumo: O morango (*Fragaria ananassa*) é um fruto de elevado valor nutricional, mas altamente perecível devido à sua rápida degradação microbiológica. Revestimentos comestíveis à base de biopolímeros e óleos essenciais representam alternativas sustentáveis para prolongar sua vida útil. Este estudo teve como objetivo avaliar a qualidade microbiológica de morangos revestidos com diferentes formulações contendo óleo essencial de cravo-da-índia (0,5%, 1,0% e 1,5%), durante 14 dias de armazenamento refrigerado (± 5 °C). As amostras foram analisadas quanto a coliformes a 35 °C e 45 °C (NMP/g), bolores e leveduras (UFC/g) e *Salmon*ella spp. em 25 g, conforme a RDC nº 161/2022. Os resultados mostraram que as formulações controle (F1) e sem óleo essencial (F2) apresentaram contagens de coliformes a 35 °C superiores a 110 NMP/g, presença de *Salmonella* spp. e bolores e leveduras acima de 1,0 × 10^3 UFC/g. Já as formulações com óleo essencial (F3 – 0,5%, F4 – 1,0% e F5 – 1,5%) apresentaram ausência de *Salmonella* spp., coliformes a 35 °C abaixo de 2 NMP/g e contagens de bolores e leveduras reduzidas para < 10^2 UFC/g. Conclui-se que os revestimentos contendo óleo essencial de cravo-da-índia apresentaram eficiência antimicrobiana e antifúngica significativa, garantindo conformidade com a legislação vigente, maior segurança microbiológica e prolongamento da vida útil dos morangos.

Palavras–chave: *Fragaria ananassa*; microrganismos; tempo de prateleira

INTRODUÇÃO

O morangueiro é classificado na família *Rosaceae*, pertencendo ao gênero *Fragaria* e à espécie *Fragaria x ananassa* Duch. ex Rozier, a qual se originou do cruzamento entre *F. chiloensis* e *F. virginiana* (1). O morango é um pseudofruto que destaca-se não apenas pelo seu valor econômico, mas também por suas qualidades sensoriais e pelo relevante conteúdo nutricional que apresenta (2).

A produção mundial de morangos alcançou 9.175.384 toneladas, em 389.384 hectares com produtividade média de 23,5 toneladas por hectare. Nesse cenário, o Brasil ocupa a 14ª posição em área cultivada, (5.084 ha), e a 9ª posição em produção (197.000 toneladas) (3). Segundo o Instituto de Economia Agrária, regionalmente, Minas Gerais lidera com 57,9% da produção nacional, seguido pelo Rio Grande do Sul (13,8%) e Paraná (7,1%) (4).

As perdas pós-colheita de morangos variam entre 25% e 50%, reflexo de sua alta perecibilidade e da reduzida vida útil, limitada a aproximadamente uma semana. Esses prejuízos estão relacionados a diversos fatores, como condições de armazenamento, tipo de embalagem, danos mecânicos, fragilidade do fruto, intensa atividade metabólica e suscetibilidade ao ataque de microrganismos (5;6), tais fatores podem acarretar em descartes dos pseudofrutos ocasionando queda na comercialização e em danos econômicos.

De acordo com Tian (7), grande parte das perdas pós-colheita está associada à deterioração dos frutos provocada por diferentes patógenos. Fungos e bactérias constituem os principais grupos microbianos envolvidos nos processos de deterioração de alimentos vegetais (8). Nesse sentido, as estratégias de inibição e controle da podridão e da contaminação microbiana representam as principais alternativas para minimizar tais prejuízos após a colheita (9;10).

Embora as embalagens convencionais contribuam para a conservação dos alimentos e a preservação de suas qualidades, seu descarte apresenta um problema ambiental por não serem biodegradáveis e demorarem a se decompor. Diante disso, o desenvolvimento e a aplicação de filmes ou coberturas comestíveis têm sido estudados como alternativa promissora, especialmente para a conservação de frutas, conciliando viabilidade técnica e sustentabilidade ambiental (11;12).

A formulação de revestimentos comestíveis tem incorporado o uso de biopolímeros, tais como proteínas, polissacarídeos, ceras e resinas, os quais podem ser empregados de forma isolada ou em combinação, a depender das características desejadas no produto final (13). Os óleos essenciais, obtidos a partir de plantas medicinais, apresentam propriedades antimicrobianas, antioxidantes e anti-inflamatórias, configurando-se como uma alternativa natural e eficiente para a extensão da vida útil dos alimentos (14).

O óleo essencial de cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum* (L.) Merr.) apresenta como composto majoritário o eugenol, responsável por seu aroma característico e por propriedades antimicrobianas e antioxidantes, o que o torna promissor no desenvolvimento de embalagens ativas em substituição a aditivos sintéticos (15;16).

Diante disso, este estudo teve como objetivo caracterizar microbiologicamente um revestimento comestível formulado com óleo essencial de cravo-da-índia, glicerina e amido de milho, bem como avaliar sua eficiência na conservação pós-colheita de morangos armazenados sob refrigeração (± 5 °C) por 14 dias.

MATERIAL E MÉTODOS

Os botões florais do cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum*) foram adquiridos no comércio local da cidade de Pombal-PB e encaminhados aos Laboratórios do Centro Vocacional Tecnológico (CVT) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), *campus* Pombal.

Para a extração do óleo essencial, 30g de botões florais desidratados foram pesados e transferidos para um balão de fundo redondo de 500 mL, ao qual se adicionou água destilada na proporção de 10:100 (massa:volume).

A extração foi realizada por hidrodestilação por arraste a vapor, utilizando aparelho do tipo Clevenger, durante 4 a 6 horas. O óleo obtido foi separado da fase aquosa por centrifugação a 3.000 rpm por 10 minutos. Em seguida, foi coletado, acondicionado em frascos de vidro âmbar com tampa rosqueada e armazenado sob refrigeração até as análises e a elaboração dos revestimentos.

Morangos (*Fragaria x ananassa* cv. 'San Andreas') foram adquiridos de um revendedor local, oriundos da Fazenda Rancho Alegre (Barra da Estiva – BA, Chapada Diamantina), cuja produção ocorre em sistema semi-hidropônico. No laboratório, os frutos foram selecionados quanto à uniformidade de tamanho, forma, coloração e ausência de danos mecânicos ou contaminação visível. Posteriormente, foram sanitizados em solução de água clorada (200 ppm) por 15 minutos e enxaguados em água corrente para remoção do excesso de cloro residual.

Formulações dos revestimentos

Em relação aos componentes das formulações utilizadas para a produção dos revestimentos, foram realizados cinco formulações todas de acordo a metodologia de Holsbach *et al*. (17) com algumas modificações das concentrções das formulações. Onde a F1 – Controle (morangos *in natura*); F2 – Morango + Amido + Glicerol; F3 – Morango + Amido + Glicerol + Óleo essencial de cravo-da-índia à 0,5%; F4 – Morango + Amido + Glicerol + Óleo essencial de cravo-da-índia à 1%; e F5 – Morango + Amido + Glicerol + Óleo essencial de cravo-da-índia à 1,5% (Tabela 1).

Tabela 1 – Concentrações para cada formulação dos revestimentos comestíveis nos morangos.

Formulações	Componentes			
	Amido de milho (g)	**Glicerina (mL)**	**Água destilada (mL)**	**Óleo essencial (mL)**
F1	-	-	-	-
F2	15	10	500	-
F3	15	10	500	0,5
F4	15	10	500	1
F5	15	10	500	1,5

Fonte: Autoria própria, 2025

O amido foi dissolvido gradualmente em água destilada sob agitação contínua e aquecimento até completa solubilização. A 50 °C, adicionaram-se a glicerina e o óleo essencial, mantendo-se a agitação até homogeneização. Após 30 minutos, a solução foi resfriada em banho de gelo.

Aplicação dos revestimentos

Os morangos foram imersos nas soluções por 3 minutos e drenados para retirar o excesso de solução (17). Por fim, as amostras revestidas foram acondicionadas em bandejas de 20 x 15 x 1,5 cm de isopor. O número de morangos por bandeja foi padronizado com

aproximadamente 100 g.

Os morangos foram imersos nas soluções filmogênicas por 3 minutos, drenados para remoção do excesso e acondicionados em bandejas de isopor (20 × 15 × 1,5 cm), padronizadas com aproximadamente 100 g de frutos. As amostras foram armazenadas em câmara BOD a 2 °C por 14 dias. As análises foram realizadas nos tempos 0, 7 e 14 dias de armazenamento, conforme Figura 1.

As análises microbiológicas realizadas foram Coliformes à 35 °C (NMP/g) e Coliformes à 45 °C (NMP/g), utilizando a técnica do Número Mais Provável (NMP); Bolores e leveduras/g onde as placas foram incubadas a 35 °C por 5 dias, utilizadando a técnica Unidade de Formação de Colônias (UFC/g); e *Salmonella*/25g incubados a temperatura de 36 ± 1 °C por 48 horas, para a determinação de presença ou ausência, todos de acordo com a metodologia recomendada por Silva (18). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

Figura 1 – Preparação e aplicação dos revestimentos comestíveis nos morangos.



*Processo da preparação do revestimento com adição do (A) 15g do amido de milho, 500ml de água, (B e C) 10 ml de glicerina P.A 99,90%, (D) e as diferentes concentrações do óleo essencial de cravo-da-índia, seguidos de (E) aquecimento à 100°C até homogeneização. O (F) morango *in natura* foi (G) emergido na solução por 3 minutos e (H e I) transportados cerca de 100g dos mesmos para bandejas de acordo com cada formulação. Os mesmos foram submetidos ao (J) armazenamento a uma temperatura de 2°C.
Fonte: Autor (2023).

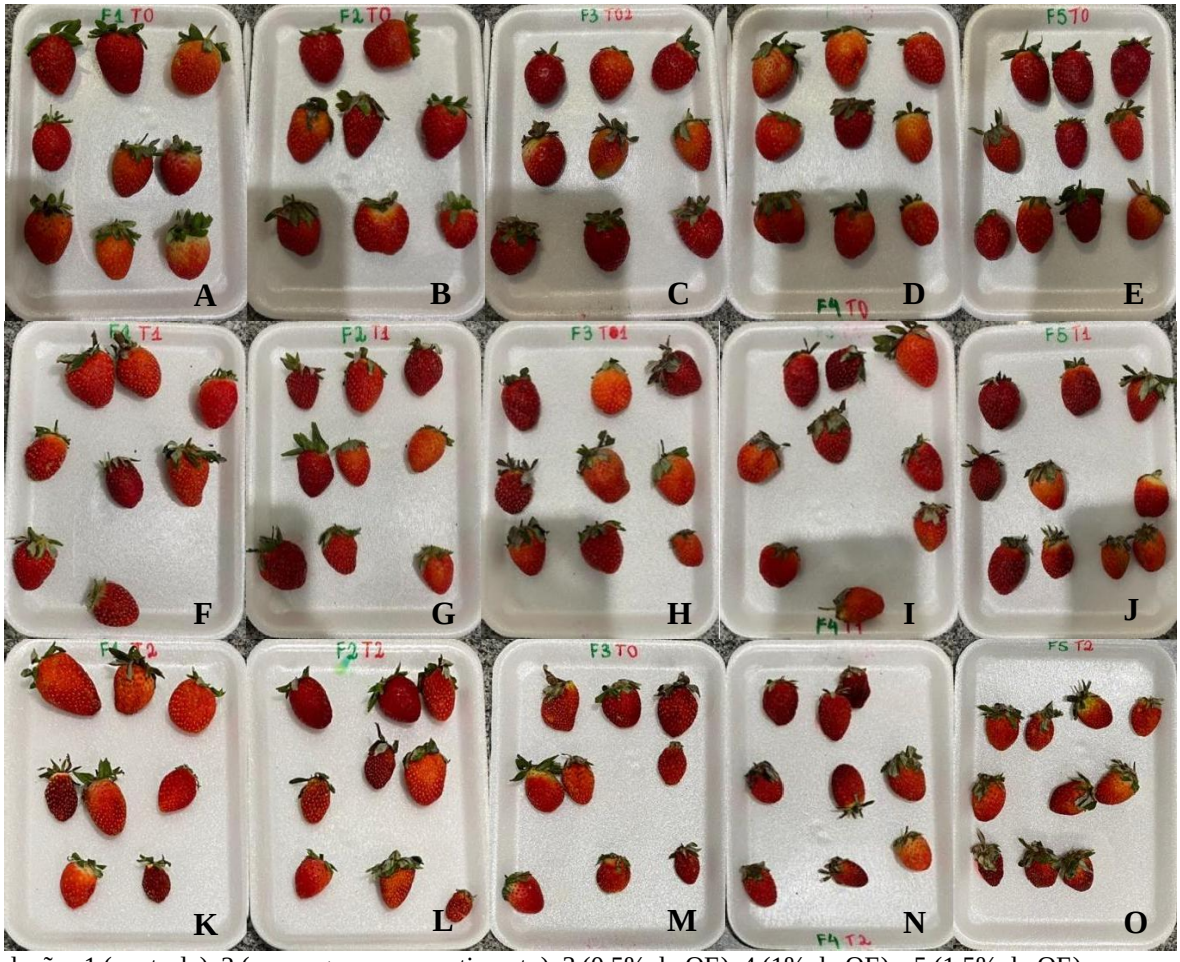
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os óleos essenciais têm se destacado como aditivos promissores para incorporação em filmes poliméricos, possibilitando a produção de embalagens ativas com propriedades funcionais. Entre eles, o óleo essencial de cravo-da-índia apresenta como composto majoritário o eugenol (4-alil-2-metoxifenol), cuja concentração pode variar de 69,52 a

96,34%, dependendo de condições de cultivo e colheita. Esse constituinte é responsável pelo aroma característico da especiaria, associado à presença do anel aromático, quanto pelas propriedades farmacológicas atribuídas à espécie. Além disso, por apresentar atividades antimicrobiana e antioxidante, o eugenol tem sido amplamente investigado para aplicação no desenvolvimento de embalagens ativas, configurando-se como alternativa natural aos aditivos sintéticos (15;16).

A Figura 2 representa os morangos revestidos com as diferentes formulações de óleo essencial de cravo para cada tempo de armazenamento (0, 7 e 14 dias).

Figura 2 – Morangos revestidos com diferentes formulações durante os 14 dias de armazenamento.



As formulações 1 (controle), 2 (morango com revestimento), 3 (0,5% do OE), 4 (1% do OE) e 5 (1,5% do OE) nos tempos (A, B, C, D e E) 0, (F, G,H, I e J) 7 e (K, L, M, N e O) 14 dias de armazenamento. Fonte: Autor (2023).

De acordo com as análises microbiológicas os morangos da variedade *San Andreas*, revestidos com óleo essencial de cravo-da-índia e armazenados por 14 dias, observou-se que, segundo os critérios estabelecidos pela RDC nº 161 da ANVISA (2022), os frutos frescos devem atender aos seguintes parâmetros: limite máximo de 2×10^3 UFC.g^{-1} para coliformes a 45 °C e ausência de *Salmonella* spp. em 25 g de amostra (19).

Os morangos das formulações 1 (controle) e 2 (revestidos com amido + glicerol)

apresentaram contaminação por coliformes a 35 °C e 45 °C. Em contrapartida, as amostras revestidas com formulações contendo óleo essencial de cravo-da-índia apresentaram valores de coliformes a 45 °C abaixo dos limites estabelecidos pela legislação, variando entre <1,8 e 2 NMP/g, em conformidade com a legislação vigente, ou seja, a RDC n.º 161/2022. Santos *et al*. (20) que não detectaram contaminação microbiológica em tomates revestidos com cloreto de cálcio ao longo de 21 dias de armazenamento refrigerado.

As bactérias gram-negativas da família *Enterobacteriaceae* apresentam morfologia em bastonete, sendo majoritariamente anaeróbias facultativas e capazes de fermentar glicose. Embora muitas espécies habitem o intestino de humanos e outros animais, elas também podem ser encontradas na água e em ambientes naturais. Composta por mais de 170 espécies, algumas são patogênicas, incluindo *Salmonella*, *Shigella* e *Escherichia coli*. A presença desses microrganismos em alimentos é frequentemente utilizada como indicador de falhas nos processos de higiene e sanitização (8).

Quanto ao parâmetro *Salmonella*/25g. da amostra, apresentaram presença nas Formulações 1 e 2 e ausência nas formulações revestidas com óleo essencial de cravo nas diferentes concentrações, explicado pela utilização do óleo do cravo da índia e a presença dos seus compostos. Muzzi e Portugal (8) revelaram resultados semelhantes para análise microbiológica de frutas e hortaliças minimamente processadas.

Esse microrganismo pode provocar infecções zoonóticas por contato com animais infectados ou pelo consumo de alimentos contaminados em decorrência de práticas inadequadas de manipulação. Além disso, a capacidade da *Salmonella*. spp. de se adaptar a diferentes condições ambientais, como variações de temperatura, pH e baixa atividade de água, representa desafios significativos para a indústria alimentícia (21).

Com relação aos resultados para Bolores e leveduras/g dos morangos revestidos, observou-se um aumento na contagem ao longo do período de análise até o sétimo dia, sendo ausentes até 14 dias de armazenamento. A maior população de Bolores e leveduras/g foi registrada na formulação controle. Por outro lado, as formulações F3, F4 e F5 não apresentaram crescimento microbiano durante todo o período de armazenamento, evidenciando que a incorporação do óleo essencial de cravo-da-índia nos revestimentos comestíveis apresenta potencial efeito antifúngico. A legislação sanitária não estabelece limite para a contagem de bolores e leveduras para morangos.

De acordo com Thiel *et al.* (22), na "Avaliação de filme a base de fibra de colágeno com adição de óleo essencial de pimenta rosa na conservação pós-colheita de morangos", os filmes produzidos a partir de fibra de colágeno não apresentaram diferenças significativas em comparação ao filme sintético. Diferentemente de Lopes (23) cujo estudo utilizou revestimento à base de carvacrol mostrando eficiência na inibição e redução do aparecimento de Bolores e leveduras/g, corroborando com os resultados do presente estudo.

Os fungos podem ser representados por bolores, quando pluricelulares, e por leveduras, quando unicelulares. Ambos os grupos desempenham papel importante na deterioração de vegetais, sendo os bolores particularmente relevantes por sua capacidade de produzir micotoxinas (8).

A análise microbiológica dos morangos revestidos com óleo essencial de cravo-da-

índia demonstrou-se relevante e satisfatória, evidenciando a eficácia do tratamento na preservação da qualidade microbiológica dos pseudofrutos. Os resultados obtidos estão em conformidade com as normas e regulamentos vigentes, o que assegura a segurança alimentar, a aceitabilidade do produto e contribui para a extensão da vida de prateleira.

CONCLUSÕES

Em síntese, os revestimentos comestíveis configuram-se como uma tecnologia emergente de grande relevância para a indústria de alimentos, ao integrarem preservação da qualidade pós-colheita, extensão da vida útil, segurança microbiológica e sustentabilidade ambiental. Os principais desafios ainda estão relacionados às limitações físico-químicas dos biopolímeros, à compatibilidade entre componentes ativos, ao escalonamento industrial, aos custos de produção, à aceitação do consumidor e às exigências regulatórias. No entanto, avanços recentes em nanotecnologia, sistemas de liberação controlada e embalagens inteligentes demonstram elevado potencial para superar essas barreiras. Dessa forma, os revestimentos comestíveis consolidam-se como uma estratégia tecnológica inovadora e viável, capaz de transformar práticas de conservação, armazenamento e distribuição de frutas e hortaliças, alinhando inovação científica às demandas crescentes por alimentos seguros, funcionais e ambientalmente responsáveis.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro Vocacional Tecnológico (CVT) da Universidade Federal de Campina Grande – *Campus* Pombal, bem como a todos os colaboradores do laboratório, pelo apoio, empenho e dedicação na realização das análises e na obtenção dos resultados deste trabalho.

REFERÊNCIAS

1. Ganéo VD, Germek HA, Medina MNCJ. Revisão bibliográfica: shelf life do morango. Prospectus. 2024;6:1131-1157.

2. Nunes G, Novello D. Morango (*Fragaria* x *ananassaduch.*): produtividade, composição química, nutricional e sensorial. Revista Valore. 2021;6:1-19.

3. FAOSTAT. [acesso em 12 Set 2025]. Disponível em: https://www.fao.org/faostat/en/#home.

4. Instituto de Economia Agrícola. [acesso em 12 Set 2025]. Disponível em: http://www.iea.sp.gov.br/OUT/artigosaia2.php?codTipo=2&ano=2023.

5. Chitarra MIF, Chitarra AB. Pós-Colheita de Frutas e Hortaliças: Fisiologia e Manuseio. Revista Amplificador. 2005;2:783.

6. Costa FB. Fisiologia e conservação de cultivares de morangos inteiros e minimamente processados [tese]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2009.

7. Tian SP. Microbial control of postharvest diseases of fruits and vegetables: Current concepts and future outlook. Microbial Biotechnology in Horticulture. 2006; 1:163-202.

8. Muzzi ECAS, Portugal LS. Análise microbiológica de frutas e hortaliças minimamente processadas e in natura comercializadas em um supermercado no município de Marília-SP [monografia]. Marília: Faculdade de Tecnologia de Marília "FATEC"; 2024.

9. Temiz NN, Özdemir KS. Microbiological and physicochemical quality of strawberries (*Fragaria* × *ananassa*) coated with *Lactobacillus rhamnosus* and inulin enriched gelatin films. Postharvest Biology and Technology. 2021;173: 111-433.

10. Sun Y, Wang Y, Xu Y, Chen T, Li B, Zhang Z, Tian Z. Application and mechanism of benzyl-isothiocyanate, a natural antimicrobial agent from cruciferous vegetables, in controlling postharvest decay of strawberry. Postharvest Biology and Technology. 20211;180: 111-604.

11. Batista JA. Desenvolvimento, Caracterização e aplicações de Biofilmes a Base de Pectina, Gelatina e Ácidos graxos em Bananas e sementes de Brócolos [dissertação]. Campinas: Faculdade de Engenharia de Alimentos; 2004.

12. Turquett LCGB, Bastos RA, Lima JP, Valente GFS. Avaliação da cobertura comestível elaborada a partir de quitosana, farelo de arroz e fécula de mandioca na conservação pós-colheita de morangos. Brazilian Journalof Development. 2021; 7:33153-33171.

13. Jafarzadeh S, Nafchi AM, Salehabadi A, Oladzad-abbasabadi N, Jafari SM. Application of bio-nanocomposite films and edible coatings for extending the shelf life of fresh fruits and vegetables. Advances in Colloid and Interface Science. 2021; 291:102-405 .

14. Oliveira CD, Alvarenga GF, Venâncio AH, Balduino BA, Cardoso MG. Utilização dos óleos essenciais nos alimentos: uma revisão. In: Inovação, Gestão e Sustentabilidade na Agroindústria, Congresso Internacional de Agroindustria (CIAGRO) II, 2021;17.

15. Gomes PRB, Mouchrek Filho VE, Rabêlo WF, Do Nascimento AA, Louzeiro HC, Lyra WS, Fontenele MA. Chemical characterization and cytotoxicity of clove essential oil. Rev. Colomb. Cienc. Quim. – Farm. 2018;47:37-52.

16. De Andrade MF, Silva IDL, Da Silva GA, Cavalcante PVD, Da Silva FT, De Almeida YMB, Vinhas GM, De Carvalho LH. A study of poly (butylene adipate-co-terephthalate)/orange essential oil films for application in active antimicrobial packaging. LWT Food Sci. Technol. 2020; 125:109-148.

17. Holsbach FMS, Pizato S, Fonteles NT, Souza PD, Pinedo RA, Cortez-Vega WR. Avaliação da vida útil de mamão formosa (*Carica papaya* L.) minimamente processado utilizando coberturas de amido de mandioca e óleo essencial de cravo.

Journal of Bioenergy and Food Science. 2019; 6:78-96.

18. Silva N, Junqueira VCA, Silveira, NFA, Taniwaki MH, Gomes RAR, Okazaki MM, Iamanaka BT. Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água. São Paulo: Livraria Varela, 2020.

19. BRASIL. (2022). Agência Nacional de Vigilância Sanitária. RDC nº 161, de 1 de julho de 2022. Diário Oficial da União.

20. Santos MMS, Paula NRF, Macedo MAA, Lima VG, Pereira LM, Aragão DF, Santos MRR, Santana, EVM, Pereira AR. Qualidade fisico-quimicas e microbiológicas de revestimentos comestíveis de cloreto de calcio na conservação pós-colheita de tomate. Observatório de la Economía Latinoamericana. 2024;22:01-31.

21. Fasanelo MG, Borges ACB, Godoi MAR, Nunes MCR, Sheng LY, Vieira TB. Pesquisa de Salmonellasp. em frutas minimamente processadas comercializadas em Sinop –MT. Scientific Electronic Archives. 2024;17:01-06.

22. Thiel SR, Giacomelli FO, Oliveira MSR, Padilha M, Dornelles RCP, Mello RO. Avaliação de filme a base de fibra de colágeno com adição de óleo essencial de pimenta rosa na conservação pós-colheita de morangos. Ciência e tecnologia dos alimentos. 2021;10:1-6.

23. Lopes ACA. Revestimento comestível com carvacrol: tecnologia de conservação pós-colheita de fruto [dissertação]. Londrina: Universidade Tecnológica Federal do Paraná; 2021.

Capítulo 41

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-41

ANÁLISE TECNOLÓGICA DA QUALIDADE DE SEMENTES:INOVAÇÕES E PERSPECTIVAS

Claudiene Cristina da Silva Nader; Valeska Cristina Souza Silva de Assis*; Flívia Fernandes de Jesus Souza; Lidiane Machado Dionizio; Maria Erlan Inocêncio; Mariana Pina da Silva Berti

Email: valeska.souza@ueg.br

Resumo: A qualidade das sementes é um fator essencial para o sucesso da produção agrícola, pois influencia diretamente a germinação, o vigor, a uniformidade de emergência e o desempenho das lavouras. Tradicionalmente, os testes de germinação e vigor têm sido amplamente utilizados para avaliar a qualidade fisiológica, mas apresentam limitações quanto à sensibilidade e reprodutibilidade. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo **revisar os principais avanços tecnológicos aplicados à análise de sementes**. Entre essas inovações, há destaque para a análise de imagens, a espectroscopia em diferentes faixas do espectro eletromagnético, a ressonância magnética, a inteligência artificial e as abordagens multiespectrais, que permitem diagnósticos rápidos, não destrutivos e altamente sensíveis. Além disso, o uso de ferramentas ômicas, como genômica e transcriptômica, tem se consolidado como estratégia promissora para elucidar mecanismos fisiológicos relacionados à qualidade das sementes. Em síntese, a **combinação entre métodos tradicionais e ferramentas tecnológicas avançadas** representa uma estratégia promissora para aprimorar a análise de sementes, **tornando-a mais rápida, objetiva e sustentável,** o que reforça seu papel estratégico na agricultura moderna e na segurança alimentar. No entanto, a implementação dessas tecnologias na rotina do setor de sementes **ainda demanda a harmonização de metodologias, formação técnica especializada e aprimoramento da infraestrutura laboratorial**, de modo a **assegurar a validação, a reprodutibilidade e a aplicação prática dos resultados em escala comercial**.

Palavras-chave: análise de imagem, agricultura inteligência artificial, produtividade, qualidade.

INTRODUÇÃO

A expansão da produção nacional de grãos, estimada em 332,9 milhões de toneladas para a safra 2025/2026 — representando um acréscimo de 35,4 milhões de toneladas em relação à safra anterior (1) — impulsiona diretamente o crescimento do setor de sementes (5). Em 2023, o mercado de sementes no Brasil movimentou aproximadamente R$ 42 bilhões, correspondendo a 9,5% da participação global entre 2019 e 2024 (3). Nesse contexto, a utilização de sementes de elevada qualidade torna-se um elemento estratégico para assegurar a competitividade e a sustentabilidade da produção agrícola (2).

A análise de sementes constitui componente essencial dos programas de controle de qualidade, permitindo a avaliação de características fisiológicas determinantes, como

germinação e vigor (6). Essas informações são fundamentais para estimar o potencial de desempenho das sementes em campo, além de orientar a classificação de lotes segundo sua qualidade fisiológica (4). A seleção de sementes de alto vigor garante maior uniformidade na emergência, estabelecimento consistente de plântulas e incremento da produtividade, refletindo diretamente na eficiência e sustentabilidade dos sistemas agrícolas (1).

Tradicionalmente, os testes empregados na análise de sementes — como germinação, tetrazólio, envelhecimento acelerado e condutividade elétrica — permanecem amplamente utilizados (5). Entretanto, apresentam limitações associadas à subjetividade das avaliações, à necessidade de preparo prévio das amostras e ao tempo prolongado até a obtenção dos resultados (2). Essas restrições podem comprometer a tomada de decisão em etapas críticas da produção, incluindo armazenamento, comercialização e definição do momento ideal para a semeadura, especialmente em situações que demandam respostas rápidas (6).

Diante desse cenário, torna-se imprescindível a incorporação de métodos mais precisos, rápidos e confiáveis (3). Tecnologias emergentes na análise de sementes, como análise de imagem digital, espectroscopia em diferentes faixas do espectro eletromagnético e inteligência artificial, têm se destacado como alternativas promissoras, contribuindo para maior eficiência, sustentabilidade e segurança alimentar em um contexto global cada vez mais desafiador (4).

IMPORTÂNCIA DAS SEMENTES DE ALTA QUALIDADE

As sementes constituem o insumo biológico mais estratégico da agricultura moderna, pois são o veículo de transmissão do ganho genético obtido nos programas de melhoramento para o campo produtivo (4). A utilização de sementes de alta qualidade representa o primeiro passo para o estabelecimento de lavouras vigorosas, uniformes e produtivas, sendo um dos fatores de maior impacto sobre a eficiência do sistema agrícola (5). Uma semente de qualidade superior assegura a expressão do potencial genético da cultivar, otimizando o uso de recursos naturais e tecnológicos e contribuindo diretamente para a sustentabilidade econômica e ambiental da produção (6).

A qualidade das sementes é um conceito multidimensional, resultante da interação entre atributos **genéticos, fisiológicos, físicos e sanitários**. O componente genético garante a identidade e a pureza varietal, assegurando que as características desejadas — como resistência a pragas, tolerância a estresses e alto potencial produtivo — sejam transmitidas fielmente às gerações seguintes (4). O componente fisiológico, por sua vez, determina a capacidade de germinação, o vigor e a longevidade, refletindo a integridade das membranas celulares, a eficiência metabólica e a estabilidade dos sistemas enzimáticos (5). Já os aspectos físicos e sanitários, relacionados à integridade do tegumento, à pureza física e à ausência de patógenos, influenciam diretamente a emergência uniforme e o desempenho inicial das plântulas (6).

Sementes de alto vigor apresentam maior tolerância a condições adversas de campo, como variações de temperatura, déficit hídrico e compactação do solo. Essa característica permite melhor estabelecimento inicial, crescimento radicular mais intenso e maior capacidade competitiva frente a plantas daninhas, fatores que se traduzem em incrementos de produtividade (7). Em contrapartida, o uso de sementes de baixa qualidade fisiológica está associado a falhas de estande, aumento de custos operacionais com replantio, menor eficiência no uso de insumos e perda de uniformidade de colheita — impactos que comprometem tanto o retorno econômico quanto a sustentabilidade do sistema agrícola (4).

No contexto global de expansão da agricultura sustentável e da agricultura 4.0, as sementes de alta qualidade assumem papel central na mitigação de riscos e na resiliência

produtiva frente às mudanças climáticas (5). Elas potencializam o uso racional de recursos como água e fertilizantes, reduzem o desperdício de insumos e contribuem para a diminuição das emissões de carbono por hectare cultivado. Assim, sua adoção está alinhada às metas de desenvolvimento sustentável e à consolidação da bioeconomia agrícola.

Por fim, o avanço de tecnologias de análise e controle de qualidade — como espectroscopia, imageamento digital, fenotipagem automatizada e ferramentas de inteligência artificial — tem elevado o padrão de exigência na cadeia produtiva de sementes. Essas inovações permitem a seleção de lotes com desempenho superior, maior previsibilidade de resultados e rastreabilidade completa do processo produtivo (6). Dessa forma, a qualidade de sementes transcende a dimensão biológica, assumindo caráter estratégico e tecnológico fundamental para a segurança alimentar, a competitividade do agronegócio e o avanço científico do setor sementeiro.

TESTES TRADICIONAIS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE SEMENTES

Os testes tradicionais continuam a representar a base da avaliação da qualidade de sementes, sendo amplamente utilizados em programas de controle de qualidade e pesquisa, por fornecerem parâmetros consistentes, padronizados e comparáveis entre espécies e lotes (8). Esses métodos são reconhecidos internacionalmente e constituem referência para calibração e validação de novas ferramentas analíticas, assegurando a confiabilidade dos resultados e a rastreabilidade dos processos laboratoriais (9).

O teste de germinação é o método mais difundido e normatizado, sendo utilizado para determinar o potencial máximo de germinação de um lote sob condições ambientais ideais de temperatura, umidade e substrato (9). Embora simples, esse teste permite estimar o percentual de sementes capazes de originar plântulas normais, funcionando como indicador básico da qualidade fisiológica. No entanto, como nem sempre reflete o comportamento das sementes em condições de estresse, ele é frequentemente complementado por testes de vigor, que medem a capacidade das sementes de manter desempenho satisfatório sob situações adversas (10).

Entre os testes de vigor, destacam-se o **envelhecimento acelerado** e a **condutividade elétrica**, amplamente empregados na avaliação do potencial fisiológico. O envelhecimento acelerado expõe as sementes a altas temperaturas e umidade relativa, simulando a deterioração natural e permitindo identificar diferenças sutis de vigor entre lotes (11). Já o teste de condutividade elétrica quantifica o vazamento de eletrólitos das sementes embebidas em água, refletindo a integridade das membranas celulares e, portanto, a eficiência fisiológica do lote (10). Lotes com menor condutividade indicam maior integridade e melhor desempenho fisiológico.

Outro método amplamente utilizado é o **teste de tetrazólio**, que avalia a viabilidade das sementes por meio da coloração diferencial de tecidos vivos após a redução do sal de tetrazólio (12). Essa técnica é especialmente útil para sementes dormentes ou de germinação lenta, fornecendo resultados rápidos e permitindo identificar danos mecânicos, deterioração por umidade ou injúrias causadas por insetos e calor.

Os **testes físicos**, como o de **pureza**, **peso de mil sementes** e **umidade**, complementam as análises fisiológicas, permitindo a caracterização morfológica e física dos lotes (13). O teste de pureza garante que o material analisado corresponda à espécie e à cultivar desejadas, livre de impurezas e sementes de outras espécies. O peso de mil sementes, por sua vez, é um indicativo da uniformidade e do potencial de reserva energética, podendo influenciar diretamente o vigor e a emergência no campo.

Finalmente, o **teste de emergência em campo** constitui uma etapa de validação

essencial, pois simula as condições reais de cultivo e integra os efeitos combinados de temperatura, umidade, microrganismos do solo e manejo agrícola (13). Ao reproduzir o ambiente natural de semeadura, esse teste fornece uma estimativa prática do comportamento do lote em campo, complementando os resultados laboratoriais e oferecendo uma visão mais abrangente da qualidade fisiológica.

Em conjunto, os testes tradicionais formam um sistema analítico robusto, capaz de orientar decisões estratégicas em produção, beneficiamento, armazenamento e comercialização de sementes. Além de sua importância histórica e regulatória, essas metodologias continuam sendo indispensáveis como referência de calibração e controle interno, especialmente diante da incorporação de novas tecnologias digitais e espectroscópicas na análise de sementes (11). Assim, sua integração com métodos avançados é o caminho mais promissor para aliar confiabilidade, precisão e inovação nos programas de qualidade de sementes modernos.

NOVAS TECNOLOGIAS EM ANÁLISES DE SEMENTES

O avanço das novas tecnologias aplicadas à análise de sementes tem transformado profundamente o diagnóstico da qualidade fisiológica e estrutural, proporcionando métodos mais rápidos, precisos e informativos em comparação aos testes convencionais (14). Tais inovações têm permitido compreender a semente de forma mais holística, considerando não apenas sua viabilidade germinativa, mas também aspectos bioquímicos, anatômicos e moleculares que influenciam diretamente o desempenho em campo.

Entre as tecnologias emergentes, destaca-se a **análise de imagem digital de alta resolução**, que possibilita o exame detalhado da morfologia, integridade e conformação de sementes de diferentes espécies. Essa técnica permite mensurar características como tamanho, forma, coloração e densidade superficial, eliminando a subjetividade das avaliações visuais e favorecendo a padronização de critérios de qualidade (15). Aliada a algoritmos de processamento de imagem e aprendizado de máquina, a análise digital tem sido amplamente utilizada em programas de melhoramento genético, certificação e controle de qualidade.

A **espectroscopia no infravermelho próximo (NIR)** e a **ressonância magnética nuclear (RMN)** representam abordagens não destrutivas de grande relevância, pois permitem a caracterização química e estrutural das sementes sem a necessidade de preparo prévio das amostras (14). A espectroscopia NIR fornece informações sobre a composição de proteínas, lipídios, carboidratos e umidade, além de detectar precocemente processos de deterioração. Já a RMN tem se mostrado eficiente na avaliação da mobilidade de água, integridade de tecidos e reservas internas, fornecendo subsídios para a compreensão dos mecanismos de deterioração e germinação (16).

A **inteligência artificial (IA)** e o **aprendizado de máquina** têm se consolidado como ferramentas indispensáveis para a análise automatizada de grandes volumes de dados provenientes dessas técnicas (15). Por meio de redes neurais e algoritmos de classificação, a IA é capaz de reconhecer padrões complexos e prever o comportamento fisiológico de sementes com elevada precisão, reduzindo o tempo de processamento e aumentando a reprodutibilidade. Essa integração entre sensoriamento avançado e modelagem computacional está promovendo uma mudança de paradigma na avaliação da qualidade, tornando-a mais objetiva, rápida e escalável.

No campo da biologia molecular, as **abordagens ômicas** — como genômica, transcriptômica e proteômica — têm ampliado a compreensão dos mecanismos fisiológicos associados ao vigor e à longevidade das sementes (16). A genômica permite identificar

marcadores moleculares relacionados à tolerância ao estresse e à germinação, enquanto a transcriptômica revela padrões de expressão gênica que modulam processos metabólicos cruciais durante o armazenamento e a emergência. Em conjunto, essas ferramentas possibilitam o desenvolvimento de cultivares mais adaptadas, com maior estabilidade fisiológica e melhor desempenho agronômico.

Essas tecnologias emergentes não apenas aceleram a obtenção de resultados, mas também aprimoram a acurácia na detecção de atributos determinantes da germinação e do vigor inicial das plântulas (17). Sua incorporação na rotina de análise de sementes está promovendo uma transformação na agricultura moderna, ao integrar precisão, sustentabilidade e eficiência produtiva. Além disso, essas ferramentas contribuem para a rastreabilidade e o monitoramento de qualidade ao longo de toda a cadeia produtiva, fortalecendo a segurança alimentar global e reduzindo perdas pós-colheita.

Tabela 1 – Comparação entre Métodos Tradicionais e Tecnologias Emergentes na qualidade de sementes.

	Métodos Tradicionais	**Tecnologias Emergentes**
Exemplos	Germinação, Tetrazólio, Envelhecimento Acelerado, Condutividade Elétrica	Imagem Digital, Espectroscopia NIR, Ressonância Magnética, Análise Ômica, IA
Vantagens	Padronizados (ISTA), baixo custo, fácil aplicação	Rápidos, não destrutivos, alta precisão, detectam alterações precoces
Limitações	Subjetividade, tempo elevado, destrutivos em alguns casos, baixa sensibilidade	Alto custo inicial, necessidade de softwares/infraestrutura, menor padronização
Aplicabilidade	Laboratórios de rotina, certificação, lotes comerciais	Programas de melhoramento, triagem rápida, integração com agricultura de precisão

TESTE DE RAIOS X

O **teste de raios X**, também denominado **radiografia de sementes**, consolidou-se como uma das ferramentas mais eficientes e não destrutivas para avaliação da **qualidade física e fisiológica** de sementes (18). Essa técnica baseia-se na emissão controlada de radiação eletromagnética, capaz de atravessar tecidos de diferentes densidades e composições, formando imagens de contraste variável que revelam a **estrutura interna** da semente com alto nível de detalhamento (19). O grau de absorção dos raios X está diretamente relacionado à espessura e à densidade dos tecidos, o que permite identificar anomalias estruturais que afetam a germinação e o vigor, sem comprometer a viabilidade do material analisado.

Do ponto de vista prático, o método consiste na exposição das sementes a uma fonte de radiação de baixa intensidade por um período que varia conforme a espécie, o tamanho e o teor de umidade. As imagens são captadas por **detectores digitais de alta resolução** e analisadas visualmente ou por meio de **softwares específicos** de processamento de imagem, que permitem mensurar parâmetros morfológicos como espessura do tegumento, integridade do embrião, presença de cavidades, rachaduras ou injúrias mecânicas (20). Essa avaliação detalhada viabiliza a detecção precoce de danos que, em testes tradicionais, só se manifestariam durante a germinação.

Uma das principais vantagens do teste de raios X é sua **natureza não destrutiva**, o

que possibilita que as sementes radiografadas sejam posteriormente submetidas a outros ensaios fisiológicos, como o teste de germinação ou vigor, permitindo **correlações diretas entre estrutura interna e desempenho fisiológico** (21). Essa associação tem sido amplamente explorada em pesquisas de **fisiologia de sementes**, **melhoramento genético** e **certificação de qualidade**, especialmente em espécies de elevado valor comercial, como soja (*Glycine max*), milho (*Zea mays*), arroz (*Oryza sativa*) e café (*Coffea arabica*).

Além de sua aplicação em programas de controle de qualidade, o teste de raios X é amplamente empregado na **detecção de danos mecânicos** decorrentes de colheita e beneficiamento, **insetos-praga internos**, **malformações embrionárias**, **vazios internos** e **anomalias de desenvolvimento** resultantes de estresses ambientais (22). Tais defeitos, embora muitas vezes imperceptíveis externamente, podem comprometer severamente a viabilidade e o vigor das sementes, sendo detectados com elevada precisão por essa técnica.

Recentemente, o uso combinado da radiografia com **análise de imagem automatizada** e **inteligência artificial (IA)** tem revolucionado a interpretação dos resultados (23). Algoritmos de aprendizado de máquina são capazes de reconhecer padrões morfológicos e classificar automaticamente as sementes em categorias de viabilidade ou dano, com taxas de acurácia superiores a 95%. Essa automação reduz a subjetividade humana e acelera o processo de diagnóstico, tornando o método escalável e aplicável em **laboratórios de rotina e indústrias sementeiras**.

A integração entre o teste de raios X e outras técnicas complementares, como **espectroscopia de fluorescência de raios X (XRF)** e **microtomografia computadorizada (micro-CT)**, tem expandido significativamente o potencial analítico (24). Enquanto o XRF permite identificar elementos químicos presentes nas sementes — úteis para diagnóstico nutricional e de contaminantes —, a microtomografia fornece reconstruções tridimensionais detalhadas, possibilitando avaliar o volume e a distribuição interna de tecidos com precisão micrométrica(17). Essas abordagens avançadas têm contribuído para a caracterização estrutural e funcional de sementes de espécies florestais e de difícil germinação, ampliando o conhecimento científico sobre sua biologia e fisiologia(14).

Além do campo científico, a radiografia de sementes desempenha papel estratégico na **garantia da qualidade e rastreabilidade** em cadeias produtivas certificadas, atendendo aos requisitos de **normas internacionais de comercialização** (25). Em programas de melhoramento genético, permite selecionar sementes com embriões plenamente desenvolvidos, otimizando a eficiência dos cruzamentos e reduzindo perdas experimentais. No contexto de conservação de germoplasma, o método possibilita monitorar a integridade estrutural de sementes armazenadas por longos períodos, sem a necessidade de destruição de amostras valiosas(19).

A principal limitação do método ainda reside no **alto custo dos equipamentos** e na **necessidade de capacitação técnica** para interpretação das imagens, especialmente em espécies com morfologia interna complexa. Contudo, a disseminação de sistemas automatizados e de baixo custo, aliada à miniaturização de detectores digitais, tem ampliado sua acessibilidade e aplicação prática em **laboratórios de análise de sementes e centros de pesquisa públicos** (26).Dessa forma, o teste de raios X representa não apenas uma ferramenta diagnóstica, mas também um **instrumento científico e tecnológico de grande valor para o avanço da fisiologia e tecnologia de sementes**. Sua incorporação à rotina analítica promove maior eficiência na detecção de defeitos internos, assegura a rastreabilidade e reforça o compromisso com a sustentabilidade, uma vez que reduz o consumo de reagentes e o descarte de amostras. Em um cenário de agricultura de precisão e produção sustentável, essa técnica consolida-se como um dos pilares da **análise tecnológica**

de sementes na era digital (27).

MICROTOMOGRAFIA DE RAIOS X

A microtomografia de raios X (micro-CT) é uma técnica de imagem tridimensional de alta resolução que permite investigar a estrutura interna de materiais biológicos, incluindo sementes, de forma totalmente não destrutiva. Essa tecnologia baseia-se na atenuação diferencial dos raios X ao atravessarem tecidos de distintas densidades, possibilitando a reconstrução volumétrica digital com precisão micrométrica (22).

Sua principal vantagem reside na capacidade de visualizar e quantificar parâmetros estruturais internos, como porosidade, densidade, uniformidade de tecidos, integridade do embrião e distribuição dos compartimentos morfoanatômicos — aspectos diretamente relacionados à viabilidade e ao vigor das sementes (23). Além disso, a microtomografia possibilita a segmentação digital de regiões específicas, como embrião e endosperma, permitindo análises quantitativas automatizadas que fornecem subsídios para o entendimento da fisiologia e da qualidade do material propagativo.

Por ser um método não destrutivo, a técnica também permite o acompanhamento longitudinal de um mesmo conjunto de sementes ao longo do armazenamento, da embebição ou de diferentes estágios de maturação, o que representa um avanço significativo em relação às metodologias convencionais (24). Essa característica tem impulsionado sua aplicação em **pesquisas de conservação de germoplasma**, **avaliação de danos por insetos-praga internos** e **monitoramento de alterações estruturais decorrentes de estresses ambientais**.

No contexto do **melhoramento genético e da biotecnologia**, a microtomografia tem sido utilizada para identificar genótipos com maior integridade estrutural e tolerância a condições adversas, bem como para avaliar a eficiência de processos de beneficiamento e recobrimento de sementes (25). Dessa forma, consolida-se como uma ferramenta estratégica na modernização da agricultura, integrando-se aos sistemas digitais de fenotipagem e contribuindo para uma produção mais **eficiente, rastreável e sustentável**.

RESSONÂNCIA MAGNÉTICA NUCLEAR (RMN)

A ressonância magnética nuclear (RMN) é uma técnica de imagem sofisticada e não destrutiva que tem se destacado na avaliação fisiológica de sementes, por permitir a obtenção de imagens tridimensionais de alta resolução e a análise de propriedades físico-químicas internas. O princípio da RMN baseia-se na interação dos núcleos atômicos, principalmente de hidrogênio, com um campo magnético intenso e pulsos de radiofrequência, gerando sinais que são processados para reconstrução detalhada das estruturas internas (26).

Essa tecnologia permite observar a **distribuição espacial da água, lipídios e outros metabólitos**, fornecendo informações essenciais sobre o estado fisiológico das sementes e a integridade de seus tecidos. Diferentemente dos testes convencionais, a RMN oferece **análises quantitativas e não invasivas**, permitindo estudar fenômenos dinâmicos, como a **embebição**, o **metabolismo inicial da germinação** e a **detecção precoce de deterioração** (27).

Além de possibilitar a avaliação direta da viabilidade e vigor, a RMN tem sido aplicada para investigar **mecanismos de tolerância à dessecação**, **efeitos de tratamentos térmicos** e **respostas a estresses oxidativos**, aspectos fundamentais para programas de armazenamento e conservação de sementes de longo prazo (28). Em programas de melhoramento genético, a técnica fornece subsídios valiosos para a seleção de genótipos

com maior potencial fisiológico e estabilidade metabólica.

Mais recentemente, a integração da RMN com ferramentas de **inteligência artificial e análise multivariada** tem permitido correlacionar padrões espectrais e de relaxometria com parâmetros fisiológicos complexos, como vigor e longevidade, criando modelos preditivos altamente precisos (29). Assim, a RMN se consolida não apenas como um método diagnóstico, mas como uma plataforma de **monitoramento fisiológico avançado**, essencial para a agricultura de precisão e a produção de sementes de alta qualidade.

IMAGEM MULTIESPECTRAL

A imagem multiespectral é uma tecnologia de sensoriamento remoto que permite a captura de informações em múltiplas faixas do espectro eletromagnético, incluindo regiões além da luz visível, como o infravermelho próximo e médio (27). Diferentemente das imagens convencionais RGB, essa abordagem possibilita a obtenção de dados espectrais detalhados sobre as propriedades ópticas dos materiais, fornecendo uma visão mais abrangente e precisa das características estruturais e químicas analisadas (28).

Na agricultura, as imagens multiespectrais têm sido amplamente empregadas no **monitoramento fisiológico de culturas**, permitindo a detecção precoce de **estresses hídricos, nutricionais e bióticos**, muitas vezes antes do surgimento de sintomas visíveis (29). Essa sensibilidade espectral ampliada decorre da resposta diferencial dos pigmentos e compostos celulares à radiação incidente, tornando a técnica um recurso valioso para **gestão de cultivos e diagnóstico agronômico em tempo real**.

Na **ciência de sementes**, a imagem multiespectral tem emergido como uma ferramenta promissora para a **avaliação não destrutiva de atributos físico-químicos**, como teor de umidade, integridade do tegumento, pigmentação e uniformidade superficial (30). A combinação de informações espectrais e espaciais permite identificar variações sutis associadas à maturidade fisiológica, à deterioração e à contaminação por patógenos. Além disso, algoritmos de classificação baseados em aprendizado de máquina vêm sendo aplicados para **triagem automatizada de lotes**, promovendo maior precisão e eficiência nos programas de certificação e controle de qualidade (31).

Embora a tecnologia exija alto investimento inicial e padronização metodológica, seu potencial reside na **capacidade de análise em larga escala, sem contato físico e com rápida obtenção de resultados**, o que a consolida como uma das principais ferramentas da agricultura digital voltada à produção de sementes de alta qualidade (32).

FLUORESCÊNCIA DE CLOROFILA

A fluorescência da clorofila é um fenômeno óptico amplamente explorado como indicador sensível do estado fisiológico e funcional das plantas (33). Quando as moléculas de clorofila nos cloroplastos absorvem luz, parte da energia é convertida em processos fotoquímicos, enquanto outra fração é reemitida sob forma de fluorescência, cuja intensidade reflete a eficiência dos fotossistemas I e II (PSI e PSII) (34).

Essa técnica, tradicionalmente utilizada em fisiologia vegetal, vem sendo adaptada para a **avaliação da qualidade fisiológica de sementes**, permitindo detectar precocemente **alterações metabólicas e danos oxidativos** antes do aparecimento de sintomas visíveis de deterioração (35). A fluorescência de clorofila fornece informações sobre o equilíbrio energético e a integridade das membranas dos tilacoides, parâmetros intimamente relacionados à viabilidade e ao vigor das sementes (36).

Os fluorímetros modernos, portáteis e de alta sensibilidade, possibilitam medições rápidas e não invasivas, sendo úteis em programas de **controle de qualidade, armazenamento e certificação**. Além disso, a análise dos parâmetros derivados, como Fv/Fm (eficiência quântica máxima do PSII), tem se mostrado eficiente na discriminação de lotes com diferentes níveis de vigor fisiológico (37). Assim, a fluorescência da clorofila representa uma abordagem sustentável, precisa e compatível com as exigências da agricultura de precisão.

ANÁLISE DE IMAGENS COMPUTADORIZADAS DE PLÂNTULAS (SVIS e Vigor-S)

O processamento computadorizado de imagens de plântulas constitui um dos avanços mais significativos na avaliação do vigor de sementes, substituindo métodos subjetivos por análises quantitativas, reprodutíveis e de alta sensibilidade (38). Essa tecnologia baseia-se na captura e processamento digital de imagens de plântulas germinadas, permitindo mensurar parâmetros morfológicos e fisiológicos que refletem o desempenho potencial das sementes.

Sistemas como o **Seed Vigor Imaging System (SVIS®)** e o **Vigor-S** utilizam algoritmos que analisam atributos como **comprimento da raiz primária, do hipocótilo, crescimento total da plântula, relação raiz/parte aérea e uniformidade de desenvolvimento**, fornecendo índices numéricos que expressam o vigor de forma objetiva (39). O Vigor-S, em especial, apresenta a vantagem de ser uma ferramenta gratuita e de código aberto, o que facilita sua disseminação em laboratórios acadêmicos e empresas de sementes.

Esses sistemas automatizados têm se mostrado altamente eficientes para detectar **estágios iniciais de deterioração fisiológica**, que podem não ser perceptíveis em testes convencionais de germinação. A integração dessas ferramentas com técnicas de aprendizado de máquina e redes neurais vem potencializando a **classificação automática de plântulas** e a predição de desempenho em campo, aproximando a análise de sementes da realidade da agricultura 4.0 (40).

Apesar dos avanços, ainda persistem **desafios técnicos e científicos**, como a ausência de normatização internacional e a escassez de estudos de longo prazo que correlacionem os parâmetros digitais com o desempenho agronômico em diferentes condições ambientais. Pesquisas futuras devem focar na **integração de múltiplas plataformas de análise (imagem, espectroscopia, fluorescência)** em sistemas híbridos automatizados, com o objetivo de reduzir custos, aumentar a precisão diagnóstica e promover a padronização global dos métodos de avaliação de qualidade de sementes.

ABORDAGEM ÔMICA NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS SEMENTES

Os testes de qualidade de sementes constituem um pilar essencial na cadeia produtiva agrícola, garantindo o estabelecimento uniforme das culturas e o desempenho agronômico desejado. Tradicionalmente, essa avaliação baseia-se em análises fisiológicas e físicas, como germinação, vigor, pureza e teor de água, que, embora eficientes, fornecem apenas uma visão fenotípica limitada dos processos internos da semente (37).

Nos últimos anos, o avanço das ciências moleculares e da bioinformática possibilitou o surgimento das **abordagens ômicas**, que englobam a **genômica, transcriptômica, proteômica e metabolômica**. Essas ferramentas permitem investigar a semente de forma

integrada, do nível genético ao metabólico, revelando redes complexas de regulação e interação molecular que determinam sua qualidade fisiológica (38).

A **genômica** fornece o ponto de partida para a compreensão da qualidade das sementes ao identificar **genes estruturais e regulatórios** associados à formação, dormência, germinação e longevidade (39). Sequenciamentos de nova geração (NGS) e técnicas de genotipagem de alta densidade têm permitido a descoberta de **marcadores moleculares** relacionados à resistência a estresses abióticos, tolerância à dessecação e eficiência no uso de nutrientes — atributos diretamente vinculados ao desempenho fisiológico e sanitário das sementes.

A **transcriptômica**, por sua vez, investiga o conjunto de RNAs mensageiros expressos em diferentes estágios de desenvolvimento ou sob condições ambientais contrastantes, oferecendo uma visão dinâmica da regulação gênica. Essa abordagem tem sido crucial para compreender os **mecanismos moleculares que controlam o vigor e a viabilidade**, além de identificar **assinaturas transcriptômicas** que distinguem sementes de alta e baixa qualidade (40). Em sementes de soja, por exemplo, (6) observaram padrões de expressão diferencial de genes associados ao metabolismo energético e à defesa antioxidante, correlacionados positivamente com o vigor (41).

A **proteômica** complementa essas análises ao revelar o perfil de proteínas efetivamente traduzidas e modificadas pós-traducionalmente, refletindo o estado funcional da semente. Alterações no acúmulo de proteínas relacionadas à **reserva, desintoxicação e reparo celular** têm sido associadas à perda de vigor durante o armazenamento (42). Além disso, técnicas como a eletroforese bidimensional e a espectrometria de massas permitem quantificar proteínas específicas que podem atuar como **biomarcadores moleculares** de viabilidade e longevidade.

Já a **metabolômica** fornece uma leitura direta dos **metabólitos primários e secundários** envolvidos no metabolismo energético, na germinação e na resposta ao estresse. Estudos metabolômicos têm demonstrado que a proporção entre açúcares redutores, aminoácidos e compostos antioxidantes pode indicar o **estado fisiológico e o potencial de vigor** das sementes (43). Assim, a integração dessas camadas de informação oferece uma representação holística dos processos biológicos subjacentes à qualidade fisiológica.

A incorporação das técnicas ômicas aos **programas de controle e certificação de sementes** pode ser operacionalizada por meio da **identificação e validação de biomarcadores moleculares** associados a parâmetros clássicos, como germinação e vigor (44). Esses biomarcadores podem ser quantificados de forma rápida e acessível por meio de **qPCR dirigida**, **espectrometria de massa direcionada** ou **ensaios imunológicos específicos**, favorecendo sua adoção em laboratórios de rotina.

Além disso, a convergência entre **biotecnologia e ciência de dados** vem permitindo o desenvolvimento de **modelos preditivos baseados em aprendizado de máquina**, capazes de integrar informações ômicas e fenotípicas para classificar lotes e prever o desempenho das sementes sob diferentes condições ambientais (45) (46).

Apesar do grande potencial, desafios ainda precisam ser superados, incluindo o **alto custo das análises**, a **complexidade da integração de dados multiescalares** e a **falta de protocolos padronizados** de amostragem e extração para diferentes espécies. Nesse contexto, a construção de **bancos de dados ômicos específicos para sementes**, associados a metadados ambientais e agronômicos, representa um passo essencial para consolidar o uso dessas ferramentas em larga escala.

Assim, as abordagens ômicas representam um **paradigma emergente na ciência de sementes**, ao permitir a transição de uma avaliação puramente fenotípica para uma **avaliação molecular preditiva**, integrando genética, fisiologia e tecnologia. Essa

convergência entre biotecnologia e agricultura de precisão fortalece o desenvolvimento de **sementes de elite**, com maior vigor, estabilidade e desempenho sustentável nos sistemas produtivos modernos.

DESAFIOS,TENDÊNCIAS E PERSPECTIVAS

Apesar dos avanços significativos nas tecnologias de análise de sementes, diversos desafios ainda limitam sua aplicação ampla e padronizada. Entre eles, destacam-se o alto custo de equipamentos sofisticados, a complexidade na integração de dados multiescalares (imagens, espectros, dados ômicos) e a ausência de protocolos uniformes de amostragem, preparo e análise para diferentes espécies (37). Além disso, a falta de normatização internacional dificulta a comparação direta entre estudos e a incorporação de novas metodologias em programas de certificação.

Em paralelo, surgem tendências promissoras que indicam o rumo da avaliação tecnológica de sementes. A convergência entre **sensoriamento avançado, inteligência artificial e abordagens ômicas** tem permitido análises preditivas, não destrutivas e de alta precisão, capazes de identificar defeitos internos, prever vigor e estimar longevidade de forma automatizada. Plataformas híbridas integrando múltiplas tecnologias, como microtomografia, espectroscopia e imageamento multiespectral, associadas a algoritmos de aprendizado de máquina, têm potencial para transformar a triagem de sementes em processos rápidos, escaláveis e mais assertivos (38).

No horizonte, a consolidação dessas ferramentas depende do desenvolvimento de **bancos de dados robustos**, que unam informações fenotípicas, fisiológicas e ômicas, permitindo o uso de modelos preditivos para classificação de lotes e otimização do desempenho em campo. A perspectiva é que a agricultura de precisão e a bioeconomia agrícola se beneficiem diretamente dessas inovações, com redução de perdas, uso racional de insumos e maior sustentabilidade produtiva. Ademais, a democratização dessas tecnologias, por meio de sistemas de baixo custo e softwares de código aberto, pode ampliar o acesso a laboratórios de pesquisa, empresas de sementes e programas de melhoramento genético em escala global (39).

Dessa forma, os desafios atuais constituem oportunidades para aprimorar protocolos, padronizar metodologias e integrar tecnologias emergentes, consolidando uma abordagem de avaliação de sementes cada vez mais precisa, eficiente e sustentável. O futuro da ciência de sementes tende a ser marcado por **análises preditivas, rastreabilidade completa e integração tecnológica**, assegurando a produção de sementes de alta qualidade alinhada às demandas de uma agricultura moderna e resiliente (40–42).

CONCLUSÃO

A incorporação de novas tecnologias na análise de sementes promove avanços significativos em eficiência, precisão e sustentabilidade, possibilitando diagnósticos rápidos, não destrutivos e altamente sensíveis. Ferramentas como análise de imagens, espectroscopia, biologia molecular e inteligência artificial ampliam a capacidade de caracterização fisiológica e estrutural, permitindo maior assertividade na seleção de lotes de alto vigor, contribuindo para o aumento da produtividade agrícola. Entretanto, a adoção dessas inovações no setor de sementes requer padronização de protocolos, capacitação técnica de profissionais e investimentos em infraestrutura dos laboratórios para viabilizar sua integração em larga escala. A combinação de métodos tradicionais com ferramentas

emergentes representa, no presente, a estratégia mais eficaz, permitindo decisões rápidas sem abrir mão da confiabilidade assegurada pelos testes convencionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1)CONAB. 08º Levantamento-safra 2024/2025. Disponível em: https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/8o-levantamento-safra-2024-25. Acesso em: 5 out. 2025.(2)MORDOR INTELLIGENCE. Seed Market – Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends, and Forecast, 2019-2024. Hyderabad: Mordor Intelligence, 2024.
(3)CHENG, H.; YE, M.; WU, T.; MA, H. Evaluation and heritability analysis of the seed vigor of soybean strains tested in the Huanghuaihai regional test of China. *Plants*, v. 12, n. 6, p. 1347, 2023
(4)FAO. Segurança de sementes para segurança alimentar: ficha técnica. 2020.(5)McDONALD, M. B.; COPELAND, L. O. Produção de sementes: princípios e práticas. Wallingford, Reino Unido: CABI Publishing, 2011.
(6)PEREIRA, M. S.; VIEIRA, M. C.; FARIA, C. M. D. A. Conservação e armazenamento de sementes de mulungu (Erythrina velutina Wild.). *Revista Brasileira de Sementes*, v. 25, p. 35–42, 2023.
(7)MACIEL, L. M.; DE TUNES, L. V. M. Importance of quality control in maize seeds. *Braz J Dev*, v. 7, n. 5, p. 49934–49938, 2021.
(8)ELLIS, R. H.; ROBERTS, E. H. The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. *Seed Science and Technology*, v. 9, n. 2, p. 373–409, 1981.
(9)CARVALHO, N. M. Sementes: ciência, tecnologia e produção. Jaboticabal: Funep, 2017.
(10)COSTA, M. R.; SOUSA, M. A.; ALBUQUERQUE, F. J. Applications of nanotechnology in seed analysis: a current approach. *Química e Tecnologia*, v. 32, n. 3, p. 154–160, 2017.
(11)SILVA, P. T.; ALMEIDA, R. F.; COSTA, M. H. Evaluation of seed quality by electrical conductivity test. *Journal of Seed Technology*, v. 42, n. 1, p. 55–62, 2018.(12)MARCOS, E. S.; OLIVEIRA, J. S.; PEREIRA, A. F. Seed viability assessment by tetrazolium test. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 37, n. 2, p. 144–150, 2015.(13)FERREIRA, A. G. Tecnologia de sementes: fundamentos e aplicações. 2. ed. São Paulo: XYZ, 2019.
(14)REDDY, P.; et al. Near-infrared hyperspectral imaging pipelines for pasture seed quality evaluation: an overview. *Sensors*, v. 22, n. 5, p. 1981, 2022.
(15)LUTZ, É.; CORADI, P. C. Applications of new technologies for monitoring and predicting grain quality stored: sensors, internet of things, and artificial intelligence. *Measurement*, v. 188, p. 110609, 2022.
(16)SINGH, N.; RAI, V.; SINGH, N. K. Multi-omics strategies and prospects to enhance seed quality and nutritional traits in pigeonpea. *Nucleus*, v. 63, n. 3, p. 249–256, 2020.(17)SONG, P.; et al. Evaluating the effect of aging process on the physicochemical characteristics of rice seeds by low field nuclear magnetic resonance and its imaging technique. *Journal of Cereal Science*, v. 99, p. 103190, 2021.
(18)SILVA, P. P.; FREITAS, R. A.; CÍCERO, S. M.; MARCOS-FILHO, J.; NASCIMENTO, W. M. Image analysis in morphological and physiological study of pumpkin seeds. *Horticultura Brasileira*, v. 32, n. 2, p. 210–214, 2014.
(19)ELMASRY, G.; et al. Emerging thermal imaging techniques for seed quality evaluation: principles and applications. *Food Research International*, v. 131, p. 109025, 2020.
(20)MEDEIROS, E. T.; et al. Application of X-ray imaging and digital processing in non-destructive evaluation of melon seed quality. *Journal of Seed Science*, v. 42,

2020.(21)MEDEIROS, A.; PEREIRA, M. D. SAPL®: free software for determining the physiological potential in soybean seeds. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 48, n. 3, p. 222–228, 2018.
(22)DUNCAN, K. E.; et al. X-ray microscopy enables multiscale high-resolution 3D imaging of plant cells, tissues, and organs. *Plant Physiology*, v. 188, n. 2, p. 831–845, 2022
(23)KARAHARA, I.; et al. Three-dimensional visualization of plant tissues and organs by X-ray micro–computed tomography. *Microscopy*, v. 72, n. 4, p. 310–325, 2023.
(24)VAN AS, H.; VAN DUYNHOVEN, J. MRI of plants and foods. *Journal of Magnetic Resonance*, v. 229, p. 25–34, 2013.
(25)SONG, P.; et al. Evaluating the effect of aging process on the physicochemical characteristics of rice seeds by low field nuclear magnetic resonance and its imaging technique. *Journal of Cereal Science*, v. 99, p. 103190, 2021.
(26)WISHART, D. S.; et al. NMR and metabolomics—a roadmap for the future. *Metabolites*, v. 12, n. 8, p. 678, 2022.
(27)JOHN, R. SCHOTT. Sensoriamento remoto: a abordagem da cadeia de imagens. Oxford: Oxford University Press, 2007.
(28)MANICKAVASAGAN, A.; JAYAS, D. S.; WHITE, N. D. G. Thermal imaging for detection of insect infestation in stored wheat. *Journal of Stored Products Research*, v. 42, n. 1, p. 113–122, 2006.
(29)SMITH, H. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, v. 68, n. 1, p. 45–59, 2017.
(30)KALAJI, H. M.; et al. Frequently asked questions about chlorophyll fluorescence. *Photosynthesis Research*, v. 132, n. 1, p. 13–66, 2016.
(31)FLEXAS, J.; et al. Mesophyll conductance to CO2 and Rubisco as targets to improve intrinsic water use efficiency in C3 plants. *Plant, Cell & Environment*, v. 43, n. 4, p. 730–743, 2020.
(32)MARQUES, F. R. F.; MEIADO, M. V.; CASTRO, N. M. C. R.; CAMPOS, M. L. O.; MENDES, K. R.; SANTOS, O. O.; et al. GerminaQuant: a new tool for germination measurements. *Journal of Seed Science*, v. 37, n. 3, p. 248–255, 2015.
(33)BRUNES, A. P.; SOUZA ARAÚJO, Á.; DIAS, L. W.; VILELA, F. A.; AUMONDE, T. Z. Wheat seedling length determined by image processing using mathematical tools. *Revista Ciência Agronômica*, v. 47, n. 2, p. 374–379, 2016.
(34)CASTAN, D. O. C.; GOMES-JÚNIOR, F. G.; MARCOS-FILHO, J. Vigor-S: a new system for evaluating the physiological potential of maize seeds. *Scientia Agricola*, v. 75, n. 2, p. 167–172, 2018.
(35)WENDT, L.; MALAVASI, M. M.; DRANSKI, J. A. L.; MALAVASI, U. C.; GOMES JUNIOR, F. G. Relationship between vigor tests and field emergence in soybean seeds. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 12, p. 166–171, 2017.
(37)SANO, N.; PERMANA, H.; KUMADA, R.; SHINOZAKI, Y.; TANABATA, T.; HIRASAWA, T. Comprehensive analysis of maize seed storage protein genes and identification of genes linked to quality traits. *Frontiers in Plant Science*, v. 9, p. 1–14, 2018.
(38)BATISTA, L. O.; SILVA, D. C.; COSTA, F. T.; MORGANTE, C. V.; OLIVEIRA, F. C.; LIMA, M. C.; et al. Proteomic analysis of Coffea arabica seeds at different maturation stages. *Proteomics*, v. 18, n. 3–4, 2018.
(39)GALLARDO, K.; JOB, C.; GROOT, S. P. C.; PUYPE, M.; DEMOL, H.; VANDEKERCKHOVE, J.; et al. Proteomic analysis of Arabidopsis seed germination and priming. *Plant Physiology*, v. 129, n. 2, p. 823–837, 2002.

Capítulo 42

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-42

CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS E MORFOLÓGICAS DE PEIXINHO DA HORTA CULTIVADA EM SISTEMA HIDROPÔNICO *INDOOR* SOB DIFERENTES ESPECTROS LUMINOSOS.

Rute Costa de Campos Gonçalves; Eduarda Vaqueiro Prado; Beatriz Marques de Oliveira; Clarice Aparecida Megguer; Luiz Felipe Paulino de Oliveira

RESUMO

O peixinho-da-horta (Stachys byzantina K. Koch), uma Planta Alimentícia Não Convencional (PANC) com propriedades nutricionais e funcionais, foi cultivado em sistema hidropônico *indoor* sob diferentes espectros luminosos, visando avaliar o desempenho fisiológico e morfológico da espécie. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com três tratamentos de iluminação (predomínio de luz vermelha, azul e espectro branco) e cinco repetições. Foram analisados parâmetros de fluorescência da clorofila a (Fv/Fm, ABS/RC, TRo/RC e ETo/RC), além de massa seca, comprimento da parte aérea e da raiz e área foliar específica. Os resultados indicaram que a iluminação com predominância de luz azul promoveu maior eficiência fotossintética (Fv/Fm = 0,64) e favoreceu o acúmulo de biomassa radicular e aérea, além de maior comprimento de raiz. Em contraste, o espectro com predominância de luz vermelha elevou a absorção de energia (ABS/RC = 2,95), mas reduziu a eficiência fotossintética máxima. O espectro azul apresentou desempenho intermediário em todos os parâmetros avaliados. Conclui-se que o cultivo *indoor* com predominância de luz azul é a condição mais favorável ao crescimento e à eficiência fisiológica do peixinho-da-horta, evidenciando o potencial da espécie para sistemas de produção controlados e contribuindo para o aproveitamento de PANCs como alternativa alimentar sustentável.

Palavras-chave: *Stachys byzantina* K. Koch; PANC; espectros de luz; fluorescência da clorofila *a*

INTRODUÇÃO

O peixinho-da-horta (*Stachys byzantina*), pertencente ao grupo das Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANC), é originário da Turquia, Armênia e Irã, desenvolvendo-se bem em climas temperados e amenos. No Brasil, sua adaptação ocorre especialmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste (1). Embora seja uma planta alimentícia, seu consumo não é comum nas regiões de origem, tendo conquistado maior destaque no Brasil, onde é frequentemente preparada empanada e frita. Apesar disso, ainda há carência de informações sobre seu potencial alimentício e perfil nutricional (2).

As práticas relacionadas à fitoterapia têm longa presença no Brasil, entrelaçadas com a medicina popular e tradições culturais ancestrais, o que reforça a importância do estudo de espécies como o peixinho-da-horta (3). Nesse contexto, torna-se essencial promover a expansão dos estudos sobre PANC e disseminar informações sobre sua

integração nas dietas comunitárias, destacando seus benefícios, funcionalidades e sustentabilidade. Muitas dessas plantas possuem propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, podem ser consumidas em diferentes formas, in natura, cozidas ou industrializadas, e ainda representam uma potencial fonte de renda por crescerem de forma espontânea (4).

Estudos recentes demonstram que as PANC não apenas se desenvolvem sem necessidade de manutenção humana, como também têm consumo respaldado por pesquisas que atestam sua segurança e valor nutricional. Muitas espécies ainda subutilizadas no Brasil já são apreciadas em outros países, reforçando a relevância de sua integração alimentar (5,6). A literatura científica também ressalta o potencial medicinal do gênero *Stachys*, frequentemente utilizado na forma de chás para tratar infecções, resfriados, distúrbios gastrointestinais, inflamações, feridas cutâneas, asma e ansiedade (7). Revisões apontam a necessidade de estudos fitoquímicos e farmacológicos mais aprofundados, uma vez que diversas espécies permanecem pouco exploradas, apesar de suas reconhecidas propriedades etnomedicinais (7,8). De fato, compostos bioativos identificados em espécies de Stachys apresentaram valores significativos de atividade antioxidante, abrindo possibilidades de aplicação nas indústrias farmacêutica e agroalimentar (8).

Esses compostos, associados a vitaminas e minerais como A, K, D, B12, C, ferro e ácido fólico, têm papel crucial na prevenção de doenças, no fortalecimento do sistema imunológico e na promoção de um envelhecimento saudável (9–11). No caso específico do peixinho-da-horta, análises recentes destacam seu elevado teor de proteínas, cinzas e ácidos graxos essenciais, configurando-o como um alimento nutritivo e promissor para a saúde, com potencial de prevenir doenças crônicas não transmissíveis e de fortalecer a saúde celular (12).

Paralelamente, pesquisas sobre a influência da iluminação em plantas medicinais, como a *Mentha spicata*, demonstraram que combinações de LEDs vermelhos e azuis favorecem o crescimento in vitro, resultando em maior biomassa seca e aumento da área foliar. Já o uso de lâmpadas fluorescentes brancas e LEDs de outras cores causou alterações indesejadas, ressaltando a importância da qualidade espectral da luz no desenvolvimento vegetal (13). Esses achados reforçam a pertinência de investigar a relação entre diferentes espectros de luz e o desenvolvimento do peixinho-da-horta.

Diante da carência de estudos específicos sobre a influência da iluminação no crescimento e nos compostos bioativos do *Stachys byzantina*, torna-se relevante avançar na investigação científica dessa espécie. Assim, o objetivo desta pesquisa é estudar os extratos de *Stachys byzantina* sob diferentes espectros de luz, examinando a influência da variabilidade luminosa sobre suas características morfofisiológicas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos, em sistema hidropônico associado ao cultivo *indoor*. A adoção desse modelo experimental permitiu maior precisão e controle sobre as variáveis ambientais, assegurando condições homogêneas de crescimento para todas as plantas. O cultivo hidropônico foi adotado por permitir padronização do fornecimento de nutrientes e eliminação de interferências

relacionadas à heterogeneidade do solo. O cultivo em ambiente indoor possibilitou ainda o monitoramento contínuo e a regulação de fatores ambientais como temperatura, umidade relativa do ar e qualidade da luz.

Durante todo o período experimental, a condutividade elétrica (CE) e o pH da solução nutritiva foram ajustados constantemente, assegurando o suprimento equilibrado de macro e micronutrientes. O sistema hidropônico foi conduzido em circuito fechado com monitoramento diário, reduzindo perdas de nutrientes e água. A temperatura ambiente foi mantida em faixa adequada ao desenvolvimento da espécie, o que garantiu a uniformidade das condições de cultivo e minimizou oscilações ambientais que poderiam comprometer os resultados.

As mudas de *Stachys byzantina* foram submetidas a três diferentes condições de iluminação artificial, estabelecidas de acordo com proporções específicas entre os comprimentos de onda vermelho e azul, reconhecidos por exercerem forte influência sobre a fotossíntese e a morfogênese vegetal. Os tratamentos consistiram em: combinação vermelho:azul na proporção de 2:1 (RB 1:1), luz azul pura (B) e combinação vermelho:azul na proporção de 1:2 (RBB). Os tratamentos luminosos foram aplicados diariamente, em regime fotoperiódico controlado, das 6 h às 18 h, garantindo 12 horas contínuas de exposição luminosa. Após esse período, as plantas permaneceram no escuro, respeitando o ciclo natural de alternância claro-escuro necessário para os processos metabólicos noturnos.

As variáveis analisadas foram selecionadas de modo a contemplar tanto aspectos morfológicos quanto fisiológicos do crescimento vegetal. Foram avaliadas a massa seca da parte aérea e das raízes, obtida após secagem em estufa; a área foliar específica, determinada por meio de digitalização e análise em software; o comprimento radicular médio, mensurado com régua milimetrada; o número de folhas emitidas por planta, determinado por contagem direta; e a quantidade de luz efetivamente incidente em cada tratamento, registrada com luxímetro.

A avaliação fisiológica foi conduzida por meio da determinação de parâmetros de fluorescência da clorofila a, reconhecidos como marcadores sensíveis da eficiência do aparato fotossintético. Foram analisados os seguintes indicadores: Fv/Fm, ABS/RC, TRo/RC e ETo/RC.

O parâmetro Fv/Fm foi empregado como indicador do estado funcional do fotossistema II (PSII) e da eficiência fotoquímica máxima, refletindo a capacidade das plantas em converter energia luminosa em energia química. Os demais parâmetros forneceram informações complementares: ABS/RC, relacionado à absorção de fótons por centro de reação; TRo/RC, referente à taxa de transferência de energia para o centro de reação; e ETo/RC, associado à eficiência de transporte de elétrons.

Essa abordagem permitiu uma compreensão mais abrangente do desempenho fotossintético das plantas frente às diferentes condições de iluminação. Os dados obtidos foram submetidos à estatística descritiva, possibilitando a síntese dos resultados e a identificação dos principais padrões fisiológicos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos neste estudo demonstraram que a qualidade espectral da luz modulou significativamente tanto os parâmetros fisiológicos de fluorescência da clorofila *a* quanto o crescimento e desenvolvimento vegetativo de *Stachys byzantina*.

No que se refere à fluorescência da clorofila *a*, observou-se que os valores de Fv/Fm permaneceram inferiores a 0,75 em todos os tratamentos, indicando limitação na maquinária fotossintética. Nos tratamentos B (luz azul exclusiva) e RBB (vermelho:azul 1:2), os valores se aproximaram de 0,60, sendo superiores ao tratamento RB (vermelho:azul 2:1). Esse resultado indica que espectros ricos em azul preservaram melhor a integridade funcional do fotossistema II (PSII), garantindo maior eficiência fotossintética máxima, enquanto a predominância de vermelho reduziu ligeiramente esse potencial (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros da fluorescência da clorofila *a:* Fv/Fm, ABS/RC, ETo/RC e TRo/RC em plantas de peixinho da horta submetidas a diferentes espectros luminosos.

Tratamentos	Fv/Fm	ABS/RC	ETo/RC	TRo/RC
RB	0,561±0,07	2,954±0,56	1,626±0,18	0,380±0,77
B	0,639±0,05	2,353±0,33	1,490±0,15	0,400±0,11
RBB	0,615±0,05	2,395±0,29	1,462±0,12	0,368±0,07

Os valores expressos como média ± indicam o desvio padrão (DP) da média.

O parâmetro ABS/RC foi maior valor no tratamento RB em comparação a B e RBB, o que sugere que, sob predominância de vermelho, as plantas podem ter experimentado condições de estresse fisiológico ou possuírem menor densidade de centros de reação ativos. Em relação à razão ETo/RC e TRo/RC não foram verificadas diferenças significativas. As relações ETo/RC e TRo/RC são indicadores relevantes para compreender a eficiência fisiológica das plantas frente às condições ambientais. A razão ETo/RC não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, indicando que, independentemente da absorção e retenção de energia, a taxa de transporte eletrônico se manteve estável. Esse resultado evidencia a resiliência do PSII, que conseguiu manter a continuidade do fluxo eletrônico mesmo diante das variações na qualidade espectral da luz. Já a razão TRo/RC reflete a consistência da resposta estomática na regulação da transpiração. Valores mais baixos e menos variáveis sugerem controle estomático eficiente, enquanto dispersões elevadas revelam instabilidade fisiológica e maior vulnerabilidade ao estresse hídrico.

De acordo com Fontana et. al. (13), a luz vermelha pura pode aumentar o estresse fisiológico e reduzir a sobrevivência das plântulas, enquanto os espectros combinados (BR-LEDs) mantêm o vigor e o desenvolvimento inicial. Esse padrão é compatível com os valores de Fv/Fm obtidos no presente estudo, em que a predominância de azul ou sua associação ao vermelho manteve a eficiência fotossintética máxima acima de 0,60, indicando menor limitação no transporte eletrônico e maior estabilidade do fotossistema II.

No aspecto morfológico, verificou-se que a área foliar específica teve uma redução de aproximadamente 10% no tratamento RBB quando comparada a RB e B (Figura 1).

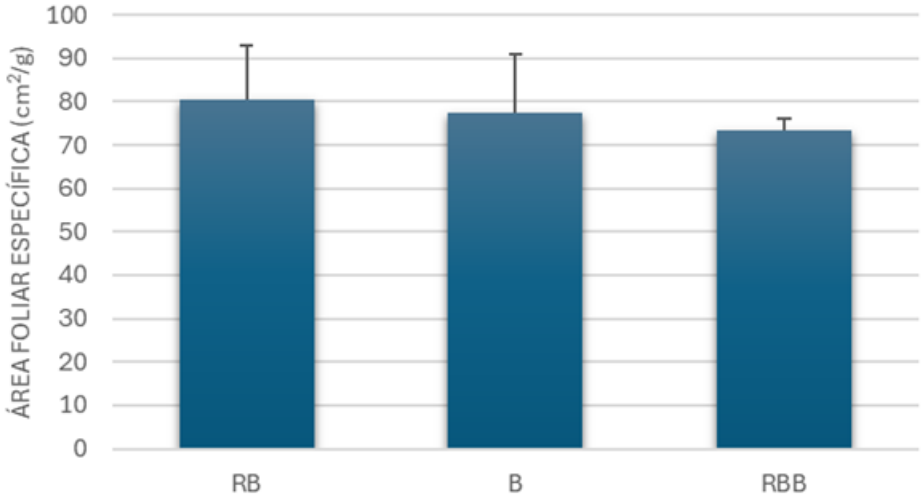


Figura 1. Área foliar específica de plantas de peixinho da horta cultivadas em sistema de *in door* e submetidas à diferentes espectros luminosos. As barras indicam o desvio padrão da média.

Esse resultado sugere que uma maior proporção de luz azul em combinação com vermelho pode ter reduzido a espessura relativa das folhas, implicando em ajustes estruturais como resposta adaptativa à qualidade espectral.

A massa seca de raiz foi significativamente maior no tratamento B, seguida do RBB, enquanto o menor valor foi observado em RB (Figura 2).

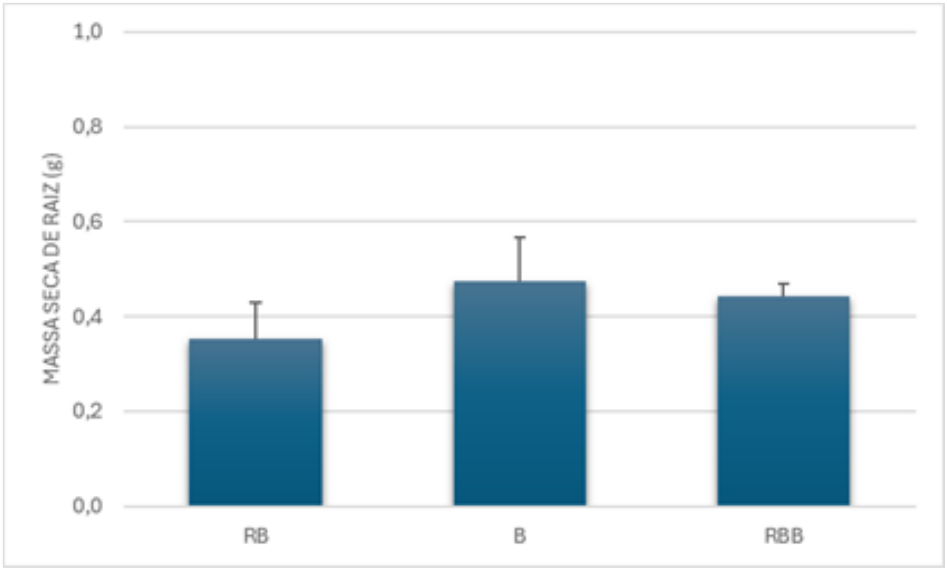


Figura 2. Massa seca de raiz de plantas de peixinho da horta cultivadas em sistema de *in door* e submetidas à diferentes espectros luminosos. As barras indicam o desvio padrão da média.

Esse comportamento indica que a luz azul exerceu papel determinante no favorecimento do crescimento radicular, corroborando estudos que associam o espectro azul a estímulos positivos no desenvolvimento de raízes em diversas espécies vegetais. De forma

semelhante, a massa seca da parte aérea foi mais elevada nas plantas cultivadas sob luz azul (B), seguida do tratamento RBB, enquanto o tratamento RB apresentou valores inferiores (Figura 3). seguida do tratamento RBB, enquanto o tratamento RB apresentou valores inferiores (Figura 3). Segundo Cunha et. al. (14), em estudo com a *Mentha spicata* apresentaram que as combinações de LEDs vermelhos e azuis favoreceram o crescimento *in vitro* da planta medicinal, resultando em maiores quantidades de biomassa seca, área foliar total, massa foliar específica e razão de peso das folhas. Essa evidência corrobora o presente estudo, sugerindo que a combinação equilibrada desses comprimentos de onda potencializa o desempenho fotossintético e o acúmulo de biomassa.

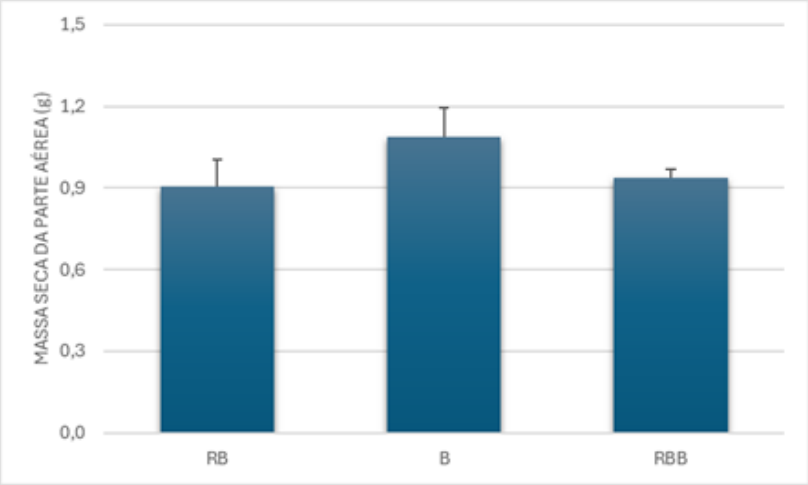


Figura 3. Massa seca de parte aérea de plantas de peixinho da horta cultivadas em sistema de *in door* e submetidas à diferentes espectros luminosos. As barras indicam o desvio padrão da média.

Esse resultado reforça a importância da luz azul para o desenvolvimento vegetativo, contribuindo para maior acúmulo de biomassa e favorecendo a fotomorfogênese.

Quanto ao comprimento radicular, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 4).

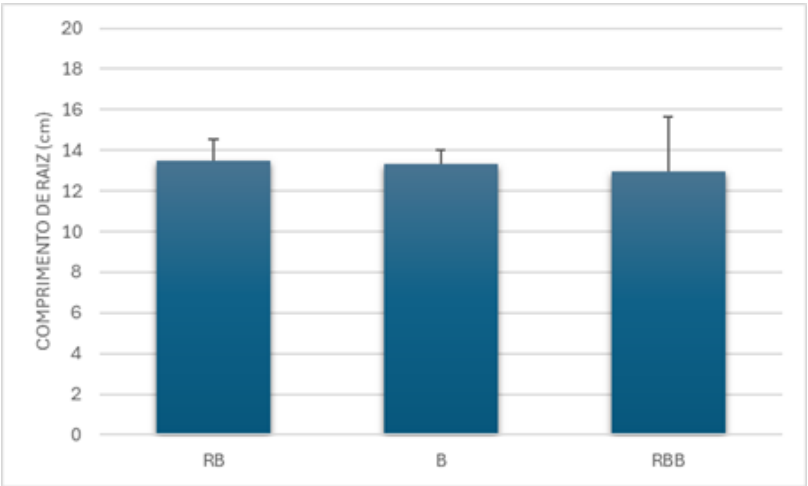


Figura 4. Comprimento de raiz de plantas de peixinho da horta cultivadas em sistema de *in door* e submetidas à diferentes espectros luminosos. As barras indicam o desvio padrão da média.

Esse achado sugere que, embora a luz azul tenha favorecido o acúmulo de massa radicular, não promoveu alterações substanciais na elongação das raízes.

Por outro lado, o comprimento da parte aérea apresentou valores reduzidos no tratamento RBB (Figura 5), indicando que a maior proporção de azul, em combinação com vermelho, pode ter direcionado o balanço energético das plantas para a formação de raízes, em detrimento do alongamento caulinar.

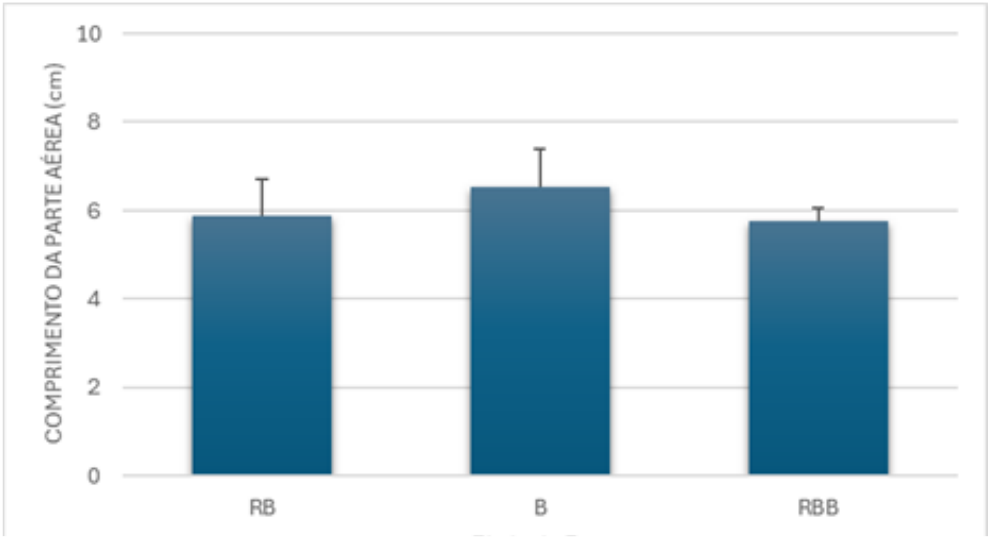


Figura 5. Comprimento de raiz de plantas de peixinho da horta cultivadas em sistema de *in door* e submetidas à diferentes espectros luminosos. As barras indicam o desvio padrão da média.

A medição da intensidade luminosa confirmou que todos os tratamentos receberam níveis semelhantes de luz total (40% de intensidade), mesmo com composições espectrais distintas. Isso reforça que as diferenças observadas no desempenho fisiológico e morfológico das plantas foram consequência direta da qualidade da luz e não da quantidade fornecida.

Em síntese, os resultados revelam que espectros ricos em azul foram mais eficientes em preservar a integridade funcional do PSII e promover o acúmulo de biomassa, tanto radicular quanto aérea. Em contrapartida, espectros com predominância de vermelho aumentaram a absorção e retenção de energia por centro de reação (ABS/RC), mas reduziram a eficiência fotossintética máxima (Fv/Fm). Esses achados demonstram que o manejo da iluminação artificial em sistemas de cultivo controlado de *Stachys byzantina* constitui uma estratégia promissora para modular o crescimento vegetativo e otimizar a produtividade desta espécie de PANC.

CONCLUSÕES

Esses resultados demonstram que o manejo da iluminação artificial em cultivo controlado de peixinho da horta é uma ferramenta estratégica para modular o crescimento vegetativo da planta. Em síntese, a qualidade da luz, modulou a eficiência fotossintética e o desenvolvimento morfológico, com espectros ricos em azul favorecendo o desempenho fisiológico e o acúmulo de biomassa em relação à predominância de vermelho.

AGRADECIMENTOS

Gratidão à FAPEG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás) pela concessão do auxílio financeiro, essencial para o desenvolvimento desta pesquisa, e ao IF Goiano (Instituto Federal Goiano) pela concessão da bolsa de iniciação científica, que contribuiu significativamente para a execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS

1. Ecycle. Peixinho-da-horta: benefícios e como fazer [Internet]. 2022 [acesso em 26 set. 2023]. Disponível em: https://www.ecycle.com.br/peixinhos-da-horta/

2. **Azevedo TD.** Propriedades nutricionais, antimicrobianas e toxicidade preliminar do peixinho da horta (Stachys byzantina K. Koch) [dissertação]. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 2018.

3. **Ribeiro LHL.** Análise dos programas de plantas medicinais e fitoterápicos no Sistema Único de Saúde (SUS) sob a perspectiva territorial. Cienc Saude Colet. 2019;24(5):1733–42.

4. **Liberato PS, Lima DVT, Silva GMB.** PANCs – Plantas Alimentícias Não Convencionais e seus benefícios nutricionais. Environ Smoke. 2019;2(2):102–11.

5. **Camargo RP, Costa MA, Oliveira MAB, et al.** Plantas alimentícias não-convencionais (PANCs) do Parque Natural Municipal Francisco Affonso de Mello, Mogi das Cruzes, SP. Rev Biodiversidade. 2023;22(1):88–97.

6. **Santos AL, Luz MLS, Oliveira JRA, et al.** Plantas alimentícias não convencionais: revisão. Arq Cienc Saude UNIPAR. 2022;26(3):1068–90.

7. **Tomou EM, Kallimanis A, Iliopoulos V, et al.** Stachys genus: traditional uses, phytochemistry and bioactivities. Medicines. 2020;7(10):63.

8. **Stegăruș DI, Sutan NA, Moacă EA, et al.** Phytochemical analysis and biological activity of three Stachys species (Lamiaceae) from Romania. Plants. 2021;10(12):2710.

9. **Santos VL, Fernandes R, Moura G, et al.** Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCs): uma revisão. Rev Bras Ensino Cienc Mat. 2022;5(1).

10. **Fagundes AE.** Caracterização físico-química e de compostos bioativos de folhas de batata-doce comum e biofortificada (Ipomoea batatas L.) [dissertação]. Francisco Beltrão: Universidade Estadual do Oeste do Paraná; 2020.

11. **Farfus AP.** Resgate da PANC Stachys byzantina: avaliação da cinética de secagem e atividade antimicrobiana do óleo essencial e hidrolato da parte aérea [dissertação]. Pato Branco: Universidade Tecnológica Federal do Paraná; 2022.

12. **Brites BF.** Perfil de ácidos graxos do óleo bruto e atividade anticâncer e antimicrobiana das folhas de Stachys byzantina K. Koch [dissertação]. Campo Grande: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul; 2022.

13. Fontana DC, Becker CE, Pinheiro MVM, Pretto MM, dos Santos J, Caron BO, Schmidt D. Impact of light quality on the physiological characteristics of *Capsicum chinense* seeds. *Adv Hortic Sci.* 2019;33(2):235-243. doi:10.13128/ahs-22792

14. **Cunha SHB, Dias GP, Silva MR, et al.** Influência da qualidade de luz no crescimento e acúmulo de voláteis de Mentha spicata cultivada in vitro. Sci Plena. 2019;15(9):1–11. doi:10.14808/sci.plena.2019.090201

Capítulo 43

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-43

USO DE ESTERCO BOVINO EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA: CONTRIBUIÇÕES PARA A RECUPERAÇÃO DE SOLOS E SUSTENTABILIDADE NA AGRICULTURA FAMILIAR

Renato Dusmon Vieira ; Valeska Cristina Souza Silva de Assis *; Lidiane Machado Dionizio ; Matheus Carneiro Heinzelmann ; Natália Veleda Duailibe ; Flívia Fernandes de Jesus Souza

*Email:*renato-dv@gmail.com

Resumo: A degradação do solo é um desafio global que ameaça a sustentabilidade agrícola. A Integração Lavoura-Pecuária (ILP) surge como estratégia eficiente, combinando produção agrícola e pecuária para promover a ciclagem de nutrientes e a recuperação de solos. O presente trabalho teve como objetivo avaliar, por meio de revisão bibliográfica, os efeitos do uso de esterco bovino em sistemas de ILP. A análise contemplou artigos e experimentos realizados no Brasil e no exterior, com ênfase em condições de agricultura familiar. Os estudos revisados demonstraram que a aplicação de esterco bovino pode elevar em até 25% a produtividade do milho e em aproximadamente 20% a da soja, além de promover aumento médio de 30% no teor de matéria orgânica do solo e redução de 15% na dependência de fertilizantes químicos. Também foram observados ganhos em atributos físicos sendo, melhor retenção de água e redução da compactação e biológicos como o incremento da atividade microbiana. Conclui-se que o uso de esterco bovino em ILP é uma prática sustentável, de baixo custo e elevado impacto, capaz de recuperar solos degradados, aumentar a resiliência produtiva e fortalecer a agricultura familiar.

Palavras–chave: Matéria orgânica do solo; Ciclagem de nutrientes; Produtividade agrícola; Agricultura sustentável; Pequenas propriedades.

INTRODUÇÃO

A sustentabilidade dos sistemas agropecuários constitui um dos maiores desafios da agricultura contemporânea(1). Estima-se que aproximadamente um terço dos solos agrícolas do mundo apresente algum grau de degradação, reflexo de processos como erosão hídrica e eólica, salinização, acidificação, compactação e contaminação química, que comprometem a funcionalidade e a resiliência dos ecossistemas edáficos (2,3). Esses processos resultam em desequilíbrios físicos, químicos e biológicos, reduzindo a capacidade produtiva do solo e, consequentemente, a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e pecuários(1).

A degradação dos solos tem caráter multifatorial e está frequentemente associada ao uso intensivo e inadequado da terra, à monocultura, ao manejo deficiente das pastagens e à aplicação indiscriminada de insumos químicos (4). Globalmente, as áreas destinadas à agricultura somam aproximadamente 1,87 bilhão de hectares (5), concentrando-se

principalmente na Índia, Estados Unidos, China e Rússia, que respondem por 36% da área cultivada mundial (2). No Brasil, a agricultura ocupa cerca de 65 milhões de hectares, representando 7,8% do território nacional, enquanto a pecuária estende-se sobre uma área ainda mais expressiva, totalizando mais de 180 milhões de hectares destinados à produção de carne e leite (3,6). Entretanto, parcela significativa dessas áreas encontra-se em diferentes estágios de degradação, especialmente pastagens, que representam o segmento mais suscetível a processos de perda de qualidade edáfica e funcional (7).

Diante desse cenário, a adoção de sistemas integrados de produção tem sido apontada como alternativa promissora para promover a recuperação da qualidade dos solos e aumentar a eficiência do uso da terra. ILP, em particular, constitui modelo consolidado de intensificação sustentável, combinando componentes agrícolas e pecuários em rotação, sucessão ou consórcio, de forma temporal ou espacialmente planejada (8,9). Tal estratégia promove interações positivas entre os diferentes componentes, possibilitando a ciclagem de nutrientes, a diversificação da produção, a mitigação de riscos climáticos e o aumento da rentabilidade das propriedades rurais (10,11). Além disso, contribui para a formação de palhada no plantio direto, para a recuperação de áreas degradadas e para a mitigação de emissões de gases de efeito estufa, aspectos essenciais no contexto de mudanças climáticas (12,13).

No contexto brasileiro, a agricultura familiar desempenha papel estratégico na produção de alimentos, geração de emprego e renda e conservação ambiental. No entanto, esse segmento enfrenta limitações como baixa fertilidade dos solos, uso restrito de tecnologias conservacionistas e escassez de recursos financeiros para aquisição de insumos industriais (14). Diante desses desafios, práticas de baixo custo e alto impacto, como o aproveitamento de resíduos orgânicos, destacam-se como alternativas viáveis para promover a sustentabilidade da produção.

Dentre esses recursos, o esterco bovino, subproduto abundante da pecuária, constitui uma fonte significativa de nutrientes e matéria orgânica, com elevado potencial para melhorar atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Sua aplicação contribui para o aumento do teor de carbono orgânico, a melhoria da estrutura do solo, a maior infiltração e retenção de água e o estímulo à atividade microbiana – aspectos fundamentais para restaurar a capacidade produtiva de áreas degradadas (7,10). Vale destacar que, quando associado à ILP, o uso de esterco bovino potencializa os benefícios do sistema, promovendo maior eficiência na ciclagem de nutrientes, incremento na produção de forragem e ganhos de produtividade agrícola, alinhando-se aos princípios da intensificação sustentável.

Contudo, apesar do reconhecimento de seu potencial agronômico e ambiental, a literatura ainda carece de revisões críticas que sistematizem resultados obtidos sob diferentes condições edafoclimáticas e modelos produtivos. Especificamente, persistem lacunas quanto aos efeitos de longo prazo, à interação entre doses e manejos do insumo e ao impacto na resiliência de agroecossistemas familiares.

Para enfrentar essas lacunas, esta revisão bibliográfica foi conduzida mediante consulta às bases de dados Scopus, Web of Science e SciELO. A estratégia de busca combinou os descritores: "esterco bovino", "integração lavoura-pecuária", "agricultura familiar", "recuperação de solos" e "sustentabilidade", e seus equivalentes em inglês. Como critérios de inclusão, adotaram-se: (i) artigos originais e de revisão publicados entre 2001 e 2024; (ii) estudos que investigaram explicitamente o uso de esterco bovino em sistemas de ILP; e (iii) textos disponíveis em português ou inglês. Por outro lado, como critérios de exclusão, eliminaram-se estudos fora do escopo temático central da pesquisa.

Nesse contexto, este capítulo tem como objetivo revisar e discutir os avanços científicos sobre o uso de esterco bovino em sistemas de ILP, destacando seu papel na

recuperação de solos degradados e na promoção da sustentabilidade da agricultura familiar. Ademais, busca-se identificar limitações e perspectivas futuras dessa prática, contribuindo para a consolidação de estratégias produtivas mais resilientes e ambientalmente responsáveis.

Integração lavoura-pecuária (ILP) como estratégia de intensificação sustentável

Os sistemas integrados de produção têm se consolidado como estratégias eficientes para a intensificação sustentável da agricultura, ao combinarem componentes agrícolas, pecuários e florestais em arranjos produtivos diversificados. Dentre as modalidades mais estudadas, destacam-se a ILP, a Integração Pecuária-Floresta (IPF), cada uma com características específicas de manejo e combinações produtivas. A implementação desses sistemas oferece múltiplos benefícios, incluindo aumento da produtividade agrícola e pecuária, melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, incremento da matéria orgânica e dos estoques de carbono, maior retenção hídrica, além da mitigação de impactos ambientais como o desmatamento e as emissões de gases de efeito estufa (15,12).

A adoção de sistemas integrados é particularmente relevante no contexto da agricultura familiar, na qual a intensificação sustentável da produção e a manutenção da fertilidade do solo são essenciais para garantir segurança alimentar e produtividade econômica. Pesquisas recentes indicam que a ILP, quando combinada com estratégias de manejo de nutrientes alternativas, como o uso de resíduos orgânicos, apresenta significativa eficiência produtiva e contribui para a recuperação de atributos degradados do solo (10,13). Por outro lado, métodos convencionais de cultivo, mesmo aqueles baseados em plantio direto ou preparo reduzido, mostram-se insuficientes para preservar a integridade do solo, sendo a monocultura, a sucessão de culturas sem reposição de nutrientes e a baixa ciclagem orgânica fatores críticos de degradação (4,3).

A degradação do solo manifesta-se pela redução da cobertura vegetal, diminuição da densidade e extensão do sistema radicular, aumento da compactação e perda de porosidade total, comprometendo a infiltração de água e a absorção de nutrientes (10). Nesse sentido, a ILP, também denominada agropastoril, integra os componentes agrícola e pecuário por meio de rotação, sucessão ou consórcio, podendo ocorrer em uma mesma área ao longo de um ano agrícola ou em períodos intercalados ao longo de vários anos (9). Tal abordagem permite maior produção em menor área, recuperação de pastagens degradadas, aumento da oferta de forragem no período de escassez e formação de palhada, promovendo proteção do solo e diversificação da renda.

Além dos benefícios agronômicos, a ILP apresenta elevada rentabilidade econômica, sendo reconhecida como prática sustentável e atrativa para produtores de diferentes escalas. A integração otimiza o uso da terra, aumenta a produtividade, diversifica a produção e gera produtos de qualidade a menores custos, promovendo sinergias entre os diferentes componentes produtivos (4,3). Apesar de atualmente apenas cerca de 2% das áreas agrícolas e de pastagem do Brasil serem destinadas a sistemas integrados, observa-se uma tendência de expansão, impulsionada tanto pela eficiência produtiva quanto pelos benefícios ambientais associados à sustentabilidade (16,3,17).

Portanto, a ILP constitui uma abordagem estratégica para a recuperação de solos degradados, o aumento da produtividade agrícola e pecuária e a promoção da sustentabilidade ambiental, representando uma alternativa viável para o fortalecimento da agricultura familiar e para o enfrentamento dos desafios impostos pelas práticas convencionais de cultivo e pelo contexto de mudanças climáticas.

A adoção de sistemas integrados de produção, como a ILP, representa uma

alternativa viável e sustentável frente aos modelos convencionais de cultivo. Enquanto os sistemas convencionais frequentemente resultam em degradação física, química e biológica do solo devido à monocultura, ao manejo inadequado e à dependência de insumos externos, a ILP promove a união entre os componentes agrícola e pecuário, otimizando o uso dos recursos naturais e elevando a eficiência produtiva. A tabela a seguir sintetiza as principais diferenças entre esses dois modelos, destacando os benefícios da ILP em termos de produtividade, custos, atributos do solo e sustentabilidade ambiental.

Tabela 1. Comparação entre os sistemas convencionais versus sistemas ILP

Aspecto	Sistema Convencional	Sistema ILP (Integração Lavoura-Pecuária)
Produtividade	Estável ou decrescente ao longo do tempo	Aumento significativo
Custos de Produção	Alto uso de insumos externos	Redução de fertilizantes sintéticos
Matéria Orgânica	Tendência de declínio	Aumento via ciclagem de nutrientes e palhada
Estrutura do Solo	Compactação e degradação física	Melhoria da agregação e porosidade
Retenção Hídrica	Reduzida	Aumentada
Diversificação de Renda	Baixa (monocultura)	Alta (grãos + carne + leite + outros)
Emissões de GEE	Maiores	Mitigadas
Resiliência Climática	Baixa	Alta
Uso da Terra	Ineficiente	Otimizado (rotação, consórcio, sucessão)

Como demonstrado na tabela anterior, a ILP não apenas supera os sistemas convencionais em aspectos-chave como produtividade, melhoria dos atributos do solo e eficiência no uso de recursos, mas também se consolida como um modelo estratégico para a agricultura familiar.

A ILP permite a ciclagem eficiente de nutrientes, com destaque para o uso do esterco bovino, a diversificação da produção e a redução da dependência de insumos externos, promovendo maior resiliência econômica e ambiental. Esses resultados reforçam a ILP como uma alternativa viável e necessária para a recuperação de solos degradados e para a transição de sistemas agropecuários mais sustentáveis e adaptados aos desafios contemporâneos.

Degradação e recuperação de solos agrícolas

A degradação do solo configura-se como um fenômeno que compromete simultaneamente os atributos físicos, químicos e biológicos do ambiente edáfico. A degradação física envolve processos como compactação, erosão e selamento superficial, que reduzem a porosidade do solo, limitam a infiltração de água e restringem o desenvolvimento radicular, comprometendo a capacidade produtiva das culturas (10). Já a degradação química manifesta-se pela perda de nutrientes essenciais, acidificação e salinização, reduzindo a fertilidade e a eficiência do uso de insumos agrícolas (4,18). Paralelamente, a degradação biológica caracteriza-se pela diminuição da matéria orgânica, declínio da diversidade microbiana e redução da atividade enzimática, comprometendo a ciclagem de nutrientes e a resiliência do solo frente a estresses ambientais (3).

As consequências da degradação são percebidas na diminuição da produtividade

agrícola e na redução da sustentabilidade dos sistemas de produção, especialmente em propriedades familiares, onde recursos financeiros e tecnológicos são limitados. Solos degradados apresentam menor capacidade de retenção hídrica, redução da biomassa vegetal e ineficiência na absorção de nutrientes, fatores que afetam diretamente a rentabilidade e aumentam a vulnerabilidade a riscos climáticos e fitossanitários (7,13). Dessa forma, a degradação do solo constitui um entrave crítico à segurança alimentar e à manutenção da produção agropecuária de forma sustentável.

O esterco bovino, definido como o resíduo orgânico resultante da excreção de bovinos (fezes, urina e, por vezes, material de cama ou palhada), constitui um recurso fundamental e estratégico para a agricultura familiar. Caracterizado pela sua elevada disponibilidade e baixo custo em propriedades que integram atividades pecuárias e agrícolas, este insumo de alto valor agronômico combina frações sólidas e líquidas ricas em nutrientes essenciais para o desenvolvimento vegetal, como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, além de matéria orgânica que atua como condicionador físico e biológico do solo (22). Como outros adubos orgânicos, o esterco bovino apresenta atributos físico-químicos e biológicos que o diferenciam dos fertilizantes minerais. Sua aplicação promove o incremento da matéria orgânica do solo, a melhoria da estrutura e agregação, o aumento da capacidade de retenção hídrica e a potencialização da atividade microbiana, elementos essenciais para a manutenção da fertilidade natural e da ciclagem de nutrientes. Além disso, a mineralização gradual de seus nutrientes permite um fornecimento contínuo e equilibrado de nitrogênio, fósforo e potássio, o que reduz perdas por lixiviação e volatilização e mitiga os impactos ambientais associados à aplicação excessiva de fertilizantes sintéticos (21,22). Dessa forma, o uso desse e de outros resíduos orgânicos sustenta tanto a produtividade agrícola quanto a resiliência dos sistemas frente a estresses climáticos e fitossanitários.

Do ponto de vista agronômico, a incorporação do esterco bovino promove efeitos significativos e melhorias expressivas nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, com especial relevância para as pequenas propriedades. Ele aumenta os estoques de matéria orgânica e carbono, melhorando a estrutura, a agregação, a porosidade e a estabilidade estrutural. Essas melhorias favorecem a infiltração e a capacidade de retenção hídrica, fatores críticos em regiões como o Cerrado, que possui solos de textura arenosa e suscetíveis à compactação e erosão (10). Quimicamente, o esterco equilibra a capacidade de troca catiônica e o pH, enquanto a liberação gradual e contínua de seus nutrientes garante uma fertilidade de longo prazo, estimulando o desenvolvimento radicular e a ciclagem de nutrientes (4, 13). Biologicamente, ele estimula a diversidade e a atividade da microbiota, incluindo fixadores biológicos de nitrogênio, decompositores e microrganismos promotores de crescimento vegetal. Esse conjunto de benefícios resulta em um efeito sinérgico que incrementa a fertilidade, a produtividade e a resiliência do sistema agrícola como um todo (4,10, 26,17).

A composição exata depende da dieta, idade, manejo do rebanho e sistema de criação, o que influencia a disponibilidade imediata e a liberação gradual desses nutrientes no solo (25,3). A variabilidade da qualidade do esterco bovino está diretamente relacionada à alimentação dos animais e às práticas de manejo. Animais alimentados predominantemente com pastagens geram esterco com maior proporção de fibra e carbono orgânico estável, enquanto dietas ricas em concentrados tendem a produzir esterco com maior disponibilidade imediata de nutrientes, porém menor capacidade de formação de húmus.

Sua aplicação é considerada uma estratégia de manejo sustentável, especialmente em sistemas integrados como a ILP, onde atua simultaneamente na fertilização do solo e na recuperação de áreas degradadas (7,19). Essa característica confere aos pequenos produtores uma vantagem significativa ao reduzir a dependência de fertilizantes minerais

industrializados, muitas vezes inacessíveis devido a custos ou logística. Sob uma perspectiva socioeconômica, essa substituição parcial ou total de insumos caros contribui diretamente para a autossuficiência produtiva e a redução de custos operacionais, permitindo que os agricultores reinvestem em outros aspectos do sistema, como aquisição de sementes, manutenção de cercas, manejo de pastagens ou melhoramento genético do rebanho.

Ao integrar o manejo do esterco na rotina da propriedade, torna-se viável implementar sistemas de produção sustentáveis, como a ILP, otimizando o uso da terra e favorecendo a simultaneidade entre produção vegetal e animal. Além disso, a utilização estratégica do esterco em propriedades familiares permite aumentar a produtividade de culturas alimentares (como soja, milho e feijão) e a qualidade das pastagens, promovendo maior disponibilidade de forragem para o rebanho, redução do uso de suplementação concentrada e incremento da rentabilidade (17). Estudos de caso em sistemas ILP demonstram que a incorporação estratégica do esterco bovino não apenas recupera áreas degradadas, mas também aumenta a produtividade de culturas como soja e milho e melhora a qualidade das pastagens subsequentes. Experimentos no Cerrado brasileiro mostram incrementos superiores a 20% na produtividade de soja no primeiro ciclo após aplicação de esterco, com melhoria na cobertura do solo, ciclagem de nutrientes e sustentabilidade econômica de propriedades familiares (13). Além disso, essa prática contribui para a mitigação de impactos ambientais, incluindo a redução da emissão de gases de efeito estufa, consolidando o esterco bovino como ferramenta estratégica para a agricultura integrada e sustentável.

Contudo, para que seus benefícios se concretizem, é imprescindível um manejo técnico criterioso. A aplicação excessiva ou incorreta do esterco bovino, assim como de outros resíduos orgânicos, pode gerar desequilíbrios nutricionais no solo, proliferação de patógenos e contaminação ambiental por metais pesados, resíduos farmacológicos ou outros contaminantes químicos, comprometendo a saúde humana, animal e a sustentabilidade do sistema. Para minimizar esses riscos, é fundamental adotar estratégias de manejo pós-produção, como a compostagem controlada, que, ao regular tempo de armazenamento, umidade e aeração, influencia diretamente a sobrevivência de microrganismos benéficos e a redução de patógenos. Adicionalmente, o monitoramento da qualidade do material, a análise periódica de nutrientes, a aplicação em doses adequadas, bem como a atenção ao momento e método de incorporação ao solo, são práticas que determinam a eficiência agronômica, evitando perdas por lixiviação, a emissão de gases indesejáveis e a própria degradação do solo (7, 19, 23). A literatura enfatiza que o sucesso agronômico e a contribuição do esterco para a segurança alimentar e a sustentabilidade socioambiental estão, portanto, condicionados à integração dessas práticas de manejo sustentável com o conhecimento técnico local e o monitoramento contínuo da qualidade do solo.

Ambientalmente, a prática promove mitigação de impactos adversos, como erosão do solo e emissão de gases de efeito estufa, e contribui para a conservação de recursos naturais. Assim, a utilização do esterco bovino se consolida como um instrumento estratégico, capaz de integrar eficiência agronômica, viabilidade econômica e sustentabilidade ambiental em sistemas produtivos familiares, representando um modelo replicável e de grande relevância para políticas públicas voltadas à agricultura sustentável (7,19,13).

Para reverter os processos de degradação, têm sido implementadas estratégias de recuperação que atuam de forma integrada sobre os aspectos físico-químico-biológicos do solo. Entre essas práticas destacam-se a adubação verde, a rotação e sucessão de culturas, bem como a incorporação de insumos orgânicos, como compostos e esterco animal. Tais estratégias promovem a reposição de nutrientes, incrementam a matéria orgânica, estimulam

a microbiota do solo e melhoram sua estrutura física, favorecendo a infiltração de água e a ciclagem de nutrientes, refletindo diretamente no aumento da produtividade agrícola e na sustentabilidade do sistema (10,18,3).

O aproveitamento de resíduos orgânicos na agricultura tem se consolidado como uma estratégia central para sistemas produtivos sustentáveis, com impacto direto na fertilidade do solo, mitigação de impactos ambientais e promoção de ciclos biogeoquímicos eficientes. Globalmente, a agropecuária gera volumosas quantidades de subprodutos, incluindo esterco animal, restos de colheitas, resíduos industriais agroalimentares e lodo de estações de tratamento. Nesse contexto, a utilização de resíduos orgânicos como adubos representa uma abordagem de economia circular, integrando sustentabilidade ambiental e produtividade agrícola, com destaque para sistemas familiares e de pequena escala, onde a gestão de recursos é crítica para a viabilidade econômica da propriedade (20).

Experiências exitosas, tanto no Brasil quanto em cenários internacionais, evidenciam o potencial do uso de resíduos orgânicos como recurso estratégico para a sustentabilidade agrícola. No contexto brasileiro, sistemas de ILP têm demonstrado que a aplicação de esterco bovino em áreas de cultivo de grãos não apenas aumenta significativamente os teores de matéria orgânica e nutrientes disponíveis, mas também melhora o desempenho de culturas como soja e milho já no primeiro ciclo agrícola. Em escala internacional, países como Índia, China e Estados Unidos implementam programas de compostagem e reaproveitamento de resíduos agropecuários em larga escala, promovendo segurança alimentar, redução de dependência de fertilizantes minerais e mitigação de impactos ambientais. Estes exemplos reforçam que, quando manejados de forma estratégica, os resíduos orgânicos transcendem seu caráter de subproduto, constituindo-se em insumos fundamentais para a agricultura sustentável, resiliente e economicamente viável, especialmente em propriedades de agricultura familiar (24).

CONCLUSÃO

A utilização de esterco bovino em sistemas de ILP configura-se como uma estratégia agroecológica de elevado potencial para a agricultura familiar, ao promover a recuperação de solos degradados por meio da melhoria integrada de atributos físicos, químicos e biológicos. Evidências apontam que a prática contribui para o aumento da matéria orgânica, maior disponibilidade de nutrientes, incremento da atividade microbiana e melhoria da estrutura do solo, refletindo-se em ganhos expressivos de produtividade agrícola e pecuária.

Ademais, a substituição parcial de fertilizantes sintéticos pelo esterco bovino reduz custos de produção e amplia a sustentabilidade econômica dos sistemas. Ressalta-se, entretanto, a necessidade de manejo criterioso envolvendo compostagem, monitoramento de doses a fim de minimizar riscos de contaminação e garantir eficiência agronômica. Nesse contexto, a prática desponta não apenas como solução técnica, mas também como ferramenta estratégica para o fortalecimento da resiliência socioambiental e para o delineamento de políticas públicas voltadas à intensificação sustentável da agricultura familiar.

REFERÊNCIAS

1. Muniz MP, et al. Soybean yield in integrated crop–livestock system in comparison to soybean–maize succession system. The Journal of Agricultural Science. 2021;1-11. Disponível em: https://doi.org/10.1017/S0021859621000393. Acesso em: 04 de set. de 2024.

2. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). The importance of soil conservation for world food production. 2025. Disponível

em: http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/1116677/. Acessado em: 09 de jan. de 2025.

3. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Integração lavoura pecuária floresta: experiências no Brasil. 2021. Disponível em: Maior experimento mundial com sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta - Agro em Campo (ig.com.br). Acessado em: 04 de set. de 2024.

4. Novais RF, et al. Fertilidade do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: UFV; 2007.
5. National Aeronautics and Space Administration (NASA). Dados de áreas plantadas e uso de solos. 2017. Disponível em: NASA Worldview. 2024. Acesso em: 04 de set. de 2024.

6. United States Department of Agriculture – USDA (2024). Relatórios de produção mundial. Disponível em: Relatórios - USDA Brasil. Acesso em 04 de setembro de 2024.

7. Dias-Filho MB. Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação. 4ª ed. Belém, PA: Ed. do Autor; 2011.

8. Vilela L, et al. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.46, n.10, p.1127-1138, out. 2011. Brasileiro de Rochagem. Brasília: Embrapa Cerrados: Triunfal Gráfica e Editora, 2016. p. 109-114.

9. Almeida REM, et al. Corn yield, forage production and quality affected by methods of intercropping corn and Panicum maximum. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 2017;52(3):170-176.

10. Brandão DS, et al. Química e fertilidade do solo. Porto Alegre: SAGAH; 2021.

11. Schuster, MZ. et al. Optimizing forage allowance for productivity and weed management in integrated crop livestock systems. Agronomy for Sustainable Development, v.39, n.18, p.1-10, 2019.

12. Silva MS, et al. Efeitos de esterco bovino em atributos químicos e físicos do solo, produtividade de milho e créditos de nitrogênio [Tese]. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista; 2018.

13. Muniz MP, et al. Soybean yield in integrated crop–livestock system in comparison to soybean–maize succession system. The Journal of Agricultural Science. 2021;1-11. Disponível em: https://doi.org/10.1017/S0021859621000393. Acesso em: 04 de set. de 2024.

14. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Integração Lavoura Pecuária-Floresta. Disponível em: Acessado em: 10 de ago. de 2024.

15. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Integração Lavoura Pecuária-Floresta no Brasil. 2019. Disponível em: Sistemas de integração lavoura-pecuária floresta no Brasil: estratégias regionais de transferência de tecnologia, avaliação da adoção e de impactos. - Portal Embrapa. Acessado em: 10 de ago. de 2024.

16. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Cobertura de uso da Terra. 2024. Disponível em: Cobertura e uso da terra IBGE. Acesso em: 04 de set. de 2024.

17. Costa NR, et al. Acúmulo de nutrientes e tempo de decomposição da palhada de espécies forrageiras em função de épocas de semeadura. Bioscience Journal. 2015;31(3):818-829.

18. Finkler R, et al. Ciências do solo e fertilidade. Porto Alegre: SAGAH; 2018.

19. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Integração Lavoura Pecuária-Floresta no Brasil. 2019. Disponível em: Sistemas de integração lavoura-pecuária floresta no Brasil: estratégias regionais de transferência de tecnologia, avaliação da adoção e de impactos. - Portal Embrapa. Acessado em: 10 de ago. de 2024.

20. Badagliacca G, et al. (2024). Organic Fertilizers and Bio-Waste for Sustainable Soil Management to Support Crops and Control Greenhouse Gas Emissions in Mediterranean Agroecosystems: A Review. Horticulturae, 10(5), 427. https://doi.org/10.3390/horticulturae10050427

21. Řezáčová V, Czakó A, Stehlík M, Mayerová M, Šimon T, Smatanová M, et al. Organic fertilization improves soil aggregation through increases in abundance of eubacteria and products of arbuscular mycorrhizal fungi. Sci Rep. 2021;11(1):12548.

22. Burgos P, Madejón E, Cabrera F. Nitrogen mineralization and nitrate leaching of a sandy soil amended with different organic wastes. Waste Management & Research. 2006;24(2):175-182.

23. Goss MJ, Tubeileh A, Goorahoo D. A Review of the Use of Organic Amendments and the Risk to Human Health. In: Advances in Agronomy. 2013;120:275-379.

24. Da Silva Reis A, Gonçalves FB, Leite OC, Ribeiro da Silva R, Alves Ribeiro E, de Oliveira lima S. Esterco bovino na disponibilidade e recuperação de nutrientes em solo. Journal of Biotechnology and Biodiversity. 2022;10(3):250-260.

25. Santos FLS, et al. A Desiccation of forage plants from Urochloa genus using glyphosate herbicide. Revista de Agricultura Neotropical. 2022;9(1):e6772.

26. Bertin C, et al. Plantas de cobertura em pré-safra ao milho em plantio direto. Acta Scientiarum. Biological Sciences, Maringá, v. 27, n. 3, p. 379 386, 2005.

Capítulo 44

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-44

PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS, NUTRICIONAIS E BIOATIVAS DE HIBISCUS ROSA-SINENSIS L. SUBMETIDO AO PROCESSO DE SECAGEM

André Cardoso Mendes*; Elaine ; Eryck Allan Alves Fernandes; Giovanna Dantas de Oliveira ; Victoria Cristina Gomes Colman; Alfredina dos Santos Araujo ; Wiaslan Figueiredo Martins

**André Cardoso Mendes- Email: andre.cardoso@estudante.ufcg.edu.br*

Resumo: As flores comestíveis têm emergido como uma tendência significativa na gastronomia e na indústria de alimentos, não apenas por seu apelo estético, mas também por seu potencial nutricional e funcional. Dentre elas, a *Hibiscus rosa-sinensis L.* se destaca por ser uma fonte promissora de compostos bioativos com propriedades antioxidantes. Este estudo objetivou avaliar o impacto do processo de secagem sobre as propriedades físico-químicas, nutricionais e bioativas das flores de hibisco. Amostras *in natura* e desidratadas foram submetidas a análises de composição centesimal e de compostos bioativos, incluindo fenólicos, flavonoides, antocianinas, clorofilas, carotenoides, taninos e betalaínas, em extratos aquosos e hidroalcoólicos. A secagem promoveu redução significativa da umidade (81,7% → 51,09%) e da atividade de água (0,73 → 0,66), aumentando a estabilidade microbiológica. Observou-se também elevação dos teores de proteína (5,56% → 31,03%) e cinzas (1,01% → 2,67%), em função da concentração pela perda de água, enquanto os lipídeos permaneceram estáveis (1,89% → 1,83%). No perfil bioativo, houve aumento de compostos fenólicos (704,3 → 754,9 mg GAE/100g) e flavonoides (874,3 → 2249,2 mg/100g), mas reduções em pigmentos termossensíveis, como antocianinas (684,8 → 465,1 mg/100g), clorofilas (8509,1 → 6673,2 mg/100g), carotenoides (163,5 → 37,4 mg/100g) e betalaínas (14.900,7 → 6.482,4 mg/100g). Os extratos hidroalcoólicos apresentaram maior eficiência na extração de fenólicos, flavonoides e carotenoides, enquanto os aquosos concentraram antocianinas e betalaínas. EOs extratos hidroalcoólicos se mostraram mais eficientes na extração de compostos bioativos em comparação aos aquosos. A pesquisa conclui que o hibisco desidratado mantém um perfil nutricional e bioativo robusto, o que o torna um ingrediente funcional promissor para a indústria alimentícia e nutracêutica, valorizando a flor como uma fonte sustentável de antioxidantes.

Palavras-chave: desidratação; flor comestível; extratos.

INTRODUÇÃO

As flores comestíveis têm sido utilizadas desde a antiguidade em diversas culturas, tanto para fins culinários quanto medicinais. Atualmente, a redescoberta de seu valor nutricional e funcional impulsionou seu uso na alta gastronomia e na indústria de alimentos. O consumo dessas flores não se restringe apenas ao seu valor estético, mas se estende às suas propriedades nutracêuticas, uma vez que são ricas em vitaminas, minerais, fibras e,

principalmente, compostos bioativos, como os polifenóis, que atuam como antioxidantes no organismo (1).

A *Hibiscus rosa-sinensis L*., conhecida popularmente como hibisco-da-china, é uma planta ornamental e comestível de grande potencial. Suas flores, caracterizadas por um sabor suave e ligeiramente cítrico, são versáteis e podem ser utilizadas em chás, saladas, geleias, licores e sucos. Além de seu valor gastronômico, a planta é reconhecida na medicina popular por suas propriedades anti-inflamatórias, antibacterianas e hipolipemiantes, atribuídas à presença de compostos como antocianinas, flavonoides e ácidos orgânicos (2).

Para que o hibisco possa ser utilizado em larga escala pela indústria, é fundamental a adoção de técnicas de processamento que preservem suas características sensoriais e, sobretudo, seu perfil nutricional e bioativo. A secagem é uma das mais antigas e eficientes técnicas de conservação de alimentos, pois reduz a atividade de água, inibindo o crescimento de microrganismos e retardando reações enzimáticas e de degradação. No entanto, o processo térmico pode causar perdas de compostos termossensíveis, como algumas vitaminas e pigmentos, o que levanta a necessidade de estudos aprofundados sobre a otimização desse método (3, 4).

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar o impacto do processo de secagem sobre as propriedades físico-químicas, nutricionais e o perfil de compostos bioativos das flores de *Hibiscus rosa-sinensis L*. A compreensão dessas alterações é crucial para o desenvolvimento de produtos alimentícios inovadores e para a valorização da flor como um ingrediente funcional de alto valor agregado na indústria nutracêutica.

MATÉRIAIS E METÓDOS

O presente estudo foi conduzido no Centro Vocacional Tecnológico (CVT) do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), em Pombal, Paraíba.

MATERIAL BOTÂNICO E OBTENÇÃO DA MATÉRIA PRIMA

As flores de Hibisco utilizadas neste experimento foram adquiridas na zona urbana e rural da cidade de Pombal-PB. Posteriormente, foram transportadas para o laboratório do Centro Vocacional e Tecnológico (CVT), sobre refrigeração, onde foram higienizadas com água corrente, seguido por uma lavagem com solução de água clorada por e enxague com água destilada para retirada da solução clorada, sendo posteriormente processadas e dispostas sobre folhas de papel absorvente para retirada da água residual. As amostras então foram armazenadas em embalagens isentas de oxigênio, umidade e luz, sobre refrigeração até as análises posteriores.

OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS FLORES DE HIBISCUS *Rosa-sinensis* L.

As pétalas de *Hibiscus rosa-sinensis* foram higienizadas, fragmentadas e divididas em dois grupos experimentais: in natura, trituradas em almofariz até obtenção de homogeneidade, e desidratadas em estufa com circulação de ar a 50 °C por 48 h, até atingirem peso constante. Posteriormente, as amostras desidratadas foram moídas em moinho de facas para a obtenção do pó, utilizado na preparação dos extratos aquoso (água destilada) e hidroalcoólico (etanol 70%). As análises físico-químicas contemplaram a determinação de sólidos solúveis totais em refratômetro de bancada, pH por método pHgâmetro, acidez titulável por titulação com NaOH 0,1 N, teor de umidade por secagem em estufa a 105 °C e cinzas por incineração em mufla. O teor proteico foi determinado pelo

método de Kjeldahl, enquanto os lipídeos foram quantificados por extração contínua no método de Soxhlet. A atividade de água (AW) foi avaliada em equipamento AQUALAB PAWKIT e a caracterização da cor foi realizada por colorimetria, utilizando a escala CIE L*ab*, bem como os parâmetros de croma e ângulo de Hue.

CARACTERIZAÇÃO DOS COMPOSTOS BIOATIVOS DAS FLORES DE HIBISCUS *Rosa-sinensis* L.

Para caracterizar os compostos bioativos do *Hibiscus rosa-sinensis L.*, foram realizadas análises específicas por espectrofotometria. Os compostos fenólicos totais e os taninos foram determinados pelo método de Folin-Ciocalteu (Waterhouse, 2006), que mede a intensidade de cor formada na reação e indica a quantidade desses compostos antioxidantes. Os flavonoides e as antocianinas, também importantes pelo potencial funcional, foram extraídos com solução de Etanol:HCl e avaliados em espectrofotômetro em diferentes comprimentos de onda (374 nm para flavonoides e 535 nm para antocianinas), conforme o método descrito por Francis (1987). A clorofila e os carotenoides, pigmentos ligados à cor e à atividade antioxidante, foram extraídos com acetona 80% e analisados em 470, 646 e 663 nm, conforme o método de Lichtenthaler (1987). Já as betalaínas (betacianinas e betaxantinas), responsáveis por colorações intensas e propriedades bioativas, foram extraídas em etanol 80% e quantificadas em 535 nm e 480 nm metodologia de Castellar; Solano; Obón (2012), com modificações.

.

OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS EXTRATOS AQUOSO E HIDROALCÓOLICO DA FLOR DE HIBISCUS *Rosa-sinensis* L. *IN NATURA* e DESIDRATADA.

Foram elaborados dois tipos de extratos da flor de Hibiscus rosa-sinensis L., in natura e desidratada, utilizando água destilada (extrato aquoso) e álcool 70% (extrato hidroalcoólico). O extrato aquoso foi obtido pela trituração de 1 g da amostra em 50 ml de água destilada, aquecida até reduzir o volume à metade, seguida de resfriamento, filtração e armazenamento refrigerado. Já o extrato hidroalcoólico foi preparado na proporção 1:50 (p/ml), por maceração em álcool 70% por 48 h a 4 °C, protegido da luz, sendo posteriormente filtrado e concentrado em rotaevaporador antes do armazenamento.

Os extratos foram caracterizados quanto a sólidos solúveis totais (°Brix), pH, acidez titulável, atividade de água (AW) e *cor (CIE L, a*, b*, c e H), permitindo identificar suas propriedades físico-químicas e a presença de compostos bioativos, informações úteis para potenciais aplicações funcionais.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados obtidos foram submetidos ao tratamento estatístico T das médias utilizando o software SISVAR e as médias e os desvio padrão comparadas entre si com nível de 5% de significância pelo Sistema IBM® SPSS® Statistcs (Versão 20).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A caracterização físico-química da flor de Hibiscus *Rosa-sinensis in natura* e desidratada estão expostos na Tabela 1.

Tabela 1- Caracterização físico-química in natura e desidratada do Hibiscus *Rosa sinensis* l.

Parâmetros	Flor *In natura*	Flor Desidratada
pH	4,66±0,03[a]	4,83±0,00[b]
Acidez Total Titulável (g ácido cítrico/100g)	0,09±0,02[b]	2,62±0,26[a]
Umidade (%)	81,7±0,27[a]	51,09±0,29[b]
Cinzas (%)	1,01±0,17[b]	2,67±0,02[a]
Lipídeos Totais (%)	1,89±0,00[a]	1,83±0,03[a]
Proteína Bruta (%)	5,56±0,26[b]	31,03±1,07[a]
Atividade de água (Aw)	0,73±0,03[b]	0,66±0,01[a]
a*	6,9±0,00[a]	5,2±0,00[b]
b*	21,2 ±0,00[b]	21,8 ±0,00[a]
L	28,5 ±0,00[b]	31,5±0,00[a]
Croma	28,6±0,00[a]	21,8±0,00[b]
Hue	68,5±0,00[b]	75,6 ±0,00[a]

Autoria Própria,2025

A análise físico-química das flores de *Hibiscus rosa-sinensis* evidenciou diferenças significativas entre as amostras *in natura* e desidratadas. O pH apresentou aumento de 4,66 para 4,83, indicando redução da acidez devido à degradação ou volatilização de ácidos orgânicos durante a secagem. A acidez total elevou-se de 0,09 g para 20,62 g, resultado da concentração de ácidos pela redução da umidade, corroborando com o estudo. Em comparação, alguns estudos encotraram valores mais altos de pH em extratos de *Plectranthus barbatus, Lippia alba* e *Pimpinella anisum* (6,7).

O teor de umidade reduziu de 81,7% para 51,09%, demonstrando a eficiência da secagem, que aumentou proporcionalmente a concentração de cinzas (1,01% → 2,67%) e proteínas brutas (5,56% → 31,03%). Já os lipídeos se mantiveram estáveis (1,89% → 1,83%), indicando pouca influência da secagem. A atividade de água (Aw) reduziu de 0,73 para 0,66, favorecendo a estabilidade microbiológica. Resultados semelhantes foram observados em espécies fitoterápicas submetidas à dessecação (8).

Quanto à cor, a desidratação promoveu perda de intensidade do vermelho (6,9 → 5,2), redução do croma (28,5 → 21,8), aumento da luminosidade (28,5 → 31,5) e do hue (68,5 → 75,6), devido à degradação de pigmentos sensíveis ao calor e oxidação, comprometendo a atratividade estética (9).

A Tabela 2, apresenta os resultados da análise dos compostos bioativos presentes na flor de Hibiscus rosa-sinensis L., nas formas *in natura* e desidratada.

Tabela 2- Caracterização dos compostos Bioativos da Flor In natura e Desidratada do Hibiscus rosa sinensis l.

Parâmetros	Flor In natura	Flor Desidratada
Compostos Fenólicos (mg GAE/100 g)	704,30±0,00[b]	754,94±0,00[a]
Taninos Totais (mg TAE/100 g)	597,63±0,00[a]	548,05±0,00[b]

Flavonoides (mg/100 g)	874,30±0,01[b]	2249,2±0,00[a]
Antocianinas (mg/100g)	684,8±0,09[a]	465,1±0,00[b]
Clorofila Total (mg/100 g)	8509,14 ±0,00[a]	6673,2 ±0,00[b]
Carotenoides Totais (mg/100 g)	163,52±0,00[a]	37,41±0,00[b]
Betalaínas Totais (mg/100g)	14900,7±0,00[a]	6482,4±0,00[b]
Betacianinas (mg/100g)	10831,3±0,00[a]	4157,1±0,00[b]
Betaxantinas (mg/100g)	744,69±0,00[b]	2325,2±0,00[a]

Autoria Própria,2025

A análise fitoquímica das flores de Hibiscus rosa-sinensis demonstrou alterações relevantes após o processo de desidratação. Os compostos fenólicos totais aumentaram de 704,30 para 754,94 mg GAE/100 g, devido à concentração provocada pela perda de água, em concordância com estudos. Já os taninos apresentaram redução significativa (597,63 → 548,05 mg TAE/100 g), atribuída à sensibilidade térmica. Em contrapartida, os flavonoides totais tiveram expressivo aumento (874,30 → 2249,2 mg/100 g), resultado da concentração e da liberação de compostos ligados à matriz celular (10,11).

As antocianinas reduziram de 684,8 para 465,1 mg/100 g, embora ainda se mantivessem em níveis superiores aos de outras flores. A clorofila total também diminuiu (8509,14 → 6673,2 mg/100 g), confirmando a sensibilidade térmica desse pigmento. Nos carotenoides, os valores reduziram de 163,52 para 37,41 mg/100 g, mas ainda se mantiveram superiores aos encontrados em folhas de oliveira (12).

Quanto às betalaínas, houve redução expressiva de 14.900,7 mg/100g para 6.482,4 mg/100 g, em consonância, observou-se a baixa estabilidade desses pigmentos frente ao calor. As betacianinas reduziram de 10.831,3 para 4.157,1 mg/100 g, enquanto as betaxantinas variaram de 744,69 mg/100g para 2.325,2 mg/100 g (13).

De modo geral, a desidratação apresentou efeitos duplos: favoreceu o aumento de antioxidantes como fenólicos e flavonoides, mas reduziu compostos sensíveis ao calor, como carotenoides, clorofila, antocianinas e betalainas. Assim, o processo de secagem deve ser cuidadosamente controlado para preservar os compostos bioativos mais instáveis e potencializar o valor funcional da flor como ingrediente nutracêutico.

A Tabela 3, apresenta a caracterização físico-química dos extratos da flor in natura de Hibiscus rosa-sinensis L., comparando o extrato aquoso e o extrato hidroalcoólico.

Tabela 3- Caracterização Físico- química dos extratos da flor in natura do Hibiscus rosa sinensis l.

Parâmetros	**Extrato Aquoso**	**Extrato Hidroalcoólico**
pH	5,80±0,00[a]	5,19±0,01[b]
Acidez Total Titulável (g ácido cítrico/100g)	0,05±0,00[a]	0,06±0,01[a]
Sólidos Solúveis (ºBrix)	1,50±0,00[b]	8,30±0,1[a]
Atividade de água (Aw)	1,03±0,01[a]	0,90 ±0,00[b]
a*	4,6±0,00[b]	5,6±0,00[a]
b*	19,9±0,00[a]	18,2±0,00[b]
L	32,2 ±0,00[a]	31,1 ±0,00[b]
Croma	19,2±0,00[b]	21,6±0,00[a]
Hue	76,8±0,00[a]	74,2±0,00[b]

Autoria Própria,2025

Nos extratos de Hibiscus rosa-sinensis observou-se diferença significativa no pH (5,80 no aquoso e 5,19 no hidroalcoólico), indicando menor acidez no extrato aquoso. Estudos de com Hibiscus sabdariffa confirmam que o pH varia conforme a espécie e as condições de extração. A acidez titulável não diferiu estatisticamente (0,05 g e 0,06 g/100 g), mas apresentou valores menores que os relatados em Hibiscus sabdariffa (0,22–0,56 g/100 g) (14,15).

O teor de sólidos solúveis (°Brix) foi mais elevado no extrato hidroalcoólico (8,30) em comparação ao aquoso (1,50), demonstrando maior eficiência do álcool na extração de compostos solúveis, conforme também observado. A atividade de água (Aw) foi maior no extrato aquoso (1,03) do que no hidroalcoólico (0,90), resultado esperado devido à presença do etanol; valores menores de Aw favorecem maior estabilidade microbiológica (16).

Nos parâmetros de cor, o extrato hidroalcoólico apresentou maior valor de a* (5,6), indicando coloração mais avermelhada, enquanto o aquoso mostrou valor superior de b*(19,9), sugerindo tonalidade mais amarelada. O croma foi mais alto no hidroalcoólico (21,6), refletindo maior intensidade de cor, e o Hue variou de 76,8 (aquoso) a 74,2 (hidroalcoólico).

Portanto, o solvente exerce influência direta nas propriedades químicas e visuais dos extratos. O hidroalcoólico se destacou pela maior extração de compostos, menor atividade de água e cor mais intensa, sendo adequado para formulações com maior vida útil. Já o aquoso, mais suave e menos ácido, pode ser preferido em aplicações que buscam naturalidade ou sensibilidade à acidez.

A Tabela 4 apresenta os resultados da análise dos compostos bioativos presentes nos extratos da flor *in natura de Hibiscus rosa-sinensis L.*, revelando diferenças significativas entre os extratos avaliados.

Tabela 4- Caracterização dos compostos Bioativos dos extratos da flor in natura do Hibiscus rosa sinensis l.

Parâmetros	Extrato Aquoso	Extrato Hidroalcoólico
Compostos Fenólicos (mg GAE/100 g)	153,4±0,00^{b}	221,23±0,00^{a}
Taninos Totais (mg TAE/100 g)	105,15±0,00^{b}	163,07±0,00^{a}
Flavonoides (mg/100 g)	891,7±0,00^{b}	995,1±0,00^{a}
Antocianinas (mg/100g)	539,7±0,00^{b}	667,7±0,00^{a}
Clorofila Total (mg/100 g)	2372,5±0,00^{b}	6218,55±0,00^{a}
Carotenoides Totais (mg/100 g)	40,35±0,00^{b}	88,45±0,00^{a}
Betalaínas Totais (mg/100g)	2884,6±0,00^{b}	3766,5±0,00^{a}
Betacianinas (mg/100g)	1843,3±0,00^{b}	3133,7±0,00^{a}
Betaxantinas (mg/100g)	1041,3±0,00^{a}	632,8±0,00^{b}

Autoria Própria,2025

Nos extratos de Hibiscus rosa-sinensis observaram-se diferenças significativas ($p<0,05$) na concentração de compostos bioativos. Os compostos fenólicos foram mais elevados no extrato hidroalcoólico (221,23 mg GAE/100 g) em comparação ao aquoso (153,4 mg GAE/100 g), padrão também observado nos taninos totais (105,15–163,07 mg

TAE/100 g), evidenciando maior eficiência do álcool na extração. Esses resultados corroboram com estudos, que destacam a afinidade do etanol com substâncias fenólicas e a relação com maior atividade antioxidante (17).

Os flavonoides apresentaram maior concentração no extrato hidroalcoólico (995,1 mg/100 g), enquanto as antocianinas variaram entre 539,7 e 667,7 mg/100 g, valores superiores aos de frutos. Esse aumento está relacionado ao uso de etanol:HCl, que favorece a solubilização dos pigmentos e estabiliza as antocianinas na forma de cátion flavílio, resultando em maior rendimento na extração (18).

A clorofila total apresentou ampla variação (2.372,5–6.218,55 mg/100 g), influenciada pelo solvente acetona 80% e condições de extração. Já os carotenoides variaram entre 40,35 e 88,45 mg/100 g, próximos aos valores obtidos em extratos de Hibiscus sabdariffa usados em iogurtes fortificados (18).

Entre as betalainas, as betacianinas foram predominantes (1.843,3–3.133,7 mg/100 g), enquanto as betaxantinas variaram de 632,8 a 1.041,3 mg/100 g, resultando em teores totais de 2.884,6 a 3.766,5 mg/100 g. Esses dados reforçam a boa retenção desses pigmentos antioxidantes (19).

De modo geral, o tipo de solvente influenciou na concentração dos compostos bioativos, sendo o extrato hidroalcoólico mais eficiente. Essa variação pode ser explorada estrategicamente em aplicações nutricionais e tecnológicas.

A Tabela 5 apresenta os parâmetros físico-químicos dos extratos da flor desidratada de Hibiscus rosa-sinensis L., evidenciando diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre os extratos aquoso e hidroalcoólico

Tabela 5. Caracterização Físico- química dos extratos da flor Desidratada do Hibiscus rosa sinensis l.

Parâmetros	Extrato Aquoso	Extrato Hidroalcoólico
pH	3,10±0,00^{b}	4,09±0,01^{a}
Acidez Total Titulável (g ácido cítrico/100g)	0,22±0,01^{b}	0,56±0,01^{a}
Sólidos solúveis °Brix	4,91±0,00^{b}	15,0±0,00^{a}
Atividade de água (Aw)	1,02±0,00^{a}	0,93 ±0,01^{b}
a*	4,6±0,00^{a}	4,6±0,00^{a}
b*	18,3±0,00^{a}	18,2±0,00^{a}
L	30,7 ±0,00^{b}	31,1 ±0,00^{a}
Croma	19,3±0,00^{a}	19,5±0,00^{a}
Hue	77,3±0,00^{a}	76,8±0,00^{b}

Autoria Própria,2025

O valor do pH foi significativamente menor no extrato aquoso (3,10), indicando maior acidez em comparação ao hidroalcoólico (4,09). Essa diferença pode estar relacionada à maior solubilidade de certos ácidos em água. Estudos relataram comportamento semelhante em extratos de pétalas de rosa, com aumento de pH após a extração aquosa (20).

A acidez total titulável, expressa em ácido cítrico, foi maior no extrato hidroalcoólico (0,56 g/100 g) do que no aquoso (0,22 g/100 g), apesar do pH mais baixo. Isso sugere que solventes alcoólicos são mais eficientes na extração de ácidos. Resultados semelhantes foram relatados, em extratos de flores tropicais (21).

O teor de sólidos solúveis totais (°Brix) também foi significativamente maior no extrato hidroalcoólico (15,0), em comparação ao aquoso (4,91), evidenciando maior

eficiência na extração de compostos como açúcares, que destaca a eficácia do álcool nesse tipo de extração (21).

A atividade de água (Aw) foi mais elevada no extrato aquoso (1,02), indicando maior presença de água livre, o que pode comprometer a estabilidade microbiológica. Já o extrato hidroalcoólico apresentou menor Aw (0,93), favorecendo sua conservação. Estudos reforçam a importância da Aw para a estabilidade de produtos vegetais, especialmente em extratos ou flores in naturas e desidratadas (23).

Em relação à cor, os parâmetros mostraram pouca variação entre os extratos. A coordenada L (luminosidade) foi ligeiramente maior no hidroalcoólico (31,1), sugerindo coloração mais clara. As coordenadas a e b, bem como os valores de croma e Hue, não apresentaram diferenças significativas, indicando tonalidade de cor semelhante nos dois extratos.

Portanto, os dados evidenciam que a escolha do método de extração influencia não apenas o perfil químico dos extratos, mas também suas propriedades físicas químicas e sensoriais. Essas características são determinantes para sua aplicação em diferentes formulações, sejam elas alimentícias, cosméticas, farmacêuticas ou nutracêuticas. Alterações na aparência visual e na composição bioativa do extrato podem comprometer sua funcionalidade, eficácia e aceitação pelo consumidor final.

A Tabela 6, apresenta a caracterização dos compostos bioativos nos extratos da flor desidratada de Hibiscus rosa-sinensis L., revelando variações importantes entre os extratos aquoso e hidroalcoólico.

Tabela 6. Caracterização dos compostos Bioativos dos extratos da flor Desidratada do Hibiscus rosa sinensis l.

Parâmetros	Extrato Aquoso	Extrato Hidroalcoólico
Compostos Fenólicos (mg GAE/100 g)	459,89±0,00[a]	217,83±0,00[b]
Taninos Totais (mg TAE/100 g)	275,15±0,00[a]	259,83±0,00[b]
Flavonoides (mg/100 g)	304,00±0,00[b]	344,7±0,00[a]
Antocianinas (mg/100g)	461,1±0,00[a]	297,3±0,00[b]
Clorofila Total (mg/100 g)	1630,7±0,00[b]	3367,0±0,00[a]
Carotenoides Totais (mg/100 g)	18,00±0,00[b]	45,89±0,00[a]
Betalaínas Totais (mg/100g)	3552,0±0,00[a]	3157,3±0,00[b]
Betacianinas (mg/100g)	2138,2±0,00[a]	2059,9±0,00[b]
Betaxantinas (mg/100g)	1413,7±0,00[a]	1097,3±0,00[b]

Autoria Própria,2025

A clorofila total apresentou um valor superior no extrato hidroalcoólico (3367,0 mg/100 g), diferença significativa (P>0,05) que pode estar relacionada à maior solubilidade desses pigmentos em misturas menos polares. O mesmo comportamento foi verificado para os carotenoides totais, com o dobro da concentração no extrato hidroalcoólico (45,89 mg/100

g) em comparação ao aquoso (18,00 mg/100 g). Esses resultados acompanham estudos, que documentaram a maior extração desses pigmentos em solventes hidroalcoólicos (23).

As betalaínas totais, pigmentos naturais de elevada atividade antioxidante, mostraram-se mais abundantes no extrato aquoso (3552,0 mg/100 g), com destaque para as betacianinas (2138,2 mg/100 g) e betaxantinas (1413,7 mg/100 g). Embora o extrato hidroalcoólico também tenha apresentado teores consideráveis desses compostos, os valores foram inferiores, o que evidencia a maior afinidade das betalaínas por solventes mais polares. Resultados semelhantes foram relatados, ao analisarem pigmentos em flores comestíveis (24, 25).

Dessa forma, os resultados obtidos neste estudo mostram que a escolha do tipo de extração impacta significativamente o perfil de compostos bioativos presentes nos extratos. Além disso, evidenciam o papel da desidratação da flor na modificação das concentrações, possivelmente pela maior estabilidade e concentração dos compostos na matriz seca. Assim, a composição final pode ser ajustada conforme o objetivo e a aplicação desejada, ampliando as possibilidades de uso dessa matéria prima (26).

CONCLUSÃO.

A desidratação da flor de *Hibiscus rosa-sinensis* L. mostrou potencial como ingrediente funcional, concentrando compostos bioativos e aumentando sua estabilidade para conservação e uso industrial. Nos extratos das flores in natura, o extrato hidroalcoólico apresentou maior eficiência na extração de compostos fenólicos, flavonoides, antocianinas, clorofilas, carotenoides e betalaínas, enquanto o aquoso destacou-se apenas para betaxantinas. Já nas flores desidratadas, o extrato hidroalcoólico foi superior na obtenção de clorofilas, carotenoides, flavonoides e compostos fenólicos, enquanto o aquoso apresentou melhores resultados para antocianinas, betalaínas e taninos. Apesar de perdas por sensibilidade térmica de alguns pigmentos, os resultados confirmam a viabilidade da flor desidratada em formulações alimentícias e produtos naturais, além de abrir caminhos para novas pesquisas com diferentes métodos de secagem e aplicações biotecnológicas.

REFERÊNCIAS.

(1) Pires TCSP, Dias MI, Barros L, Calhelha RC, Alves MJ, Oliveira MBPP, et al. Edible flowers as sources of phenolic compounds with bioactive potential. Food Res Int. 2020;105:580–8.
(2) Lorenzi H, Souza HM. Plantas ornamentais no Brasil: arbustivas, herbáceas e trepadeiras. Nova Odessa: Plantarum; 2020.
(3) Costa JMC. Isotermas de absorção de pós de beterraba (Beta vulgaris L.), abóbora (Curcubita moschata) e cenoura (Daucus carota) obtidos pelo processo de secagem em leito de jorro: estudo comparativo. Rev Ciênc Agron. 2023;34(1):5–9.
(4) Fellow PJ. Tecnologia do processamento de alimentos. 2. ed. Porto Alegre: Artmed; 2019.
(5) Silva CA, Silva MCC. Caracterização físico-química da flor de hibiscus (Rosa sinensis L.) e folhas de louro (Laurus nobilis L.) utilizadas como fitoterápicos e no consumo alimentar [trabalho de conclusão de curso]. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande; 2018.
(6) Instituto Adolfo Lutz. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos físico-químicos para análise de alimentos. São Paulo: IAL; 2008.

(7) Souza CAS, Almeida LN, Cruz ES, Silva CML, Nascimento Júnior JAC, Amaral FS, et al. Controle de qualidade físico-químico e caracterização fitoquímica das principais plantas medicinais comercializadas na feira-livre de Lagarto-SE. Sci Plena. 2017;13(9):1–8.
(8) Silva AB. Caracterização antibacteriana e fitoquímica de flores de Hibiscus rosa-sinensis L. e Hibiscus syriacus L. Rev Inst Adolfo Lutz. 2014;73(3):264–71.
(9) Grzeszczuk M, Stefaniak A, Pachlowska A. Biological value of various edible flower species. Sci Pol Hortorum Cultus. 2016;15(2):109–19.
(10) Rop O, Mlcek J, Jurikova T, Neugebauerova J, Vabkova J. Edible flowers: a new promising source of mineral elements in human nutrition. Molecules. 2012;17:6672–83.
(11) Gonçalves J, Silva GCO, Carlos LA. Compostos bioativos em flores comestíveis. Perspect Online Biol Saúde. 2019;9(29):11–20.
(12) Nogueira CC. Folhas de oliveira secas e in natura: comparação de suas propriedades e compostos bioativos. Rev Delos. 2025;18:1–13.
(13) Kuhn F. Encapsulamento de betalaínas e compostos fenólicos das brácteas da Bougainvillea glabra para uso como corante natural em alimentos [dissertação]. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2021.
(14) Anaya-Esparza LM. Optimization of vacuum impregnation with aqueous extract of Hibiscus sabdariffa in apple slices: effects on physicochemical properties and antioxidant capacity. Appl Sci. 2024;14(23):10850.
(15) Barbosa-Cánovas GV. Water activity in foods: fundamentals and applications. Ames: Blackwell Publishing; 2017.
(16) Araujo TS. Thermal degradation kinetics and physicochemical analysis of freeze dried Hibiscus sabdariffa L. extract. Crop Res J. 2021;15(3):325–33.
(17) Santos PCM. Propriedades antioxidante, antimicrobiana e toxicidade do extrato da casca do alho (Allium sativum) [dissertação]. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará; 2022.
(18) Fernandes LS, Pereira JA, E. Edible flowers: a review of the nutritional, antioxidant, antimicrobial properties and effects on human health. J Food Compos Anal. 2019;60(1):38–50.
(19) Rozan M, Al Zahraa DA, Bayomy H. Effect of Roselle extract (Hibiscus sabdariffa) on stability of carotenoids, bioactive compounds and antioxidant activity of yoghurt fortified with carrot juice (Daucus carota L.). World J Dairy Food Sci. 2017;12:94–101.
(20) Santos T, Raphaela. Flavonoid content and antioxidant potential of leaf extracts of Passiflora setacea cv BRS Pérola do Cerrado, a new wild passion fruit cultivar. J Med Plants Res. 2022;16:1–9.
(21) Lima TS, et al. Alterações físico-químicas em extratos aquosos de pétalas de rosa (Rosa spp.). Rev Cient Prod Anim. 2021;23(2):110–7.
(22) Silva CR. Extração de flavonoides em flores comestíveis: avaliação dos solventes. Rev Bras Plantas Med. 2021;23(1):13–20.
(23) Rocha MVC. Parâmetros físico-químicos e atividade antioxidante de flores de Clitoria ternatea. Rev Bras Prod Nat Func. 2019;5(1):11–8.
(24) Silva JR, Barbosa. Cinética de secagem da berinjela (Solanum melongena L.) em estufa. Res Soc Dev. 2022;11(4):1–9.
(25) Barbosa VF. Caracterização físico-química e microbiológica de flores comestíveis desidratadas. Rev Bras Tecnol Agroind. 2018;12(1).
(26) Santos JA. Avaliação da extração de betalaínas em flores comestíveis. Rev Verde Agroecol Desenvolv Sustent. 2018;13(1):47–53.

Capítulo 45

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-45

FLOR DO JAMBO (*SYZYGIUM MALACCENSE L.*): UMA FONTE POTENCIAL DE COMPOSTOS BIOATIVOS NATURAIS

Giovanna Dantas de Oliveira; Andre Cardoso Mendes; Gilcean Silva Alves; Kenia Alves Pereira; Larissa da Silva Santos Pinheiro; Letícia Brandão dos Santos e Yanara Gomes de Oliveira

Resumo:
O presente estudo explorou o potencial de flores comestíveis, com ênfase na flor do jambo (*Syzygium malaccense* L.), destacando seus compostos bioativos e aplicações alimentícias, especialmente para a produção de corantes naturais e ingredientes funcionais. O objetivo foi avaliar a flor como fonte de compostos bioativos e analisar a influência de diferentes processos e solventes na extração desses compostos, considerando amostras *in natura* e desidratadas. Foram caracterizadas propriedades físico-químicas, como pH, acidez total titulável, umidade, sólidos solúveis (°Brix), proteínas e lipídios, além de determinar metabólitos bioativos, incluindo compostos fenólicos, taninos, flavonoides, antocianinas, carotenoides, clorofila e betalaínas totais (betacianinas e betaxantinas). O estudo também avaliou a eficiência comparativa de extratos aquosos e hidroalcoólicos, considerando a solubilidade dos compostos de diferentes polaridades, bem como a influência da desidratação na concentração e estabilidade dos nutrientes e pigmentos. Entretanto, os resultados demonstraram que a desidratação aumentou a concentração de proteínas (14,85%) e compostos fenólicos totais (3165,70 mg GAE/100 g), evidenciando que o processo favorece a concentração de determinados nutrientes, enquanto pigmentos sensíveis, como antocianinas, betalaínas e clorofila, foram significativamente reduzidos. Os extratos hidroalcoólicos se mostraram mais eficientes na extração de compostos fenólicos (2890,42 mg GAE/100 g), taninos (1129,51 mg TAE/100 g) e carotenoides (77,42 mg/100 g), devido à capacidade do álcool em solubilizar compostos de polaridade intermediária, enquanto os extratos aquosos foram mais eficazes na extração de pigmentos hidrossolúveis, como a clorofila em flores *in natura* (1613,69 mg/100 g). Além disso, a escolha do solvente influenciou propriedades físico-químicas, como sólidos solúveis e atividade de água, impactando a estabilidade microbiológica e a conservação do produto final. Conclui-se que a flor do jambo apresenta alto valor funcional e tecnológico, rica em compostos bioativos e pigmentos naturais. A desidratação com extração hidroalcoólica é mais eficaz para antioxidantes e compostos fenólicos, enquanto a extração aquosa de flores *in natura* preserva melhor pigmentos hidrossolúveis. Assim, a escolha do método depende do objetivo de aplicação, favorecendo o desenvolvimento de alimentos funcionais e corantes naturais.

Palavras–chave: desidratação; extração; flores comestíveis

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de novos produtos alimentícios tem sido impulsionado pela crescente demanda dos consumidores por alimentos que conciliem qualidade sensorial, valor nutricional e apelo sustentável. Nesse contexto, o aproveitamento de matérias-primas regionais e subutilizadas apresenta-se como alternativa estratégica para a inovação na

indústria de alimentos, ao mesmo tempo em que contribui para a valorização socioeconômica e ambiental (1,2).

Entre os recursos disponíveis, destaca-se a flor do jambo (*Syzygium malaccense*), uma espécie frutífera tropical pertencente à família Myrtaceae, amplamente difundida em regiões de clima quente e úmido. Apesar de suas características atrativas, como cor intensa, sabor adocicado e presença de compostos bioativos, a flor do jambo permanece pouco explorada comercialmente, sendo em grande parte descartada após a floração (3). Estudos têm demonstrado que suas flores concentram quantidades expressivas de compostos fenólicos, antocianinas e flavonoides, associados a propriedades antioxidantes e potenciais benefícios à saúde (4–6).

O uso dessa matéria-prima em produtos processados, como compotas e geleias, pode representar uma alternativa viável para diversificação do mercado de derivados frutíferos. As geleias, por sua vez, constituem produtos de ampla aceitação entre os consumidores, caracterizadas por praticidade, tempo de prateleira estendido e possibilidade de agregar valor nutricional por meio da incorporação de ingredientes funcionais (7,8). Além disso, a transformação da flor de jambo em um novo produto se alinha às tendências atuais de consumo, que priorizam alimentos naturais, com menor impacto ambiental e com alegações relacionadas à saúde (9).

Diante desse cenário, o presente estudo propõe a extração de corantes naturais da flor do jambo em diferentes estados (*in natura* e desidratada), por distintas metodologias de extração. Foram avaliadas as características físico-químicas e o conteúdo de compostos bioativos, buscando potencializar seu uso na indústria de alimentos, especialmente em aplicações voltadas à conservação e ao desenvolvimento de produtos mais saudáveis e sustentáveis.

MATERIAL E MÉTODOS

OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA E SECAGEM DAS FLORES DE JAMBO

As flores de jambo (*Syzygium malaccense*) foram coletadas em diferentes períodos de floração, entre julho e dezembro, no município de Campina Grande (PB). Após a coleta, foram transportadas sob refrigeração, higienizadas com água corrente e solução de hipoclorito de sódio, enxaguadas com água destilada e secas em papel absorvente. Em seguida, as amostras foram acondicionadas em embalagens protegidas de oxigênio, umidade e luz, permanecendo sob refrigeração até as análises.

As pétalas de *Syzygium malaccense L.* foram fracionadas em pequenas porções com faca esterilizada e divididas em duas etapas de processamento: parte foi triturada *in natura* em almofariz e outra submetida à secagem em estufa de circulação de ar a 45 °C até peso constante. O material seco foi moído em moinho de facas, originando o pó da flor, utilizado na preparação de extratos aquosos e hidroalcoólicos.

OBTENÇÃO DOS EXTRATOS

Foram preparados extratos aquosos e hidroalcoólicos a partir das flores *in natura* e desidratadas. Extrato aquoso: na proporção de 1:10, cerca de 50 g de amostra triturada foi adicionada a 150 mL de água destilada e submetida à fervura até redução de 50% do volume inicial. Após resfriamento, a solução foi filtrada e armazenada em frasco âmbar sob refrigeração. Extrato hidroalcoólico: seguiu-se a metodologia de Parekh e Chanda (10), na proporção 1:10 (p/p) com etanol 70%. As amostras permaneceram em maceração por 48 h a

4 °C em frasco âmbar, sendo posteriormente filtradas a vácuo e concentradas por rotaevaporação a 45 °C. O extrato obtido foi armazenado sob refrigeração até análise.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

As flores, *in natura* e desidratadas, foram analisadas quanto a sólidos solúveis totais (°Brix), pH, acidez titulável, umidade, cinzas, proteínas, lipídeos, atividade de água e cor, seguindo metodologias oficiais (11, 12).

COMPOSTOS BIOATIVOS

A caracterização dos compostos bioativos incluiu a determinação de fenólicos totais e taninos (13, 14), flavonoides e antocianinas (15,16), clorofilas e carotenoides (17) e betalaínas (18). As análises foram realizadas por espectrofotometria, com resultados expressos em base de massa fresca ou seca, conforme o tipo de amostra.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos à ANOVA, em delineamento inteiramente casualizado, no nível de significancia ($p \leq 0,05$), utilizando o software Sisvar para avaliar as médias e os desvios padrões (19).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta a caracterização físico-química da flor de jambo nas formas *in natura* e desidratada**.**

Tabela 1 - Caracterização físico-química da flor *in natura* e desidratada do jambo.

Parâmetros	**Flor *in natura***	**Flor Desidratada**
pH	3,79±0,02^{a}	3,42±0,00^{b}
Acidez Total Titulável (g ácido cítrico/100g)	0,39±0,04^{b}	4,31±0,47^{a}
Umidade (%)	90,40±0,00^{a}	70,57±0,00^{b}
Cinzas (%)	0,84±0,04^{b}	3,81±3,50^{a}
Lipídeos Totais (%)	6,78±0,00^{a}	2,97±0,00^{b}
Proteína Bruta (%)	2,10±0,00^{b}	14,85±0,00^{a}
Atividade de água (Aw)	0,92±0,00^{a}	0,24±0,00^{a}
Sólidos Solúveis (%)	2,80±0,1^{a}	3,7±0,05^{b}

Autoria própria, 2025

O valor de pH da flor *in natura* é semelhante ao encontrado em frutas tropicais de sabor levemente ácido, como o araçá-boi, que apresentou pH de 3,77, conforme relatado por Gomes *et al.* (20), apresentando acidez semelhantes, a intensificação da acidez após a desidratação pode impactar o perfil sensorial do produto, tornando-o mais ácido ao paladar mostra-se promissora para aplicação em preparações como doces, compotas, caldas e geleias, contribuindo para a formação adequada de textura e conservação.

O valor de acidez titulável da flor de jambo in natura é próximo ao encontrado no araçá-boi (0,58 g de ácido cítrico/100 g) conforme Wille et al. (21). Em comparação, a flor de jambo desidratada apresentou aumento da acidez, evidenciando intensificação do sabor

ácido. Esse efeito está relacionado à redução da Aw durante a desidratação, que concentra os sólidos solúveis, incluindo os ácidos orgânicos, justificando o aumento da acidez observada no produto.

Foi observada uma diferença estatisticamente significativa nos valores de umidade entre a flor de jambo *in natura* e a desidratada. Essa diferença é atribuída ao alto teor de umidade naturalmente característico da flor de jambo *in natura*. Durante o processo de secagem, ocorreu uma redução do teor de água, ainda que de forma moderada, resultando em uma leve diminuição da umidade na flor desidratada, valores foram relativamente semelhantes aos encontrados por Fukalova *et al*. (22), e por Botrel *et al*. (23), quando comparados percebe-se que a flor de jambo *in natura* apresenta um teor de umidade ligeiramente superior ao pela literatura supracitada. Já a flor desidratada mantém índices próximos aos relatados na literatura.

Foi observada uma diferença estatisticamente significativa nos valores de cinzas entre as amostras, esse aumento no teor de cinzas após a desidratação pode ser atribuído à concentração dos componentes inorgânicos presentes na amostra, em decorrência da redução do conteúdo de água (24).

Silva (24) relatou teores de cinzas de 0,74% e 0,80% para hibiscos vermelho e branco, respectivamente, valores ligeiramente inferiores aos observados na flor de jambo in natura. Após a desidratação, o teor de cinzas da flor de jambo aumentou significativamente devido à redução da umidade, que concentra os minerais presentes. De acordo com Du et al. (25), diferentes técnicas de extração podem afetar o rendimento lipídico. No presente estudo, a flor de jambo in natura apresentou bom potencial nutricional como fonte de ácidos graxos benéficos; contudo, após a desidratação, houve redução dessa fração, possivelmente em função da oxidação dos ácidos graxos insaturados, da perda de compostos voláteis e de alterações estruturais na matriz vegetal que dificultam a extração dos lipídios.

As quantidades de proteína em base úmida apresentaram-se semelhantes entre as espécies de rosa, hibisco cultivado, girassol, zínia e cravina, com teores variando de 1,7% a 2,4%. (26, 27) . Ao comparar esses valores com o teor de proteína encontrado no presente estudo a flor de jambo *in natura* observa-se que esta, apresenta um conteúdo proteico superior ao encontrado nas flores citadas.

Contudo, segundo Prata (28), ao analisar rosas de corte, observou uma média de 2,96% de sólidos solúveis totais (°Brix), valor que representa a concentração de açúcares e outros compostos solúveis presentes nas pétalas já a flor de jambo *in natura* apresentou um teor médio ligeiramente inferior, com 2,80 °Brix. Essa pequena diferença indica que ambas as flores possuem teores semelhantes de sólidos solúveis.

A flor de jambo *in natura* apresentou atividade de água inferior àquela relatada para o jambolão por Melo (29) e Santos *et al*. (30), indicando menor disponibilidade de água livre, o que pode favorecer maior estabilidade microbiológica e reduzir o crescimento de microrganismos deteriorantes. Comparativamente, o valor de Aw da flor de jambo desidratada situa-se ligeiramente acima da farinha de *Pereskia aculeata* e ligeiramente abaixo da farinha de *Pereskia grandifolia*, conforme relatado por Berto (31), demonstrando que a amostra analisada apresenta atividade de água dentro dos padrões estabelecidos.

A Tabela 2 apresenta a caracterização dos compostos bioativos da flor do jambo *in natura*.

Tabela 2 - Caracterização dos compostos bioativos da flor *in natura* e desidratada do jambo (*Syzygium Malaccense L.*).

Parâmetros	**Flor *in natura***	**Desidratada**

Compostos Fenólicos (mg GAE/100 g)	526,45±0,00^{b}	3165,70±0,00^{a}
Taninos Totais (mg TAE/100 g)	391,92±0,00^{b}	616,84±0,00^{a}
Flavonoides (mg/100 g)	58,34±0,01^{a}	37,84±0,00^{b}
Antocianinas (mg/100g)	100,07±0,09^{a}	31,51±0,00^{b}
Clorofila Total (mg/100 g)	13951,55 ±0,00^{a}	6102,46±0,00^{b}
Carotenoides Totais (mg/100 g)	16,01±0,00^{b}	29,27±0,00^{a}
Betalaínas Totais (mg/100g)	13952,45±0,00^{a}	1166,08±0,00^{b}
Betacianinas (mg/100g)	2893,42±0,00^{a}	824,83±0,00^{b}
Betaxantinas (mg/100g)	110063,37±0,00^{a}	123,86±0,00^{b}

Autoria Própria, 2025.

A flor do jambo in natura apresentou teores de compostos fenólicos totais superiores aos relatados por Santos et al. (32) para sementes e farinha do jambolão, evidenciando que, em comparação com esses órgãos da planta, a flor constitui uma fonte mais concentrada de compostos bioativos. Contudo, a desidratação da flor intensificou ainda mais esses teores, possivelmente pela liberação de fenólicos ligados às estruturas celulares e pela função biológica desses compostos na proteção da planta (32).

A flor do jambo apresentou aumento nos teores de taninos totais após a desidratação, devido ao efeito concentrador da remoção de água e à função reprodutiva da planta, que favorece o acúmulo de fenólicos. Esses compostos contribuem para a atividade antioxidante e têm potencial aplicação como conservantes naturais e agentes antimicrobianos nos setores alimentício e farmacêutico.

A comparação entre as espécies evidencia que a flor do jambo *in natura* apresentou teores de flavonoides totais superiores aos das rosas vermelhas e brancas (33), embora ainda inferiores aos encontrados na variedade ‘Rover’. Essa relação mostra que, assim como as rosas, o jambo constitui uma fonte relevante de compostos bioativos, diferenciando-se, porém, pela maior concentração desses metabólitos em relação a algumas variedades. Após a desidratação, observou-se redução parcial dos flavonoides, em função da sensibilidade ao calor, luz e oxigênio, mas os níveis permaneceram expressivos, reforçando o potencial funcional da flor do jambo (33).

A flor do jambo *in natura* apresentou valor intermediário em relação às flores de capuchinha avaliadas por Rocha *et al.* (34). Após a desidratação, esse teor reduziu-se, resultado da elevada sensibilidade das antocianinas ao calor, à variação de pH e às condições de processamento, que afetam sua estabilidade (35).

A comparação entre a flor do jambo e os frutos evidencia diferenças importantes na composição de pigmentos bioativos. A flor do jambo in natura apresentou teor de clorofila superior ao observado em frutos de camu-camueiro (36), resultado das diferenças morfofisiológicas entre os tecidos vegetais. Após a desidratação, ocorreu redução significativa pela sensibilidade das clorofilas ao calor e à oxidação, que levam à formação de feofitinas; ainda assim, a flor manteve-se como uma fonte funcional, com propriedades antioxidantes e preventivas de doenças (37, 38). Em relação aos carotenoides, a flor do jambo in natura apresentou valores inferiores aos da farinha de acerola, porém a desidratação promoveu aumento expressivo desses compostos, demonstrando que o processamento pode aproximar o potencial nutricional da flor ao de frutos ricos em carotenoides, reforçando sua relevância como fonte de compostos bioativos.

Contudo, segundo Deus *et al*. (39) e Skalicky *et al.* (40) observaram que a beterraba Fortuna apresentou os maiores teores de betacianinas e betalaínas entre as cultivares estudadas, destacando-se pela estabilidade térmica e pela influência de fatores ambientais e

de cultivo. Entretanto, a flor do jambo *in natura* apresentou teores significativamente superior de betalaínas e betaxantinas em relação a cultivar de beterraba evidenciando seu elevado potencial como fonte natural de pigmentos e compostos bioativos para aplicações em alimentos funcionais e corantes naturais.

A Tabela 3 apresenta os parâmetros físico-químicos dos extratos da flor do jambo *in natura*.

Tabela 3 - Caracterização físico-química dos extratos da flor do Jambo (*Syzygium Malaccense L.*) *in natura*.

Parâmetros	**Extrato Aquoso**	**Extrato Hidroacoólico**
pH	3,92±0,01^{a}	3,42±0,001^{b}
Acidez Total Titulável (g ácido cítrico/100g)	0,77±0,00^{a}	0,69±0,00^{a}
°Brix	0,4±0,06^{b}	5,6±0,1^{a}
Atividade de água (Aw)	1,05±0,01^{a}	0,94±0,00^{b}

Autoria Propria,2025.

A análise dos extratos da flor de jambo mostrou que o tipo de solvente influencia a acidez, com o extrato aquoso sendo menos ácido que o hidroalcoólico. Comparando com extratos de flores de Mahula (*Madhuca latifolia L.*) reportados por Mohanty *et al*. (41), observa-se que a flor de jambo é mais ácida, diferença atribuída tanto ao tipo de solvente quanto à composição específica de compostos orgânicos de cada espécie.

Os extratos apresentaram acidez total titulável mais elevada em comparação a outras fontes vegetais, como farinha de mirtilo, quando comparada com a flor desidratada, e frutos de mirtilo, comparando-o com a *in natura*, indicando que são significativamente mais ácidos. Essa diferença reforça o caráter ácido dos extratos de jambo em relação aos dados reportados na literatura (42,43).

Contudo, a análise de sólidos solúveis (°Brix) mostrou que o extrato hidroalcoólico da flor de jambo apresenta maior concentração sólidos solúveis e ácidos orgânicos que o extrato aquoso, evidenciando maior eficiência do álcool 70% na extração. Comparado a flor de acerola (44), o extrato hidroalcoólico apresenta valores superiores, indicando maior doçura e potencial funcional, sendo mais indicado para aplicações alimentícias.

A atividade de água (Aw) nos extratos da flor de jambo evidencia que o extrato aquoso, com maior Aw, favorece crescimento microbiano, enquanto o hidroalcoólico, com menor Aw, oferece maior estabilidade microbiológica e físico-química, mostrando-se mais adequado para produtos de longa conservação (45,46).

A Tabela 4 apresenta os teores de compostos bioativos nos extratos da flor do jambo *in natura*.

Tabela 4 - Caracterização dos compostos Bioativos dos extratos da Flor do jambo (*Syzygium Malaccense L.*) in *natura.*

Parâmetros	**Extrato Aquoso**	**Extrato Hidroalcoólico**
Compostos Fenólicos (mg GAE/100 g)	1020,55±0,00^{b}	1532,89±0,00^{a}
Taninos Totais (mg TAE/100 g)	692,04±0,00^{b}	1129,51±0,00^{a}
Flavonoides (mg/100 g)	1693,05±0,00^{b}	1767,84±0,00^{a}
Antocianinas (mg/100g)	991,81±0,00^{b}	1039,55±0,00^{a}
Clorofila Total (mg/100 g)	1613,69 ±0,00^{b}	5100±0,00^{a}

Carotenoides Totais (mg/100 g)	31,95±0,00^{b}	77,42±0,00^{a}
Betalaínas Totais (mg/100g)	5773,63±0,00^{a}	5476,17±0,00^{b}
Betacianinas (mg/100g)	3882,85±0,00^{a}	3303,06±0,00^{b}
Betaxantinas (mg/100g)	1890,78±0,00^{b}	2173,11±0,00^{b}

Autoria Própria,2025.

A eficiência da extração de compostos fenólicos depende do solvente utilizado, sendo os alcoólicos mais eficazes, conforme Kosanić *et al*. (47) e Alothman *et al*. (48). No caso da flor de jambo, o extrato hidroalcoólico apresentou teor significativamente maior de fenólicos totais em relação ao extrato aquoso, confirmando a influência do solvente na recuperação desses compostos.

A flor de jambo revelou-se rica em taninos totais, com teores superiores aos da flor de framboesa Amira (*Rubus idaeus*) (49). Esse alto conteúdo é atribuído à espécie e ao acúmulo de taninos nas flores para defesa e proteção contra UV, sendo o uso de álcool 70% eficiente na extração de taninos condensados e hidrolisáveis, destacando a importância do solvente na recuperação seletiva de compostos fenólicos (50).

Os extratos da flor de jambo apresentaram altos teores de flavonoides totais, com leve superioridade no extrato hidroalcoólico, indicando eficácia de ambos os solventes. Os valores foram significativamente maiores que os reportados para folhas e frutos do jambolão, possivelmente devido à parte da planta, estágio de maturação, condições de cultivo e métodos de extração, reforçando a necessidade de padronização para avaliação do potencial funcional e antioxidante (51,52). Contudo, os extratos da flor de jambo apresentaram elevados teores de antocianinas totais, com superioridade do extrato hidroalcoólico pela maior eficiência na solubilização de pigmentos menos polares. Os valores estão dentro da faixa esperada para flores de coloração intensa, embora inferiores a espécies como a capuchinha vermelha, conhecida por sua alta capacidade antioxidante e presença de outros compostos fenólicos (53,54).

No presente estudo, a flor de jambo apresentou diferenças significativas quando comparado com a literatura, na extração de clorofila total entre os solventes com o extrato hidroalcoólico superando o aquoso devido à maior eficiência do álcool 70% na solubilização de compostos lipofílicos. De acordo com Subramoniam *et al*. (55); e Jokopriyambodo *et al*.(56) destaca-se seu potencial para aplicações funcionais e industriais, que , também apresentam atividade antioxidante e anti-inflamatória, contribuindo para a prevenção de doenças crônicas. A extração de carotenoides da flor de jambo apresentou diferença entre os solventes, com o extrato hidroalcoólico mais eficiente devido à maior solubilização de compostos lipossolúveis pelo álcool 70% acidificado. Comparando com flores amarelas, como a capuchinha, estas apresentam teores ainda maiores de luteína, carotenoide associado à proteção da saúde ocular, evidenciando o valor funcional desses pigmentos (57). Assim, tanto o tipo de solvente quanto as características da flor influenciam o rendimento e a qualidade da extração.

A análise mostrou altos teores de betalaínas na flor de jambo, com o extrato aquoso mais eficiente para betacianinas e o hidroalcoólico para betaxantinas, evidenciando a influência do solvente na recuperação dos pigmentos.Comparados a fontes tradicionais, como a beterraba vermelha, os níveis de betalaínas, betacianinas e betaxantinas da flor de jambo são expressivamente maiores, destacando-a como uma fonte promissora de pigmentos naturais com potencial funcional e tecnológico (58).

A Tabela 5 apresenta a caracterização físico-química dos extratos da flor desidratada do jambo.

Tabela 5 - Caracterização físico-química dos extratos da flor desidratada do Jambo (*Syzygium Malaccense L.*).

Parâmetros	Extrato Aquoso	Extrato Hidroacoólico
pH	3,37±0,00^{a}	3,22±0,000^{b}
Acidez Total Titulável (g ácido cítrico/100g)	1,03±1,07^{a}	1,09±0,01^{b}
°Brix	0,2±0,00^{b}	4,0±0,00^{a}
Atividade de água (Aw)	0,98±0,01^{a}	0,95±0,01^{b}

Autoria Própria,2025.

Os extratos da flor de jambo apresentaram pH ácido, com pequena diferença entre as versões aquosa e hidroalcoólica, refletindo a influência da polaridade do solvente. A água, por sua maior polaridade, extrai predominantemente compostos menos ácidos, enquanto o álcool, com polaridade intermediária, favorece a extração de ácidos fenólicos e flavonoides, aumentando ligeiramente a acidificação (59). Embora esse pH possa causar redução parcial do teor proteico por desnaturação, ele é favorável à conservação, prevenindo instabilidade sensorial e microbiológica do produto. A acidez total titulável indica o potencial de conservação da flor de jambo, pois valores mais altos inibem o crescimento microbiano. O extrato hidroalcoólico apresentou maior acidez que o aquoso, mostrando que o tipo de solvente influencia o perfil ácido e as propriedades funcionais e conservantes dos extratos.

A análise de sólidos solúveis (°Brix) da flor de jambo desidratada mostrou que o extrato hidroalcoólico apresentou maior concentração, devido à maior eficiência do sistema água-álcool na extração de açúcares, fenóis e flavonoides. Esses resultados indicam que a escolha do solvente influencia significativamente a composição físico-química do extrato, sendo o hidroalcoólico mais eficaz (60).

A análise da Aw dos extratos da flor de jambo desidratada mostrou que o extrato aquoso apresentou maior atividade de água, favorecendo a proliferação microbiana, enquanto o extrato hidroalcoólico apresentou menor Aw devido à interação do álcool com a água, reduzindo a disponibilidade de água livre. Essa característica torna o extrato hidroalcoólico mais vantajoso do ponto de vista tecnológico, aumentando a estabilidade e a vida útil do produto (61).

A Tabela 6 apresenta a caracterização dos compostos bioativos dos extratos da flor desidratada do jambo.

Tabela 6 - Caracterização dos compostos Bioativos dos extratos da Flor Desidratada do Jambo (*Syzygium Malaccense L.*).

Parâmetros	Extrato Aquoso	Extrato Hidroalcoólico
Compostos Fenólicos (mg GAE/100 g)	651,78±0,00^{a}	2890,42±0,00^{b}
Taninos Totais (mg TAE/100 g)	256,33±0,00^{a}	163,93±0,00^{b}
Flavonoides (mg/100 g)	5,17±0,00^{a}	2,52±0,00^{b}
Antocianinas (mg/100g)	16,19±0,00^{b}	26,7±0,00^{a}
Clorofila Total (mg/100 g)	50,14±0,00^{b}	22,75±0,00^{b}
Carotenoides Totais (mg/100 g)	10,42±0,00^{b}	25,25±0,00^{a}
Betalaínas Totais (mg/100g)	166,60±0,00^{b}	167,77±0,00^{a}
Betacianinas (mg/100g)	138,55±0,00^{b}	140,94±0,00^{a}

Betaxantinas (mg/100g)	27,90±0,00[a]	26,79±0,00[b]

Autoria Própria,2025.

Os resultados mostraram que o extrato hidroalcoólico da flor de jambo desidratada apresentou teor de compostos fenólicos significativamente superior ao aquoso, devido à maior eficiência do solvente de polaridade intermediária. Contudo, o processo de desidratação também contribuiu para concentrar esses compostos. Quando comparados aos valores reportados por Mendes (62) para a casca da guariroba, observa-se que a flor de jambo apresenta concentrações muito mais elevadas, o que evidencia seu expressivo potencial antioxidante. Essa diferença pode ser explicada por fatores como a espécie, a parte da planta analisada, o método de secagem e a composição fitoquímica da matriz.

Os resultados indicaram diferença significativa nos teores de taninos totais da flor de jambo desidratada, com maior concentração no extrato aquoso em comparação ao hidroalcoólico. Essa superioridade está relacionada à maior afinidade dos taninos, especialmente os hidrolisáveis e parte dos condensados, com solventes altamente polares, evidenciando a seletividade da água para esse grupo de compostos fenólicos.

A análise dos flavonoides totais na flor de jambo desidratada mostrou maior concentração no extrato aquoso em relação ao hidroalcoólico, evidenciando a eficiência da água na extração desses compostos. Em comparação, o teor obtido no extrato hidroalcoólico da flor de jambo foi superior ao relatado por Nascimento (63) para pétalas de capuchinha amarela indicando semelhanças fitoquímicas entre flores de coloração intensa e reforçando o potencial do jambo como fonte de flavonoides.

A análise das antocianinas totais da flor de jambo desidratada revelou maior concentração no extrato hidroalcóolico em comparação ao aquoso. Esses valores, sobretudo os do extrato hidroalcoólico, superaram os relatados por Nascimento (63) para a sépala da flor vermelha da capuchinha, diferença atribuída a fatores como espécie vegetal, parte da planta utilizada e condições de cultivo e extração. Tais resultados evidenciam o elevado potencial da flor de jambo como fonte de antocianinas, com aplicações em alimentos e cosméticos, tanto como corante natural quanto como composto funcional e antioxidante.

A análise dos pigmentos da flor de jambo desidratada evidenciou diferenças significativas entre os solventes utilizados. Para a clorofila total, o extrato aquoso apresentou valor superior em relação ao hidroalcoólico, indicando maior afinidade desse pigmento com solventes polares. Já para os carotenoides totais, observou-se o inverso: o extrato hidroalcoólico apresentou maior concentração em comparação ao aquoso para pétalas de capuchinha amarela, diferença atribuída a fatores como espécie, coloração floral e condições de cultivo e extração. Segundo Niizu e Rodriguez-Amaya (64), o poder corante e as propriedades funcionais dos carotenoides estão diretamente relacionados à sua estrutura química, em especial ao sistema de duplas ligações conjugadas.

A flor de jambo desidratada apresentou teores relevantes de **betalaínas,** com leve superioridade no extrato hidroalcoólico em relação ao aquoso, o que, segundo Guiné *et.al* (65), relaciona-se à maior eficiência de solventes orgânicos em matrizes úmidas. Para as **betacianinas,** também houve maior rendimento no extrato hidroalcoólico (140,94 mg/100 g), embora em níveis inferiores aos reportados por Kuhn *et al*. (66) para *Bougainvillea spectabilis*. Já as **betaxantinas** foram mais concentradas no extrato aquoso, devido à maior solubilidade em água, mas ainda inferiores aos valores da polpa de pitaia descritos por Sarmento (67). Esses resultados evidenciam o potencial da flor de jambo como fonte de pigmentos naturais e bioativos, ainda que em menor escala que outras espécies vegetais.

CONCLUSÕES

A flor do jambo (*Syzygium malaccense L.*) se destaca como uma fonte rica em compostos bioativos e nutrientes funcionais, tanto *in natura* quanto desidratada. A desidratação concentra proteínas e fenólicos, embora alguns pigmentos sensíveis, como antocianinas e clorofila, possam ser parcialmente perdidos. Os extratos hidroalcoólicos mostram maior eficiência na recuperação de fenólicos, taninos e carotenoides, enquanto os aquosos preservam melhor pigmentos hidrossolúveis. Dessa forma, a escolha entre flor desidratada ou *in natura* e o tipo de extrato deve ser orientada pelo objetivo de aplicação, para antioxidantes e compostos fenólicos, recomenda-se flor desidratada com extração hidroalcoólica; para corantes naturais e pigmentos sensíveis, a flor *in natura* com extração aquosa é mais adequada. Contudo, essa flexibilidade dos métodos permitem aproveitar ao máximo o potencial funcional e tecnológico da flor do jambo, viabilizando seu uso em alimentos inovadores, nutritivos e sustentáveis.

REFERÊNCIAS

1. Chitrakar B, Zhang M, Bhandari B. Edible flowers with the common name “marigold”: Their therapeutic values and processing. Trends in Food Science & Technology. 2019;89:76-87.

2. Zhao L, Fan H, Zhang M, Chitrakar B, Bhandari B, Wang B. Edible flowers: Review of flower processing and extraction of bioactive compounds by novel Technologies. Food Research International, 2019;126:108660.

3. Takahashi JA, Rezende FAGGR., Moura MAF, Dominguete LCB, Sande. Edible flowers: Bioactive profile and its potential to be used in food development. Food Research International, 2020;129:10886.

4. Fernandes L, Casal S, Pereira A, Saraiva J, Ramalhosa E. Edible flowers: A review of the nutritional, antioxidant, antimicrobial properties and effects on human health. Journal of Food Composition and Analysis, 2017;60:38-50.

5. Pires Jr, EDO, Di Gioia, F, Rouphael Y , Ferreira I. C, Caleja C, Barros L, Petropoulos, S. A. The Compositional Aspects of Edible Flowers as an Emerging Horticultural Product. Molecules, 2021; 26,(22):6940.

6. Kumari P, Bhargava B, Phytochemicals from edible flowers: Opening a new arena for healthy lifestyle. Journal of Functional Foods, 2021;78:104375.

7. Savi A, Calegari MA, Calegari GC, Santos VAQS, Wermuth D, Cunha MAAD, Oldoni TLC. Bioactive compounds from Syzygium malaccense leaves optimization of the extraction process, biological and chemical characterization**.** Food Technology and Food Engineering, 2020;42: 466773.

8. Ramalhosa E, Fernandes L, Casal S, Pereira JA, Saraiva JA. edible flowers: a nutritional perspectiv. Acta portuguesa de nutrição. 2016;6:32-37.

9. Chrysargyris A, Tzionis A, Xilia P, Nicola S, Tzortzaki N. Physiochemical properties of petunia edible flowers grown under saline conditions and their postharvest performance

under modified atmosphere packaging and ethanol application. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2019;99(7):3644-3652.

10. Parekh J, Chanda S. Antibacterial and phytochemical studies on twelve species of Indian medicinal plants. African Journal of Biomedical Research, 2007;10:175 – 181.

11. Lutz IA. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4ª Edição, 1ª Edição Digital. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz; 2008.

12. AOAC. Association of Official Analytical Chemists.19th Edição. Washington: Official methods of analysis of AOAC International;2012.

13. Waterhouse A. Folin-ciocalteau micro method for total phenol in wine. American Journal of Enology and viticulture. 2006;48:357-363.

14. Swain T, Hills WE. The phenolic constituents of Punnusdomestica. Iquatitative analysis of phenolic constituents. Journal of the Science of Food and Agriculture. 1959;19:63-68.

15. Francis FJ. Analysis of anthocyanins. Anthocyanins as food colors. New York: 1ª Edição. Academic Press;1982.

16. Heinonen J, Farahmandazad H, Vuorinen A, Kallio H, Yang B, & Sainio T. Extraction and purification of anthocyanins from purple fleshed potato. Food and Bioproducts Processing, 2016;99:136-146.

17. Lichtenthaler HK. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. in: methods in enzymology. 1987;148:350-382.

18. Castellar M R, Solano F, Obón JM. Betacyanin and other antioxidants production during growth of Opuntia stricta (Haw.) fruits. Plant foods for human nutrition, 2012; 67: 337-343.

19. Silva FDAS, de Azevedo CAV. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. African Journal of Agricultural Ressearch 2016;11, (39):3733-3740.

20. Gomes RB, VIANA EDS, Jesus JLD, Silveira SMD, Fonseca MD, Sacramento CKD. Avaliação físico-química de geleia de araçá-boi com banana. Embrapa Mandioca e Fruticultura. 2010.

21. Wille GMFC, Macedo RE, Masson ML, Stertz SC, Cellupi NR, & Lima JM. Desenvolvimento de tecnologia para a fabricação de doce em massa com araçá-pêra (*Psidium acutangulum* D. C.) para pequeno produtor. Ciência e Agrotecnologia. 2002;28(6):1360-1366.

22. Fukalova TF, Martínez MDG, & Raigón MD. Five undervalued edible species inherent to autumn-winter season: nutritional composition, bioactive constituents and volatiles profile. 2021;9:124-88.

23. Botrel N, Freitas S, Fonseca MJDO, Melo RADC E, & Madeira N. Valor nutricional de hortaliças folhosas não convencionais cultivadas no Bioma Cerrado. Brazilian Journal of

Food Technology. 2020;23: 2018-174.

24. Silva AB. Caracterização antibacteriana, química e fitoquímica de flores de *Hibiscus rosa-sinensis* L. (mimo-de-vênus) e *Hibiscus syriacus* L. (hibisco-da-síria) como fonte de alimento. [Dissertação]. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul;2014.

25. Du Y, Schuur B, Brilman DWF. Maximizando o rendimento lipídico na extração de algas *Neochloris oleoabundans* por estresse e uso de vários estágios de extração com N-etilbutilamina como solvente comutável**.** Pesquisa em química industrial e de engenharia. 2017; 56 (28): 8073–8080.

26. Oliveira JED, Marchini JS. Ciências Nutricionais :aprendendo a aprender. 2 ª Edição. São Paulo: Sarvier;2008.

27. Ohse, S, Carvalho, SM, Rezende, BLA., De Oliveira JB, Manfron PA, & Neto, DD. Produção e composição química de hortaliças folhosas em hidroponia. Bioscience Journa*l*, Uberlândia. 2012;28(2): 155-163.

28. Prata GGB. Compostos bioativos e atividade antioxidante de pétalas de rosas de corte. [Dissertação]. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba; 2009.

29. Melo FO. Caracterização biométrica do fruto e avaliação dos efeitos do encapsulamento na estabilidade e bioacessibilidade in-vitro de extratos antociânicos do jambolão (Syzygium cumini L. skeels) [Dissertação]. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe; 2022.

30. Santos JAB, Assis C, Aragao CFS, dos Santos Lima M, Passos TS, & da Silva-Maia, JK. Nanoparticles based on biopolymers improved antioxidant activity of phenolic compounds from jambolan (Syzygium cumini (L.) Skeels). Heliyon. 2024;10:36973.

31. Berto IR. Farinhas de ora-pro-nóbis: Aplicação em massas alimentícias e avaliação do efeito de secagem [Dissertação]. Bananeiras: Centro de Ciências Humanas. Sociais e Agrárias., Universidade Federal da Paraíba;2023.

32. Santos CA, Almeida FA, Quecán BX, Pereira PA, Gandra KM, Cunha LR, e Pinto UM. Bioactive Properties of *Syzygium Cumini* (L.) skeels pulp and seed phenolic extracts. Frontiers in Microbiology. 2020;11:16, 27.

33. Prata GGB. Compostos bioativos e atividade antioxidante de pétalas de rosas de corte [Dissertação]. João Pessoa:Universidade Federal da Paraíba; 2009.

34. Rocha AA, Stoppe ACR, Silvério BC, Neto JLV, Santos KG. Secagem de resíduos de malte em uma estufa solar com cobertura e em um secador solar de leito fixo. Research, Society and Development. 2020; 9(7): 447974335-447974335.

35. Pereira BC, Pereira AKFTC. Radicais livres: uma nova abordagem. Revista Saúde Quântica. 2012; 1: 35–48.

36. Chagas E. A., Grigio, M. L., Durigan, M. F., Fujita, E., & Vieites, R. L.Caracterização centesimal e compostos bioativos de frutos de camu-camu e **diferentes**

estádios de maturação. In: Congresso Brasileiro de Processamento mínimo e Pós colheita de frutas, flores e hortaliças, Aracaju-SE, 2016.

37. Reed E, Rocha DS. Pigmentos naturais em alimentos e sua importância para a saúde. Revista Estudos - Ciências Ambientais e Saúde (EVS). 2014; 41(1):76– 85

38. Hayes M, Ferruzzi MG. Update on the bioavailability and chemo preventative mechanisms of dietary chlorophyll derivatives. Nutrition Research.2020;81:19-37.

39. Deus VL, Santos APC, Walker JF, Neta LS, & Souza LS. Compostos fenólicos em hortaliças cultivadas nos sistemas convencional e orgânico: uma revisão. Brazilian Journal Health and Pharmacy. 2019;1(1):70-84.

40. Skalicky M, Kubes J, Shokoofeh H, Tahjib-Ul-Arif M, Vachova P, & Hejnak, V. Betacyanins and Betaxanthins in Cultivated Varieties of *Beta vulgaris* L. Compared to Weed Beets. Molecules. 2020; 25(22):1-15.

41. Mohanty SK, Behera S, Swain MR, & Ray RC. Bioethanol production from mahula (*Madhuca latifolia* L.) flowers by solid-state fermentation. Applied Energy.2009;86(5): 640-644.

42. Borges ADM, Pereira J, Lucena EMP. Green banana flour characterization.Food Science and Technology. 2009;29:333-339.

43. Rodrigues RMA, Oderiz MV, Lozano JS, & Hernández JL. Estudio de la composición química de pequeños frutos, arándano, frambuesa, groselha blanca, grosella negra, grosella roja y zarzamora producidos en Galicia**.** Industria Conserve, Parma. 1992;67(1): 29-33.

44. Braga ACD. Lima MS, Azevedo LC, & Ramos ME. Caracterização e obtenção de farinha do resíduo gerado no processo industrial de clarificação do suco de acerola. Revista Semiárido De Visu. 2011;1(2):126-133.

45. Melo FO. Caracterização biométrica do fruto e avaliação dos efeitos do encapsulamento na estabilidade e bioacessibilidade in-vitro de extratos antociânicos do jambolão (Syzygium cumini L. skeels). [Dissertação]. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe;2022.

46. Santos JAB, Assis CF, Aragao CFS, dos Santos Lima M, Passos TS, & da Silva-Maia JK. Nanoparticles based on biopolymers improved antioxidant activity of phenolic compounds from jambolan (Syzygium cumini (L.) Skeels). 2024;10:17.

47. Kosanić M, Ranković B, Vukojević J. Antioxidant properties of some lichen species**.** Journal of Food Science and Technology.2011;48:584–590.

48. Alothman M, Bhat R, Karim AA. Antioxidant capacity and phenolic content of selected tropical fruits from Malaysia, extracted with different solvents. Food chemistry. 2009;115(3):785-788.

49. Costa D, Marques AP, Reis RL, Lima JL, & Fernandes E. Inhibition of human neutrophil oxidative burst by pyrazolone derivatives. Free Radical Biology & Medicine. 2006;40:632–

640.

50. Naczk M, Shahidi F. Phenolics in cereals, fruits and vegetables: occurrence, extraction and analysis. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis. 2006;41(5):1523-1542.

51. Campos APR. Suco misto de jambolão (syzygium cumini lamarck) e camu-camu (myrciaria dubia): estabilidade, aceitação sensorial e microencapsulação por spray drying. [Doutorado]. Belém:Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará; 2022.

52. Santos JAB, Assis CF, Aragao CFS, dos Santos Lima M, Passos TS, & da Silva-Maia JK. Nanoparticles based on biopolymers improved antioxidant activity of phenolic compounds from jambolan (Syzygium cumini (L.) Skeels). Heliyon. 2024;10(1): 36973.

53. Roncheti EFS**.** Efeito da radiação solar e da suplementação de luz LED na biossíntese de compostos bioativos em flores de capuchinha (*Tropaeolum majus* L.) [Doutorado]. Viçosa:Universidade Federal de Viçosa; 2018

54. Nascimento ALAA. Efeito de diferentes tempos de exposição à luz LED vermelha em compostos bioativos de flores de capuchinha (Tropaeolum majus L.) [Dissertação]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2019.

55. Subramoniam A, Asha VV, Nair SA, Sasidharan SP, Sureshkumar PK, Rajendran KN, ... & Ramalingam K. Chlorophyll revisited: Anti-inflammatory activities of chlorophyll a and inhibition of expression of TNF-α gene by the same. Inflammation. 2012;*35*(3):959-966.

56. Jokopriyambodo W. The antiradical activity of insoluble water suji (*Pleomele angustifolia* NE Brown) leaf extract and its application as natural colorant in bread product. Journal of Food and Pharmaceutical Sciences.2014;2:2.

57. Li B, Vachali PP, Gorusupudi A, Shen Z, Sharifzadeh H, Besch BM, ... & Bernstein PS. Inactivity of human β, β-carotene-9′, 10′-dioxygenase (BCO2) underlies retinal accumulation of the human macular carotenoid pigment. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2014;111(28):10173-10178.

58. Stintzing FC, Carle R. Betalains in Food: Occurrence, Stability, and Postharvest Modifications. Food Colorants: Chemical and Functional Properties. 2008;4:277-29.

59. Motta RG, Lodete AR, Martins LDSA, Leite ND, & dos Santos PA. Bebida fermentada a base de soja com sabor de ameixa e suplementada com inulina em substituição ao iogurte tradicional. Revista Veterinária e Zootecnia. 2017;24(4):724-733.

60. Borges ALT, Ferreira. Estudos de obtenção e caracterização de microcápsulas spray-dryer com extrato hidroalcoólico de *Uncaria tomentosa* [Dissertação] . Maceió:Instituto de Ciências Farmacêuticas, Universidade Federal de Alagoas; 2021.

61. Moreira GF, Balbo A, Achete CA, Barin JS, Wollinger W, Nogueira R, ... & Rodrigues JM. Aplicação da Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) para determinação da pureza de fármacos**.** Produto & Produção. 2010;11(1): 22-29.

62. Mendes RM. Determinação dos compostos bioativos da gabiroba [Monografia]**.** Morrinhos**:** Instituto Federal Goiano; 2018.

63. Nascimento ALAA. Efeito de diferentes tempos de exposição à luz LED vermelha em compostos bioativos de flores de capuchinha (*Tropaeolum majus* L.)[Dissertação**]**. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa.; 2019.

64. Niizu PY, Rodriguez-Amaya DB. New data on the carotenoid composition of raw salad vegetables. Journal of Food Composition and Analysis. 2005;18(8):739 749.

65. Guiné RP, Ferrão AC, Correia P, Goncalves JC, & Gonçalves FJ. Flores comestíveis como fonte de compostos bioativos com atividade antioxidante**.** Livro de Resumos do III Colóquio Nacional de Plantas Aromáticas e Medicinais. Castelo Branco: Associação Portuguesa de Horticultura;2022.

66. Kuhn F, Azevedo ES, Frazzon J, Norena CPZ. Evaluation of greenextraction methods on bioactive compounds and antioxidant capacity from Bougainvillea glabra bracts**.** Sustainable Chemistry and Pharmacy. 2021;19 (1):100-362.

67. Sarmento JDA. Qualidade, compostos bioativos e conservação da pitaia (Hylocereus polyrhizus) no semiárido brasileiro [Doutorado]. Mossoró: Universidade Federal Rural do Semi-Árido;2017.

Capítulo 46

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-46

COMPOSIÇÃO CENTESIMAL E BIOATIVA DOS EXTRATOS DE *PILOSOCEREUS CHRYSOSTELE* (FACHEIRO)

José Nildo Vieira Deodato; Larissa da Silva Santos Pinheiro; Thais Ribeiro Luna de Melo*; Osvaldo Soares da Silva; Alison dos Santos Oliveira; Alfredina dos Santos Araújo; Gilcean Silva Alves

**Thais Ribeiro Luna de Melo – Email: thais-luuna@hotmail.com*

Resumo: O facheiro (*Pilosocereus chrysostele*) é uma espécie pertencente à família das cactáceas, planta nativa do bioma Caatinga, na qual se caracteriza por ser muito conhecida pela população, porém pouco explorada cientificamente, especialmente quanto ao seu potencial para a produção de corantes naturais. Assim, o presente estudo teve como objetivo analisar o potencial fitoquímico e físico-químico de extratos fruto do facheiro. Para isso, os frutos foram colocados em uma solução com álcool a 50%, 70%, água e 100% de álcool de cereais, por seguinte as soluções foram levadas para o rotaevaporador onde os extratos foram concentrados, em seguida foram realizadas as análises. Os extratos obtidos, apresentam fontes naturais de compostos bioativos, apresentando teores elevados de vitamina C, considerando que é uma fonte natural de carotenoides, compostos fenólicos, como também, teores significativos de antocianinas e flavonoides, conferindo uma pigmentação natural por sua coloração. Portanto, o facheiro pode se tornar uma fonte natural de corantes naturais, podendo os mesmos ser obtidos a partir de soluções hidroalcóolicas. Os corantes obtidos a partir das soluções alcoólicas a 50% e 70%, podem ser considerados os melhores, pois, os mesmos, conseguiram ser ótimos carreadores dos compostos que conferem a cor própria do fruto.

Palavras–chave: Cactáceas; fitoquímicos; pigmentos naturais

INTRODUÇÃO

As cactáceas constituem um grupo bastante diversificado de plantas, entre estas, destaca-se o facheiro (*Pilosocereus chrysostele*) um cacto de abrangente ocorrência no semiárido nordestino, porém, pouco explorado cientificamente. Trata-se de uma planta perene, arbustiva, robusta, de tronco ereto com galhos laterais, porém pouco ramificada, de coloração verde escura, com espinhos agudos e flores grandes, alvas e isoladas vegetando nos piores tipos de solo (1).

Os frutos do facheiro apresentam características atrativas como cor, aroma e sabor. Classifica-se como fruto tipo baga de formato ovoide, carnoso, de coloração vermelha intenso, além de numerosas sementes pretas e pequenas, sendo facilmente encontrados no período chuvoso (2).

Embora essa cactácea desempenhe um papel importante como planta forrageira na alimentação animal, a exploração do facheiro pode representar uma alternativa de relevante importância na indústria de alimentos, visto que, entre os compostos bioativos encontrados nas cactáceas, destacam-se os pigmentos naturais, como as antocianinas e os carotenoides,

que desempenham a função de conferir cor aos alimentos (3, 4 e 5). Contudo, ainda são poucos os estudos científicos que abordam sua utilização na forma de produtos industrializados.

O corante natural possui grande potencial na indústria e na culinária, podendo ser incorporado a produtos como derivados lácteos, doces, licores e sorvetes. Para viabilizar seu uso, é fundamental a realização de pesquisas que investiguem a presença de compostos bioativos e suas características funcionais. Nesse sentindo, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar o potencial fitoquímico e físico-químico de extratos do fruto do facheiro (*Pilosocereus chrysostele)*.

MATERIAL E MÉTODOS

Quatro extratos foram produzidos a partir dos frutos do facheiro. O primeiro corresponde ao extrato aquoso, o segundo extrato produzido foi o extrato de álcool de cereais, e os dois últimos foram produzidos a partir de soluções hidroalcoólicas a 50% e 70%, respectivamente.

OBTENÇÃO DOS EXTRATOS

Extrato aquoso

Foram utilizados aproximadamente 5 g da polpa *in natura* do fruto de facheiro, previamente triturada. Em seguida, foram adicionados 50 mL de água destilada como solvente, e a solução foi mantida em repouso por 48 horas. Após esse período, o conteúdo foi filtrado em papel filtro, transferido para frasco âmbar e armazenado sob refrigeração a 4 °C por mais 48 horas. Posteriormente, os extratos foram submetidos ao processo de rotaevaporação a 49 °C, durante 4 horas. Os extratos rotaevaporados obtidos foram armazenados sob refrigeração para as análises posteriores.

Extrato cereal (Alcóolico)

Aproximadamente 5 g da polpa *in natura* do fruto do facheiro, previamente triturada, foram utilizadas para o preparo do extrato. Em seguida, foram adicionados 50 mL de álcool de cereais (100%) como solvente, a solução foi mantida em repouso por 48 horas. Após esse período, o conteúdo foi filtrado em papel filtro, transferido para frasco âmbar e armazenado sob refrigeração a 4 °C por mais 48 horas. O álcool de cereais utilizado foi adquirido no comércio local da cidade de Patos-PB. Posteriormente, os extratos foram submetidos ao processo de rotaevaporação a 49 °C por 4 horas. Os extratos rotaevaporados foram armazenados sob refrigeração até a realização das análises posteriores.

Extrato hidro alcóolico 50%

Foram utilizados aproximadamente 5 g da polpa *in natura* do fruto do facheiro, previamente triturada. Em seguida, foram adicionados 50% de álcool etílico e 50% de água destilada como solvente. A mistura foi mantida em repouso por 48 horas. Em seguida, o conteúdo foi filtrado em papel filtro, transferido para frasco âmbar e armazenado sob refrigeração a 4 °C por mais 48 horas. Posteriormente, os extratos foram submetidos ao processo de rotaevaporação a 49 °C por 4 horas. Após esse processo, os extratos rotaevaporados foram armazenados sob refrigeração até a realização das análises posteriores.

Extrato hidro alcóolico 70%

Foram utilizados aproximadamente 5 g da polpa *in natura* do fruto do facheiro, previamente triturada. Em seguida, foram adicionados 70% de álcool etílico e 30% de água destilada na proporção como solvente. A mistura foi mantida em repouso por 48 horas. Em seguida, o conteúdo foi filtrado em papel filtro, transferido para frasco âmbar e armazenado sob refrigeração a 4 °C por mais 48 horas. Posteriormente, os extratos foram submetidos ao processo de rotaevaporação a 49 °C durante 4 horas. Os extratos rotaevaporados foram mantidos sob refrigeração até a realização das análises posteriores.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICAS DOS EXTRATOS DO FACHEIRO

Na caracterização físico-química dos extratos, foram realizadas as análises de Acidez total titulável (%), Sólidos Solúveis Totais (ºBrix), Potencial Hidrogeniônico – pH, e Ácido Ascórbico (mg/100g), determinadas conforme descrito pelo Instituto Adolf Lutz (6). Foi avaliado o parâmetro de cor medida por meio de análise direta em um colorímetro (CR10, Color Reader - Konica minolta, Japão), seguindo a escala de cores internacional (CIE-Commisione Internationale em Iluminationne).

CARACTERIZAÇÃO FITOQUÍMICAS DOS EXTRATOS DO FACHEIRO

Na caracterização dos compostos bioativos foram avaliados os parâmetros de Compostos Fenólicos (mg/100g) determinados pelo método espectrofotométrico de Folin - Ciocalteu, seguindo o protocolo descrito por Waterhouse (7) e, Swain e Hill (8)**;** Flavonoides (mg/100g) e Antocianinas (mg/100g) através do método desenvolvido por Francis (9); Clorofila Total (mg/100g) e Carotenoides (mg/100g) quantificado de acordo com o método de Higby (10).

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para os resultados das análises físico-químicas dos extratos do fruto foi utilizado o programa computacional ASSISTAT 7.7, onde os tratamentos foram comparados através da Análise de Variância (ANOVA), seguido da aplicação do teste de Tukey ($p<0,05$) a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 encontram-se a caracterização físico-química dos extratos de facheiro (*Pilosocereus chrysostele*), os resultados evidenciam que o tipo de solvente empregado exerce influência direta sobre a acidez titulável, pH e os sólidos solúveis totais (SST).

Tabela 1- Caracterização físico-química dos extratos do facheiro (*Pilosocereus chrysostele*)

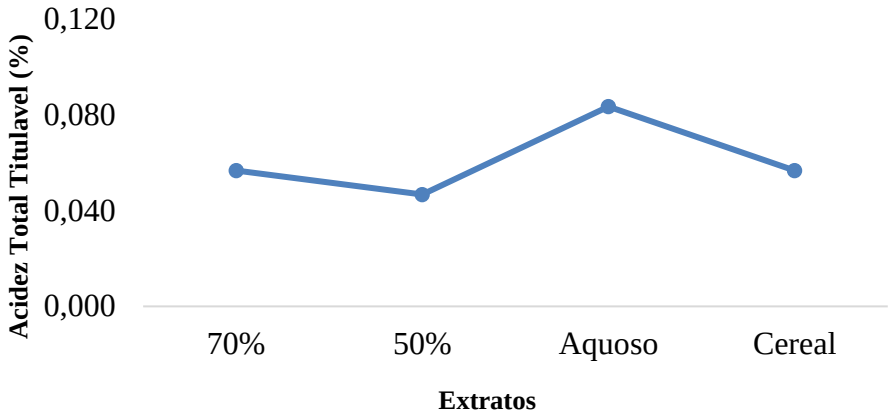
ANÁLISES	EXTRATOS			
	Aquoso	**70%**	**50%**	**Álcool de cereais**
Acidez (%)	$0,08^{a}\pm0,02^{*}$	$0,06^{ab}\pm0,01$	$0,05^{b}\pm0,01$	$0,06^{ab}\pm0,01$
pH	$3,34^{b}\pm0,03$	$4,08^{a}\pm0,05$	$4,06^{a}\pm0,12$	$3,51^{b}\pm0,05$
SST** (ºBrix)	$0,33^{d}\pm0,06$	$4,03^{c}\pm0,06$	$6,50^{b}\pm0,43$	$20,33^{a}\pm0,15$

*Média ± desvio padrão.
Médias com letras iguais na mesma linha não diferem entre si estatisticamente (p>0,05) pelo teste de Tukey.

**SST = Sólidos Solúveis Totais.

Para a análise da acidez total titulável, os valores obtidos variaram de 0,05% para o extrato com álcool a 50% a 0,08% para o extrato aquoso. Apenas as amostras do extrato aquoso e do extrato 50% apresentaram diferenças significativas entre si, indicando que a polaridade do solvente modula a solubilização de compostos ácidos. De modo semelhante, o pH dos extratos oscilou entre 3,34 e 4,08, valores típicos de matrizes vegetais ricas em ácidos orgânicos e compostos fenólicos. A acidez apresenta papel relevante na estabilidade dos extratos, uma vez que ambientes mais ácidos podem favorecer a preservação de pigmentos como antocianinas e flavonoides, evitando reações oxidativas e perdas de atividade biológica. Estudos recentes demonstram que o pH influencia tanto a estabilidade quanto a solubilidade de metabólitos secundários, determinando a eficácia antioxidante dos extratos vegetais (11). Além disso, a acidez e o pH afetam diretamente a aceitação sensorial, impactando sabor e aroma, fatores determinantes para potenciais aplicações em alimentos e bebidas funcionais.

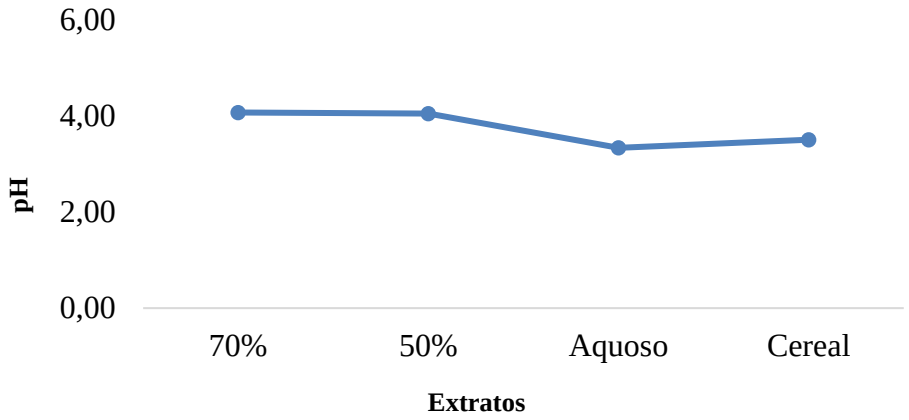
Figura 1 - Resultados obtidos para acidez total titulável dos extratos do facheiro (*Pilosocereus chrysostele*)



Conforme apresentado na Figura 1, embora os valores de acidez apresentem diferença estatisticamente significativa, eles se encontram bastante próximos entre si, demonstrando que o extrato aquoso possui maior acidez com 0,08%, este aumento observado é esperado, visto que, a água é o solvente mais polar e, por isso, é extremamente eficiente em extrair moléculas altamente polares, como açúcares, ácidos orgânicos e a maioria dos pigmentos. Isso demonstra que o solvente mais eficiente na extração dos compostos ácidos e dos pigmentos produz o extrato com a maior acidez. A baixa acidez dos demais extratos os torna um adequado aditivo para a produção de diversos alimentos. Além disso, alguns de seus compostos como pigmentos podem ser utilizados como corantes alimentares. De acordo com Molina et al. (12), os corantes são moléculas ácida e sua estabilidade é totalmente dependente do pH.

Na Figura 2, observa-se que os valores referentes ao pH variaram de 3,34 para o extrato aquoso, a 4,08, para o extrato etanólico a 70%. A medida do pH é um parâmetro importante, pois indica a susceptibilidade dos extratos ao crescimento de microrganismos. Para inibir a proliferação microbiana, é desejável que o pH seja inferior a 4,5. Estatisticamente, os extratos a 50% e 70% apresentaram valores de pH superiores, diferenciando-se significativamente dos extratos aquoso e com álcool de cereais. Mandelli (13) obteve valores semelhantes, de 3,35 em extratos oriundos do fruto de *ora-pro-nóbis*. Por outro lado, Vicente (14) desenvolveu extratos a partir de *P. grandifolia* e encontrou a média para o parâmetro de pH de 5,62, valor superior aos observados nessa pesquisa.

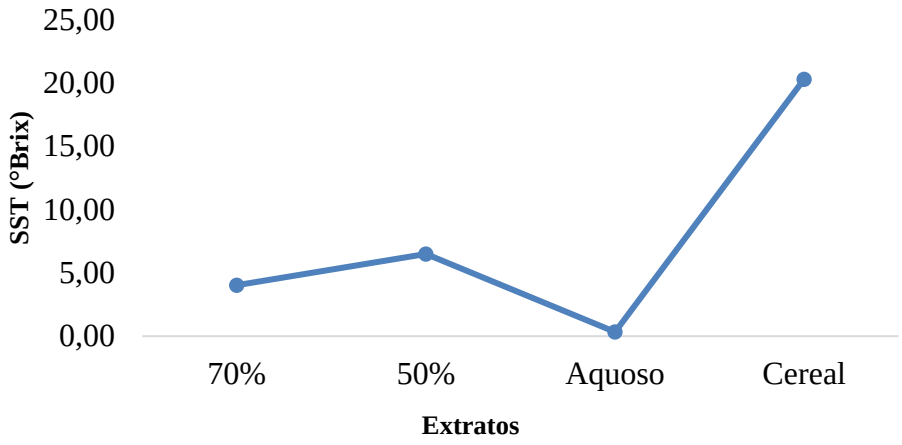
Figura 2 – Resultados obtidos de pH dos extratos do facheiro (*Pilosocereus chrysostele*)



Observa-se na figura 2 que os valores referentes ao pH dos extratos obtiveram uma variação mínima entre si, mesmo com a ocorrência das diferenças estatísticas, tendo o extrato aquoso o menor valor, de 3,34.

A figura 3 expressa os resultados em relação aos sólidos solúveis totais (SST), expressos em ºBrix. Os sólidos solúveis são compostos responsáveis pelo o sabor, entre eles estão os ácidos, sais minerais, vitaminas, aminoácidos e algumas proteínas. No entanto, os açúcares representam a maior fração entre esses componentes (15), além de possuírem influência nas propriedades termofísicas, químicas e biológicas dos alimentos.

Figura 3 – Resultados obtidos de sólidos solúveis totais dos extratos do facheiro (*Pilosocereus chrysostele*)



Os valores encontrados variaram de 0,33 ºBrix para o aquoso a 20,33 ºBrix para o extrato de álcool de cereais. Todas as amostras avaliadas diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância. Silva (16), desenvolveu extratos aquoso, etanólico e cetônico a partir da *Hylocereus undatus* (Haw.), encontrando valor de 0,40 ºBrix para o extrato aquoso, resultado semelhante ao obtido neste trabalho.

Como demonstra a figura 3, o extrato do fruto obtido a partir do álcool de cereais obteve um valor consideravelmente superior as demais amostras, tal resultado pode estar relacionado as diferenças do estágio de maturação da matéria-prima do extrato, considerando alguns frutos mais maduros com relação a outros frutos, uma vez que o teor de sólidos solúveis é influenciado tanto pelo grau de maturação da fruta quanto pelo período de armazenamento pós-colheita. Em geral, quanto mais avançado o grau de maturação, maior a concentração

de sólidos solúveis, devido a biossíntese de açúcares, da degradação de polissacarídeos ou da conversão de ácidos em açúcares (17), como também pode estar relacionada as diferenças de polaridade dos solventes e o meio de extração. A alta eficiência do extrato Cereal sugere que ele combina a solubilidade polar com a capacidade de liberação enzimática/ácida e a baixa eficiência do extrato aquoso (puro) é provavelmente uma limitação da própria matriz vegetal**.**

Na tabela 2, estão os valores obtidos para a análise de cor dos extratos obtidos a partir do facheiro. A cor é a primeira característica observada em um alimento, sendo responsável por influenciar as expectativas do consumidor quanto o sabor e qualidade do produto (18). A avaliação da cor é feita por meio de três parâmetros: tonalidade (h*), saturação (C*) e luminosidade (L*). A tonalidade representa uma grandeza que caracteriza a qualidade da cor como vermelho, verde ou azul, permitindo sua distinção visual. A saturação, também conhecida como pureza, refere-se à intensidade ou quantidade de uma tonalidade, indicando a proporção em que ela está misturada com o preto, branco ou cinza, o que permite diferenciar cores fortes e fracas. Luminosidade indica a qualidade que caracteriza o grau de claridade da cor, indicando se as cores são claras ou escuras L* = 0, preto a 100, branco) (19 e 20).

Tabela 2 - Resultados para a análise de cor dos extratos do facheiro (*Pilosocereus chrysostele*)

	Parâmetros				
Extratos	**a***	**b***	**L**	**C**	**h**
50%	$12,53^{a}\pm0,21^{*}$	$12,77^{b}\pm0,40$	$33,33^{ab}\pm0,25$	$17,90^{b}\pm0,30$	$77,10^{a}\pm2,34$
70%	$13,03^{a}\pm1,47$	$16,83^{a}\pm1,50$	$27,73^{b}\pm0,64$	$21,30^{a}\pm0,85$	$52,17^{b}\pm5,16$
Aquoso	$2,63^{b}\pm0,65$	$15,23^{ab}\pm2,57$	$39,3^{a}\pm4,71$	$14,07^{c}\pm0,06$	$79,83^{a}\pm3,59$
Cereal	$3,80^{b}\pm0,78$	$16,60^{ab}\pm0,26$	$35,40^{a}\pm0,46$	$17,03^{b}\pm0,40$	$77,10^{a}\pm2,34$

*Média ± desvio padrão.
Médias com letras iguais na mesma linha não diferem entre si estatisticamente (p>0,05) pelo teste de Tukey.

Conforme os resultados expostos na tabela 2, é possível perceber que para o parâmetro a*, variou de 2,63 para o extrato aquoso de facheiro a 13,03 para o extrato a 50% de facheiro. Observa-se também que as amostras de extratos a 50% e a 70% não deferiram entre si, mas deferiram das amostras de extrato aquoso e de álcool de cereais.

O parâmetro a* refere-se à variação de cor no espectro verde-vermelho, como todos os valores obtidos para as amostras deram positivo, isso indica que elas se encontram no espectro do vermelho, variando apenas a sua tonalidade. Observa-se que as amostras de extratos aquoso e de álcool de cereais apresentaram médias inferiores em comparação as medias obtidas pelos extratos a 50% e 70%. Esses resultados indicam que extratos aquoso e de álcool de cereais apresentam uma cor tendendo ao vermelho mais claro, próximo ao branco. Por outro lado, as outras duas amostras de extratos produzidas apresentaram tonalidades tendendo a um vermelho um pouco mais forte.

Esses resultados podem ser explicados pela força de carreamento dos compostos que conferem a cor ao facheiro, possivelmente a água e o álcool de cereais não são bons carreadores desses compostos, ou o tempo em que o solvente ficou em contando com a polpa do facheiro não foi suficiente para conseguir extrair toda a coloração. Ao contrário do álcool a 50% e o álcool a 70%, onde os mesmos foram capazes de extrair uma maior coloração do

fruto, porém, vale ressaltar que essa extração, ainda foi pouca, pois o valor do parâmetro a, mesmo sendo considerada estatisticamente diferente das demais, ainda é um valor baixo.

Na análise de colorimetria o parâmetro b* corresponde ao espectro de cor amarelo-azul, sendo possível observar que para tal parâmetro, os valores dos extratos variaram de 12,77 para o extrato a 50% a 16,83 para o extrato a 70%, sendo que as amostras de extrato aquoso e de álcool de cereais não diferiram entre si e não deferiram entre as amostras restantes. Portanto, como todos os valores foram positivos, percebe-se que as amostras apresentaram tendência à coloração mais amarelo, no entanto, indicam uma cor mais fraca, próxima ao branco.

Para o parâmetro de luminosidade (L), as amostras de extrato de facheiro variaram 27,73 para a amostra de extrato de facheiro a 70% a 39,3 para a amostra de extrato aquoso. Para esse parâmetro, quanto mais próximo o valor de 100, maior será a luminosidade. Sendo assim, dentre os extratos analisados, o extrato aquoso apresentou a maior luminosidade, enquanto o extrato de facheiro a 70% apresentou menor luminosidade.

Observa-se que as amostras que apresentaram o maior valor para o parâmetro a, ou seja, obtiveram coloração mais rósea, apresentando menor luminosidade, podendo ser decorrente da extração e carreamento dos extratos. Outro motivo que pode explicar esses valores, é pelo processo de concentração do extrato, processo de rotaevaporação, em que consiste reduzir e concentrar os extratos, apenas as amostras de 50% e 70% foram rotaevaporadas, para a retirada do álcool remanescente. Ao ocorrer a concentração dos compostos que conferem a cor, a luminosidade e brilho dos extratos são eliminados, deixando as amostras mais foscas e densas, com uma coloração rósea, porém turvo.

Rodrigues (21), em seu trabalho sobre qualidade, atividade antioxidante e atividade da peroxidase durante a maturação de frutos de facheiro (*pilosocereus pachycladus ritter)*, avaliando os parâmetros de cor (a*, b*e L), para o facheiro em estado de maturação mais roxo, utilizando a polpa, estado esse o mesmo utilizado no presente trabalho, encontrou para os parâmetros valores de 17,33, 22,60 e 18,83 para os parâmetros de a, b e L respectivamente. Observa se que para o valor de a, as amostras de extrato a 50% e 70% foram as que mais mantiveram os valores próximos ao original da polpa, enquanto os extratos de facheiro aquoso e de álcool de cereais, perderam a coloração muito fácil.

Em relação ao parâmetro b, as amostras analisadas na presente pesquisa apresentaram valores ligeiramente inferiores aos relatados por Rodrigues (21). Essa diferença pode ser atribuída à perda de compostos responsáveis pela coloração durante o processo de rotaevaporação, onde alguns compostos que são responsáveis por conferir a cor podem ser destruídos pelo processo de aplicação de temperatura para que ocorresse a concentração. Outro fator que pode explicar é a incidência luminosa, apesar dos extratos terem sido armazenados em frascos de vidro âmbar, durante a rotaevaporação, o balão recebia um pouco de luminosidade, onde esse fator pode ser o causador dessa perda e coloração.

Quando comparado os resultados da presente pesquisa, com os obtidos por Rodrigues (21) para o parâmetro de luminosidade (L), as amostras apresentaram valores superiores, podendo novamente ser atribuído ao processo de rotaevaporação para as amostras a 50% e 70%, bem como, pelo mal carreamento dos compostos responsáveis pela coloração pelos solventes utilizados. Vale ressaltar também que Rodrigues (21) realizou as análises diretamente na polpa in natura. No caso deste trabalho, os extratos passaram inicialmente por um processo de diluição da polpa nos solventes correspondentes e posteriormente pelo processo de rotaevaporação, o que influencia no resultado final.

Em estudo realizado por Calado (22), sobre pós-colheita de frutos de mandacaru colhidos em dois estágios de maturação e submetidos ao hidrorresfriamento, analisando os parâmetros de cor (a*, b* e L), obteve-se resultados de 1,61; 53,91; e 7,61 respectivamente, onde os

resultados para o parâmetro a, ficaram próximos dos resultados encontrado nesse trabalho para os extratos aquoso e de álcool de cereais, enquanto para os outros extratos os resultados ficaram muito abaixo, podendo ser explicado pela diferença de frutos, pois, o fruto do mandacaru é um fruto com uma polpa mais branca, logo o seu valor de a deverá ser menor. Para o parâmetro b, os valores encontrados ficaram muito acima dos resultados encontrados no presente trabalho, explicado pelo fato de como a polpa do mandacaru é branca, logo a polpa do fruto maduro apresentou uma coloração tendendo para o amarelo, devido ao escurecimento da polpa em um estádio mais avançado de maturação. Calado (22) relatou valores de L muitos inferiores aos obtidos no presente estudo, pois, o mesmo explica que o fruto escolhido já estava em processo de maturação se tornando opaco, assim, diminuindo assim a luminosidade.

Os resultados da saturação, que representam a pureza da cor, croma (C), variaram de 14,07 para a amostra de extrato de facheiro aquoso, a 21,3 para o extrato a 70%. Percebe-se que as amostras de extratos todos diferiram estatisticamente entre si, mostrando que a saturação foi diferente para todas as amostras. É perceptível que o extrato a 70% apresentou uma maior quantidade da tonalidade rosa/vermelho, já que sua saturação apresentou a maior das amostras, quanto a amostra do extrato aquoso apresentou com uma menor tonalidade, podendo ser explicado pelo fato de que esse extrato não foi levado ao rotaevaporador, logo não houve uma maior concentração da tonalidade.

Os resultados para o parâmetro do ângulo Hue (H) variaram de 52,17 para o extrato do facheiro a 70% a 79,83 para o extrato aquoso, apenas o extrato a 70% diferiu estatisticamente entre os outros extratos. O ângulo Hue representa a tonalidade, ou seja, o quão o extrato possui uma determinada cor, com os resultados descritos na tabela 2, percebe-se que as amostras de extratos de 50%, aquoso e de álcool de cereais, tenderam a uma cor próximo ao amarelo, ou vermelho claro, enquanto a amostra de extrato a 70% apresentou uma tonalidade mais próximo ao vermelho escuro, próximo ao rósea.

A tabela 3 apresenta os resultados obtidos para as análises de compostos bioativos dos extratos do fruto de *pilosocereus chrysostele* (facheiro).

Tabela 3 – Caracterização de compostos bioativos dos extratos do facheiro (*Pilosocereus chrysostele*)

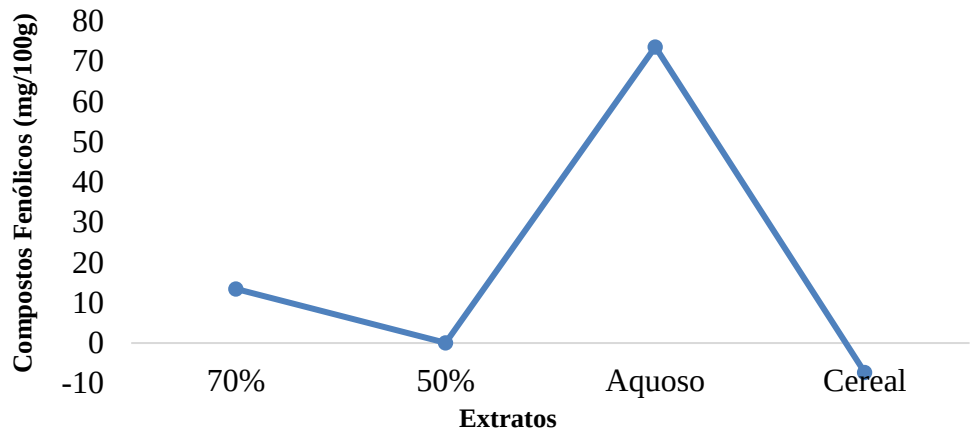
ANÁLISES	**EXTRATOS**			
	Aquoso	**70%**	**50%**	**Álcool de cereais**
Compostos Fenólicos (mgAGE/100g)	$70,11^{a}$±0,70*	$13,45^{b}$±0,33	$0,10^{c}$±0,03	-7,31±0,03
Flavonoides (mg/100g)	$0,60^{b}$±0,00	$1,00^{a}$±0,01	$0,55^{c}$±0,01	$0,03^{d}$±0,00
Antocianinas (mg/100g)	$0,36^{c}$±0,00	$2,39^{a}$±0,00	$0,93^{b}$±0,00	$0,05^{d}$±0,00
Clorofila Total (µg/100g)	0,01±0,00	0,57±0,00	0,09±0,00	0,003±0,00
Carotenoides (µg/100g)	$19,16^{c}$±0,28	$407,31^{a}$±0,30	$166,79^{b}$±1,00	$10,46^{d}$±0,50
Vitamina C (mg/100g)	$9,52^{c}$±0,00	$25,87^{a}$±0,55	$13,65^{b}$±0,73	$6,19^{d}$±0,48

*Média ± desvio padrão.

Médias com letras iguais na mesma linha não diferem entre si estatisticamente (p>0,05) pelo teste de Tukey.

Os resultados obtidos para a análise de compostos fenólicos encontram se na figura 4. Os valores obtidos para os extratos variaram de 70,11 mg/100g para o extrato aquoso a -7,31 mg/100g para o extrato de cereais. Todos os extratos diferiram significativamente entre si na análise estatística, é importante destacar que o extrato de cereais não foi possível ser analisado estatisticamente, pois, o resultado encontrado foi negativo. É provável que componentes de alto peso molecular, como proteínas ou polissacarídeos remanescentes do meio cereal, tenham precipitado ou complexado com o reagente, ou ainda, que a matriz tenha inibido a formação da coloração pela neutralização parcial do meio alcalino necessário para a reação. Portanto, embora o extrato de cereal seja altamente eficiente na extração de sólidos solúveis, a determinação do seu real conteúdo fenólico requer o uso de metodologias mais robustas, como a Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC), para isolar e quantificar os compostos antes da análise colorimétrica.

Figura 4 - Resultados obtidos para compostos fenólicos (mg/100g) dos extratos do facheiro (*Pilosocereus chrysostele*)



O extrato aquoso apresentou o maior teor de compostos fenólicos (70,11 mg/100g) entre os extratos analisados. Podendo ser explicado pelo possível teor elevado de carreamento de compostos que a água possui.

Souza (23), analisando a funcionalidade de espécies comestíveis do semiárido nordestino, encontrou para o extrato aquoso um teor de compostos fenólicos totais de 82,23 mg/100g, valor próximo ao encontrado no presente trabalho, a diferença existente pode ser explicada pela maturação do fruto utilizado para o preparo dos extratos. Também pode explicar essa diferença a localização da região onde foi colhido o fruto, logo, que a quantidade de minerais e outros fatores no solo, como tipo, quantidade de água afetam diretamente na concentração desses compostos no fruto. O autor, ainda determinou os teores de compostos fenólicos em extrato aquoso para o figo da índia (*Opuntia ficus-indica*), cactácea parecida com o facheiro, foi encontrado o valor de 12,34 mg/100g para a massa úmida e 110,20 mg/100g para a massa seca. Como são frutos parecidos, porém de plantas diferentes, ocorre essa discrepância maior. Porém é importante ocorrer essa comparação para ser perceptível a diferença entre essas duas cactáceas.

O extrato hidroalcoólico a 70% apresentou teor de compostos fenólicos de 13,45 mg/100 g, enquanto o extrato obtido com concentração a 50% apresentou um teor de 0,10 mg/100g para compostos fenólicos. Dessa forma, é possível analisar que nesse trabalho quanto menor a concentração de álcool no extrato, menor os teores de compostos fenólicos. Vale ressaltar

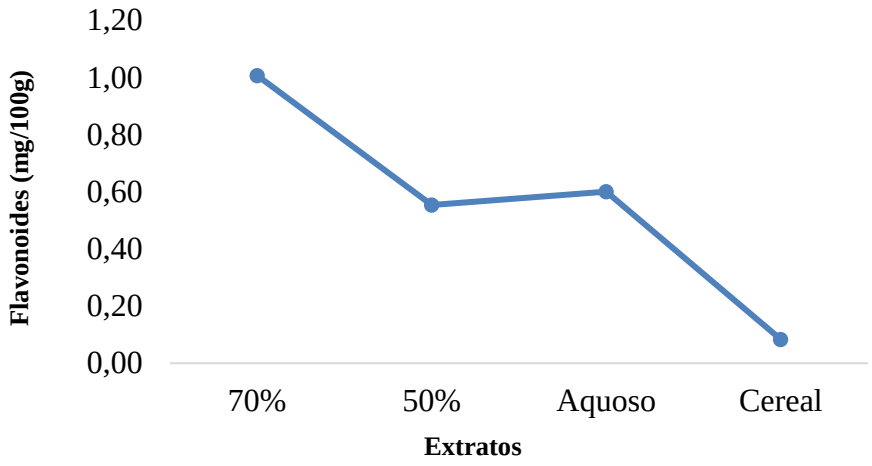
que ambos os extratos foram preparados com a mesma proporção de polpa do fruto do facheiro e submetidos ao mesmo processo para a obtenção do extrato final.

Sousa (23), elaborou um extrato a 70% do facheiro, e analisando os teores de compostos fenólicos dos mesmos foi encontrado um valor de 112,25mg/100g. Esse valor encontrado é superior ao presente estudo, sendo explicado pela diferença de maturação dos frutos, pela região em que os frutos foram coletados, e pelo tempo de extração do mesmo.

O extrato do fruto do facheiro utilizando álcool de cereais apresentou teor negativo de compostos fenólicos. Esse resultado sugere que o álcool de cereais (100%) possivelmente não seja um bom carreador de compostos, fazendo com que ocorra a perca ou volatização dos compostos.

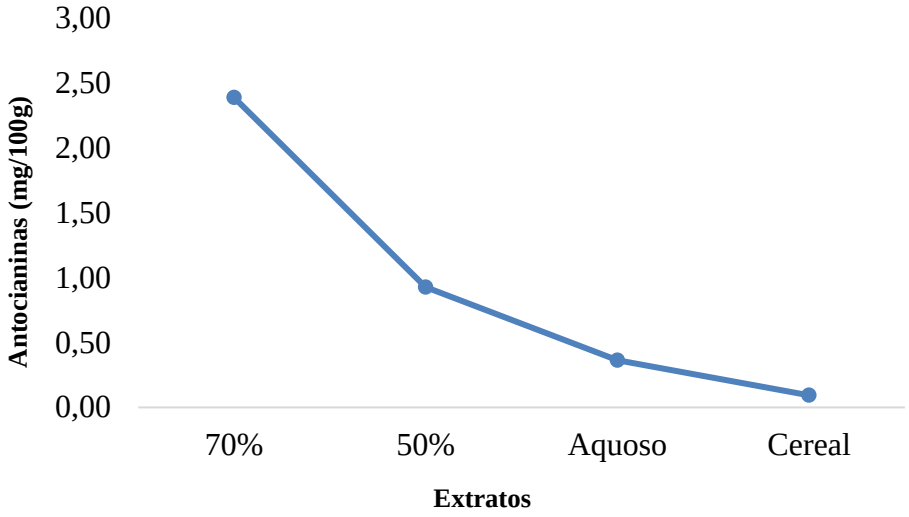
Encontra-se na figura 5 os resultados obtidos para flavonoides dos extratos do fruto de *Pilosocereus chrysostele* (facheiro). Os resultados para flavonoides totais variaram 0,03mg/100g para o extrato a base de álcool de cereais a 1,00mg/100g para o extrato a 70%. Os quatro extratos analisados diferiram significativa entre si na análise estatística. Em decorrência de poucas literaturas estudadas cientificamente, não foi possível uma discussão aprofundada no respectivo trabalho.

Figura 5 - Resultados obtidos para flavonoides (mg/100g) dos extratos do facheiro (*Pilosocereus chrysostele*)



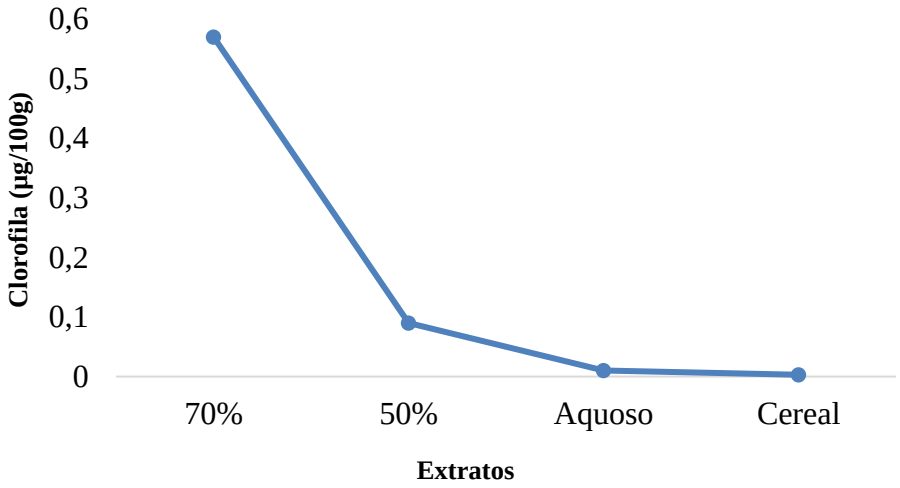
Na figura 6, encontram-se dispostos os resultados obtidos para a análise de antocianinas dos extratos do fruto do facheiro. Os valores variaram de 0,05 mg/100g para o extrato com álcool de cereais a 2,39 mg/100g para o extrato a 70%. Todas as amostras apresentaram diferenças estatísticas entre si. Como pode ser observado no gráfico, os extratos elaborados a partir de do etanol obtiveram resultados superiores aos outros solventes utilizados.

Figura 6 - Resultados obtidos para antocianinas (mg/100g) dos extratos do facheiro (*Pilosocereus chrysostele*)



Para o parâmetro de clorofila total, os resultados estão expressos na Figura 7, onde obtive-se variação de 0,003 µg/100g a 0,57 µg/100g para as amostras de extratos com álcool de cereais e álcool 70%, respectivamente.

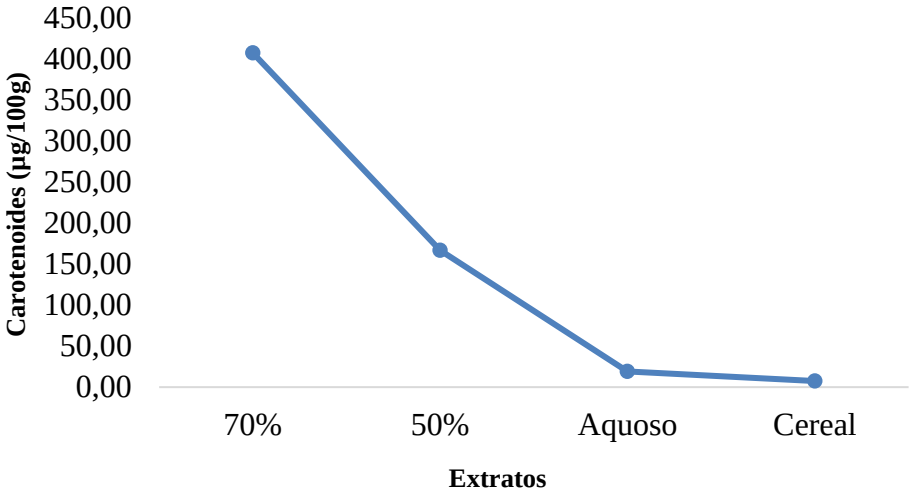
Figura 7 - Resultados obtidos para clorofila (mg/100g) dos extratos do facheiro (*Pilosocereus chrysostele*)



Os extratos obtiveram resultados consideravelmente próximos a zero para a análise de clorofila. Desta forma, o software estatístico utilizado não identificou tais resultados como válidos para a avaliação do teste de Tukey a 5% de significância, tornando da clorofila um componente traço nos extratos elaborados.

Na figura 8 estão dispostos os resultados para a análise de carotenoides dos extratos. Houve uma variação de 7,46 µg/100g a 407,31 µg/100g para as amostras de extratos de álcool de cereais e álcool 70%, respectivamente. Todas as amostras diferiram estatisticamente entre si a 5% de significância. Como relatado no gráfico anterior, os extratos elaborados a partir do etanol mostraram-se superiores em relação aos valores de compostos bioativos.

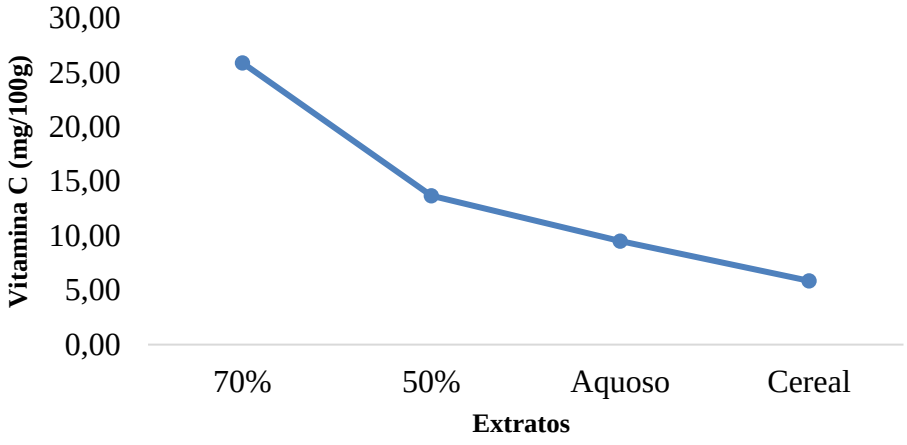
Figura 8 - Resultados obtidos para carotenoides (mg/100g) dos extratos do facheiro (*Pilosocereus chrysostele*)



Observa-se que a concentração de álcool influenciou no teor de carotenoides nos extratos, apresentando resultados que variam proporcionalmente com a concentração do solvente, esses resultados indicam que o álcool aumenta a eficácia da extração desses compostos. Com poucas exceções, carotenoides são insolúveis em água e solúveis em solventes orgânicos, tais como acetona, álcool, éter etílico, clorofórmio e acetato de etila. Por isso, quanto maior a concentração do álcool, maior será a sua interação com o carotenoide.

Os resultados para o parâmetro ácido ascórbico encontram-se dispostos na figura 9. Como pode ser observado, o teor de Vitamina C dos extratos demonstrou uma variação de 6,19 mg/100g a 25,87 mg/100g, para as amostras de extrato de álcool de cereais e álcool 70%, respectivamente. Todas as amostras diferiram estatisticamente entre si.

Figura 9 - Resultados obtidos para vitamina C (mg/100g) dos extratos do facheiro (*Pilosocereus chrysostele*)



De modo geral, os extratos etanólicos apresentaram maior teor de ácido ascórbico. No entanto, considerando que a vitamina C se concentra em maior quantidade na casca do fruto, os valores obtidos eram esperados, uma vez que os extratos foram elaborados a partir da polpa, e não da casca.

CONCLUSÕES

Com base das literaturas citadas e os resultados encontrados na pesquisa, os extratos obtidos, apresentam fontes naturais de compostos bioativos, apresentando teores elevados de vitamina C, considerando que é uma fonte natural de carotenoides, compostos fenólicos, como também, teores significativos de antocianinas e flavonoides, conferindo uma pigmentação natural por sua coloração.

A partir dos resultados da análise de cor, observou-se que os extratos obtidos a partir dos solventes a 70% e 50%, apresentaram o melhor desempenho na extração dos corantes do fruto do facheiro, pois, apresentaram valores que demostraram e constataram que os mesmos obtiverem uma coloração mais próxima à da polpa original (rosa, próximo ao vermelho).

Os extratos do fruto do facheiro (*Pilosocereus chrysostele*) apresentaram fontes de corantes naturais, rico em compostos bioativos, apresentando os maiores teores de antocianinas, carotenoides e vitamina C. Em termos de qualidade de cor e estabilidade, os extratos a 70% e 50% obtiveram o melhor desempenho, com alta saturação e valores de pH ácido que são cruciais para a preservação dos pigmentos. Além disso, o extrato aquoso apresentou o maior teor de Compostos Fenólicos Totais. Portanto, o extrato do fruto do facheiro é uma fonte viável e promissora de pigmentos naturais, sendo a extração hidroetanólica o método recomendado para a obtenção de extratos de alta qualidade com potencial aplicação como aditivo funcional na indústria de alimentos.

REFERÊNCIAS

1. Oliveira FMN, Figueirêdo RMF, Melo Queiroz, AJ, Almeida, CA. Caracterização físico-química das polpas dos ramos do mandacaru. Rev Caatinga. 2007: 20(4): 89-92.

2. Silva SM, Silva PSL, Silva FLC, Mendonça RMN, Mendonça V, Dantas AL, et al. Qualidade, atividade antioxidante e atividade da peroxidase durante a maturação de frutos de facheiro (*Pilosocereus pachycladus Ritter*). Rev Caatinga. 2019;32(4):839-50.

3. De Medeiros ARH, Luiz MJS, Pereira EM, Cruz, ENC, Oliveira MIV, Leite, DDF. Obtenção e qualidade de geleia e doce em calda de facheiro (*Cereus squamosus).* Rev Agrotec. 2016; 37: 23-26.

4. Rosso VV. Composição de carotenóides e antocianinas em acerola. Estabilidade e atividade antioxidante em sistemas-modelo de extratos antociânicos de acerola e açaí [Tese]. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2006.

5. Castro RW. Caracterização de açaí obtido de frutos de *euterpe edulis martius* tratados termicamente [Monografia]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

6. Instituto Adolfo Lutz. Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos do Instituto Adolfo Lutz: Métodos físicos e químicos para análise de alimentos. 4 ed. São Paulo, 2008.

7. Waterhouse, AL. Folin-Ciocalteu micro method for total phenol in wine. *American Journal of Enology and Viticulture*. 2006; 57(3): 3–5.

8. Swain T, Hills WE. The phenolic constituents of Prunus doméstica. I. Quantitative analysis of phenolic constituents. Journal of the Science of Food and Agriculture. 1959; 10(1): 63–68.

9. Francis FJ. Analysis of anthocyanins. Anthocyanins as food colors. 1982: 181-207.

10. Higby K. A simplified method for determination of some the carotenoid distribution in natural and carotene – fortified orange juice. Journalo Food Science. 1962; 27: 42-49.

11. Arabshahi DS, Devi DV, Urooj A. Evaluation of antioxidant activity of some plant extracts and their heat, pH and storage stability. Food Chem. 2007;100(3):1100-1105.

12. Molina AK, Corrêa RC, Prieto MA, Pereira C, Barros L. Bioactive natural pigments' extraction, isolation, and stability in food applications. Molecules. 2023; 28(3), 1200.

13. Mandelli MKLM. Avaliação dos parâmetros nutricionais e potencial antioxidante do fruto de Ora-pro-nóbis (*Pereskia Aculeata Miller*) [Monografia]. Pato Branco: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

14. Vicente NFP. Atividade antioxidante e antimicrobiana de extratos de Pereskia Grandfolia Haw [Dissertação]. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2017.

15. Banerjee A, Kunwarb A, Mishrab B, Priyadarsinib KI. Concentration dependent antioxidant/pro-oxidant activity of curcumin studies from AAPH induced hemolysis of RBCs. Chemico-Biological Interactions. 2008; 174: 134-139

16. Silva CG. Estudo da atividade biológica e avaliação da aplicação do corante de *Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose (Cactaceae) em cosmético labial [Monografia]. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

17. Meyer BN, Ferrigni NR, Putnam JE, Jacobsen LB, Nichols D, Mclaughlin, JL. Brine Shrimp: a convenient general bioassay for active plant constituents. Planta Médica. 1982; 45: 31-34.

18. Henry BS. Natural food colours. 2. ed. Boston: Chapman e Hall. 1996.

19. Pontes LV. Avaliação sensorial e instrumental da cor de misturas em pó para refresco, bebida isotônica e gelatina utilizando corantes naturais [Dissertação]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2004.

20. Ramos EM, Gomide LAM. Avaliação Objetiva da Cor. In: Avaliação da qualidade de carnes: fundamentos e metodologias. Viçosa: Editora UFV; 2007.

21. Rodrigues TL, Sousa ASB, Silva MCA, Nascimento RS, Sousa FARM, Silva SM. Quality, Antioxidant And Enzymatic Activities Of Facheiro (*Pilosocereus*

pachycladus ritter) Fruits During Maturation. Revista Caatinga. 2019; 32: 1092-1103.

22. Calado JA. Pós-colheita de frutos de mandacaru colhidos em dois estádios de maturação e submetidos ao hidrorresfriamento [Monografia]. Pombal: Universidade Federal de Campina Grande, 2017.

23. Souza RLA. Estudo da funcionalidade de espécies comestíveis do semiárido nordestino e estratégias para sua atualização como ingredientes para fins alimentícios [Tese]. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2014.

Capítulo 47

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-47

APROVEITAMENTO DO SUBPRODUTO CERVEJEIRO NA FORMULAÇÃO DE HAMBÚRGUERES DE FRANGO: VIABILIDADE MICROBIOLÓGICA

Cândida Lucile Pereira Martins*; Kenia Alves Pereira; Yanara Gomes de Oliveira; Ana Luisa de Medeiros Oliveira; Victória Cristina Gomes Colman ; Larissa da Silva Santos Pinheiro; Alfredina dos Santos Araújo

**lucileclpm79@gmail.com*

RESUMO

O crescimento da produção de subprodutos agroindustriais tem incentivado pesquisas para seu aproveitamento em alimentos funcionais e sustentáveis. Entre esses subprodutos, destaca-se o bagaço de malte, oriundo da indústria cervejeira, por apresentar composição nutricional relevante e potencial bioativo. Este estudo teve como objetivo avaliar a qualidade microbiológica da farinha obtida do subproduto cervejeiro e verificar sua aplicabilidade na formulação de hambúrgueres de frango reestruturados. O subproduto foi submetido a etapas de lavagem, secagem e moagem, sendo posteriormente incorporado em diferentes concentrações às formulações. Foram realizadas análises microbiológicas para detecção de coliformes a 35°C e 45°C, fungos filamentosos, leveduras, *Staphylococcus spp.* e *Salmonella spp.*, tanto na farinha quanto na carne de frango e nos hambúrgueres. Os resultados demonstraram ausência de Salmonella spp., Staphylococcus spp., fungos e leveduras, além de contagens de 0 NMP/g para coliformes a 35 °C e 45 °C em todas as amostras de farinha, carne e hambúrgueres, atendendo integralmente à Resolução RDC nº 161/2022 da ANVISA. Assim, a farinha do subproduto cervejeiro mostrou-se segura e viável para uso alimentar. Conclui-se que o aproveitamento da farinha de bagaço em hambúrgueres de frango representa uma alternativa sustentável, reduzindo impactos ambientais e, ao mesmo tempo, contribuindo para a melhoria do perfil nutricional do produto, ao fornecer fibras e compostos bioativos. Além disso, atende às demandas de consumidores por produtos de qualidade e práticas responsáveis.

Palavras-chave: sustentabilidade; agroindustrial; segurança de alimentos

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional, aliado ao aumento da demanda por alimentos de origem animal, tem intensificado a produção de resíduos agroindustriais. A geração desses subprodutos, quando não corretamente aproveitados, resulta em impactos ambientais relevantes, além de representar desperdício de insumos com potencial de valorização (1).

Nesse contexto, a sustentabilidade tem se consolidado como eixo fundamental para a indústria de alimentos, incentivando estratégias de reaproveitamento de resíduos que permitam reduzir os impactos ambientais e, ao mesmo tempo, gerar valor agregado. A

utilização de subprodutos agroindustriais, como o bagaço de malte proveniente da produção de cerveja, é um exemplo claro dessa prática. Apesar de ser produzido em grande volume e ainda ter como principal destino a alimentação animal ou o descarte, esse resíduo apresenta composição rica em fibras, proteínas e compostos bioativos, o que o torna uma matéria-prima promissora para novas formulações (2, 3, 4, 5).

O desenvolvimento de alimentos utilizando resíduos industriais está alinhado não apenas à inovação tecnológica, mas também às demandas do consumidor por práticas sustentáveis e produtos diferenciados no mercado. Essa abordagem, além de contribuir para a preservação ambiental, possibilita a criação de alternativas nutricionalmente mais interessantes e economicamente viáveis (6, 7, 8).

Entretanto, para que esses novos produtos sejam viáveis e seguros, é imprescindível garantir padrões adequados de qualidade microbiológica. A segurança dos alimentos está diretamente associada à adoção de boas práticas de fabricação, monitoramento dos processos e conformidade com a legislação vigente, como a Resolução RDC nº 161/2022 da ANVISA, que estabelece os parâmetros microbiológicos para alimentos no Brasil (9).

Nesse sentido, a microbiologia aplicada aos alimentos desempenha papel essencial, assegurando tanto a inocuidade quanto a conservação, além de fornecer subsídios para o controle de qualidade e para a aceitação do consumidor (10).

A utilização do bagaço de malte em hambúrgueres de frango apresenta relevância tanto nutricional quanto tecnológica. Estudos demonstram que esse subproduto é rico em fibras e proteínas (2), além de conter compostos bioativos resultantes da biotransformação microbiana (3), que podem agregar valor funcional ao produto. Embora sua aplicação já tenha sido validada em diferentes formulações, como barras de cereais (4), sua incorporação em produtos cárneos representa uma alternativa inovadora, capaz de melhorar o perfil nutricional e contribuir para a sustentabilidade da cadeia produtiva (7). Além disso, experiências anteriores com a inclusão de ingredientes alternativos em hambúrgueres de frango mostram a viabilidade de enriquecer esse tipo de produto sem comprometer suas características sensoriais (11). Dessa forma, o uso do bagaço de malte em hambúrgueres de frango se mostra promissor, unindo benefícios ambientais, tecnológicos e nutricionais.

Assim, a integração entre sustentabilidade e segurança alimentar justifica a investigação do uso do bagaço de malte na formulação de produtos cárneos reestruturados, como hambúrgueres de frango. Além de representar uma alternativa tecnológica inovadora, a avaliação microbiológica desses produtos é fundamental para comprovar sua viabilidade e garantir que o aproveitamento de resíduos agroindustriais resulte em alimentos seguros e de qualidade para o consumidor (11).

Portanto, o objetivo deste capítulo é avaliar a viabilidade microbiológica da farinha obtida do bagaço de malte e sua aplicação na formulação de hambúrgueres de frango reestruturados, discutindo sua relevância tecnológica, nutricional e sustentável.

MATERIAL E MÉTODOS

O subproduto cervejeiro foi submetido a processo de secagem e moagem em laboratório, visando reduzir o tamanho das partículas e permitir sua adequada incorporação na formulação do produto. A carne de frango utilizada foi adquirida em estabelecimento comercial autorizado. Em seguida, os materiais foram submetidos a análises microbiológicas, com o objetivo de avaliar a qualidade e assegurar a conformidade com os parâmetros de segurança alimentar estabelecidos pela legislação vigente.

ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

Teste Presuntivo

A análise foi realizada pela técnica de tubos múltiplos, na qual 25 g da amostra foram homogeneizados em 225 mL de Água Peptonada 0,1%. Para o teste presuntivo, alíquotas de 1 mL de cada diluição foram inoculadas em três tubos contendo 9 mL de Caldo Lauril Sulfato Triptose, com tubos de Durham invertidos, e incubados a 35 °C por 24–48 horas. O procedimento seguiu a metodologia descrita no *Manual de Métodos de Análise Microbiológica de Alimentos e Água* (10), em conformidade com os parâmetros estabelecidos pela Instrução Normativa nº 161/2022 (9).

Coliformes à 35°C

A partir dos tubos com resultado positivo no teste presuntivo, foi transferida uma alçada da cultura para Caldo Verde Bile Brilhante (VB), com incubação a 35 °C por 24 a 48 horas, conforme metodologia descrita por Silva et al. (10).

Coliformes à 45°C

A quantificação de coliformes termotolerantes foi realizada pela técnica do Número Mais Provável (NMP), com incubação em banho-maria a 45 °C por 48 horas, segundo Silva et al. (10).

Fungos filamentosos e leveduras

Para a determinação de fungos filamentosos e leveduras (UFC/g), utilizou-se o método de plaqueamento em superfície, em meio Agar Batata Dextrose (BDA) acidificado com solução de ácido tartárico 10%. As placas foram incubadas a 25 °C por 5 dias, de acordo com a metodologia recomendada por Silva et al. (10).

***Staphylococcus* spp.**

Para a determinação de Staphylococcus spp., utilizou-se o método de plaqueamento em superfície no meio Ágar Baird-Parker (BP), suplementado com solução de gema de ovo a 50% e telurito de potássio a 3,5%. As placas foram incubadas a 35 °C por 48 horas, conforme metodologia descrita por Silva et al. (10).

Salmonella spp.

Na determinação de presença de *Salmonella* spp. foi utilizado o método em superfície no meio de cultura *Salmonella* Diferencial Ágar, incubando-se a temperatura de 36 ± 1 °C/48 horas, segundo a metodologia recomendada (10).

Para a determinação da presença de Salmonella spp., empregou-se o método de plaqueamento em superfície no meio Salmonella Diferencial Ágar (SDA), com incubação a 36 ± 1 °C por 48 horas, conforme metodologia descrita por Silva et al. (10).

ELABORAÇÃO DOS HAMBÚRGUERES DE FRANGO ADICIONADO DO SUBPRODUTO CERVEJEIRO

Foi utilizado aproximadamente 2 kg de carne de peito de frango para a elaboração dos hambúrgueres. Inicialmente, a carne foi higienizada, com remoção de gordura e tecido conjuntivo visível, e posteriormente moída juntamente com gordura suína em moedor elétrico.

Após a moagem, a massa obtida foi dividida em porções correspondentes a cada formulação, a fim de facilitar o manuseio e reduzir riscos de contaminação. Em seguida, os ingredientes destinados a cada tratamento foram separados de acordo com o delineamento experimental, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Separação dos ingredientes



Foram adicionados, na sequência, a farinha do resíduo cervejeiro, a água gelada e o sal, visando à extração das proteínas miofibrilares. Após homogeneização, incorporaram-se os demais ingredientes: pimenta-do-reino em pó, cebola fresca triturada, alho fresco triturado, alecrim desidratado e orégano desidratado (Figura 2).

Figura 2 - Massa cárnea



A massa foi dividida em porções de 100 g para cada formulação, dando origem aos hambúrgueres. Após a homogeneização dos ingredientes, as unidades foram prensadas, moldadas em molde manual com 11 cm de diâmetro e embaladas, resultando em hambúrgueres de frango com adição da farinha proveniente do resíduo cervejeiro (Figura 3).

Figura 3 - Moldação dos hambúrgueres



Os hambúrgueres foram congelados a –18 °C até a realização das análises microbiológicas, que foram conduzidas ao longo do período de conservação de três meses (120 dias), com avaliações realizadas a cada 30 dias, totalizando cinco tempos de análise.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das medidas das análises microbiológicas do subproduto cervejeiro estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados das medidas das análises da caracterização microbiológica do ~~resíduo~~ cervejeiro

Parâmetros (Unidades)	Resultados
Coliformes à 35°C (NMP*/g)	0
Coliformes à 45°C (NMP*/g)	0
Fungos filamentosos e leveduras (UFC*/g)	Ausente
Staphylococcus (UFC*/g)	Ausente
Salmonella spp.	Ausente

*UFC.G-^{1} = Unidades formadoras de colônias por grama de amostra; *NMP = Número mais provável.

Os dados obtidos revelam que a farinha do bagaço de malte encontra-se em conformidade com a RDC n° 161/2022 (9), uma vez que todas as amostras apresentaram ausência de *Salmonella spp.* e *Staphylococcus*, atendendo aos padrões microbiológicos vigentes. Para coliformes a 35 °C e 45 °C, bem como para fungos filamentosos e leveduras, os resultados ficaram abaixo dos limites tolerados pela legislação.

Tabela 2 - Resultados das medidas das análises da caracterização microbiológica da carne de frango

Parâmetros (Unidades)	**Resultados**
Coliformes à 35°C (NMP*/g)	0
Coliformes à 45°C (NMP*/g)	0
Bolores e leveduras (UFC*/g)	Ausente
Staphylococcus (UFC*/g)	Ausente
Salmonella 25/g.	Ausente

*UFC.G-^{1} = Unidades formadoras de colônias por grama de amostra; *NMP = Número mais provável;

Os resultados das análises microbiológicas indicam que a carne de frango encontra-se em conformidade com a Resolução de Diretoria Colegiada (RDC) nº 161 (9). A amostra apresentou ausência de *Salmonella spp.* e *Staphylococcus*, atendendo aos padrões estabelecidos pela legislação vigente. Além disso, os resultados para coliformes a 35 °C e 45 °C, bem como para fungos filamentosos e leveduras, permaneceram abaixo dos limites tolerados pela normativa atual. Os resultados referentes aos hambúrgueres de frango elaborados com a farinha de resíduo cervejeiro estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados microbiológicos de fungos filamentosos e leveduras (UFC/ml), Salmonella sp., e coliformes 35°C e coliformes 45°C (NMP/ml)

Parâmetros (Unidades)	**Resultados**
Coliformes à 35°C (NMP*/g)	0
Coliformes à 45°C (NMP*/g)	0
Fungos filamentosos e leveduras (UFC*/g)	Ausente
Staphylococcus (UFC*/g)	Ausente
Salmonella spp.	Ausente

*UFC.G-^{1} = Unidades formadoras de colônias por grama de amostra; *NMP = Número mais provável;

É importante destacar que o congelamento exerce efeito redutor sobre a microbiota presente nos alimentos. Entretanto, a carga microbiana pode aumentar significativamente caso o descongelamento não seja conduzido de forma adequada. Ainda assim, nas análises de fungos filamentosos, leveduras, coliformes a 35 °C, coliformes a 45 °C e *Salmonella spp.*, não foi detectada nenhuma contagem ou presença desses microrganismos em nenhuma das formulações de hambúrgueres produzidos e avaliados. Esses resultados são bastante promissores, uma vez que tais microrganismos, em sua maioria patogênicos, podem causar sérios danos à saúde do consumidor e estão frequentemente associados a surtos de origem alimentar.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos confirmam que a farinha de bagaço de malte apresenta condições microbiológicas adequadas para aplicação em produtos cárneos, atendendo aos limites estabelecidos pela legislação brasileira (9;10). A ausência de microrganismos patogênicos, como *Salmonella spp.* e *Staphylococcus spp.*, garante a segurança do seu uso na indústria alimentícia, sem comprometer a qualidade do produto e a saúde do consumidor (12).

A incorporação desse subproduto agroindustrial em hambúrgueres de frango configura-se como uma alternativa tecnológica alinhada às demandas atuais de sustentabilidade e inovação (1–4). Além de reduzir os impactos ambientais decorrentes do descarte inadequado, essa prática reforça princípios de economia circular e aproveitamento integral de matérias-primas na cadeia de alimentos (6;7).

Assim, o presente estudo demonstra que a utilização do bagaço de malte na formulação de hambúrgueres de frango não apenas assegura padrões de inocuidade, mas também representa uma estratégia viável para agregar valor a resíduos agroindustriais. Tal abordagem vai ao encontro das exigências de um mercado cada vez mais orientado por critérios de sustentabilidade, inovação e consumo consciente (1;8;11).

REFERÊNCIAS

1. Andrade MSA, Albino AA, Silva VRO, et al. Comportamento do consumidor e o mercado de alimentos associados ao marketing sustentável. Interfaces Cient Saude Ambient. 2024;9(3).

2. Massardi MM, Massini RMM, Silva DJ. Caracterização química do bagaço de malte e avaliação do seu potencial para obtenção de produtos de valor agregado. J Eng Exact Sci. 2020;6(1):83–91.

3. Bianco A, Budroni M, Zara G, Mannazzu I, Fancello F, Zara S. The role of microorganisms on biotransformation of brewers' spent grain. Appl Microbiol Biotechnol. 2020;104:8662–78.

4. Capelezzo L, Cardoso T, Nicoloso C, Souza CFV. Elaboração e avaliação físico-química de uma barra de cereal utilizando resíduo cervejeiro. Braz J Health Rev. 2020;3(3):5107–21.

5. Diniz KM. Aplicação de bagaço de malte em formulações lácteas tipo requeijão [dissertação]. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará; 2023.

6. Ravelly FAS, Silva Júnior GF, Nascimento WS, Lima RDS. Biopolímeros na indústria de alimentos: do aproveitamento de resíduos agroindustriais à produção de biopolímeros. Avanços Cienc Tecnol Alim. 2021;4.ed. São Paulo: Blucher; 2021.

7. Ricardino IEF, Souza MNC, Silva Neto IF. Vantagens e possibilidades do reaproveitamento de resíduos agroindustriais. Alimentos: Ciênc Tecnol Meio Ambient. 2020;1(8):5579.

8. Araújo ES, Rodrigues JFS, Costa RM, Oliveira LP, Ferreira TJS, Souza FA. Avaliação das propriedades tecnológicas e bioativas de farinha elaborada com subproduto agroindustrial do cajá (Spondias mombim L). Braz J Dev. 2023;9(5):

9. Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 161, de 1° de julho de 2022. Dispõe sobre o Regulamento Técnico sobre Padrões Microbiológicos dos Alimentos. Diário Oficial União. 2022 jul 1.

10. Silva ND, Junqueira VCA, Silveira NFA, Taniwaki MH, Gomes RAR, Okazaki MM, et al. Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água. 6th ed. São Paulo: Blucher; 2021.

11. Silva JKJ, Oliveira AMM, Ferreira AG, Gomes TA, Moura AM, Santos MS, et al. Caracterização de hambúrguer de frango elaborado com farinha de pequi. Res Soc Dev. 2022;11(3). doi: 10.33448/rsd-v11i3.26778

12. Neves CP, Rodrigues KL, Mello JF, Valente Gandra T, Avila Gandra E. Microbiological evaluation of beef sold in Brazil and consumer knowledge about food safety. Acta Vet Bras. 2024;18(2).

13. Silva PA. Estudo do processamento e da qualidade física, físico-química e sensorial da farinha de tapioca [dissertação]. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande; 2020.

Capítulo 48

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-48

BENEFÍCIOS DA BORRA DE CAFÉ ESPECIAL NO SUBSTRATO NA GERMINAÇÃO E DESENVOLVIMENTO INICIAL DA BERINJELA (*Solanum melongena L.*)

Amanda Caroline Silva Batista*; Rodrigo Vieira da Silva ; Sullamitha Costa Pereira Toledo ;

**Engenheira Agrônoma, Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos, eng.amandacaroline@gmail.com*

Resumo: A berinjela (Solanum melongena L.) é uma hortaliça de relevância socioeconômica no Brasil, e o substrato constitui insumo fundamental para a produção de mudas. Nesse contexto, a busca por alternativas sustentáveis tem levado à investigação do uso de resíduos orgânicos, como a borra de café, na composição de substratos agrícolas. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da incorporação da borra de café especial ao substrato comercial Carolina® sobre a germinação e o crescimento inicial da berinjela. O ensaio foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos (0%, 5%, 10%, 20%, 40% e 50% de borra de café), cada um com 80 sementes, totalizando 480 unidades experimentais. Aos 30 dias após o semeio, foram avaliadas as variáveis emergência, altura das plantas, número de folhas, comprimento radicular, massa fresca da parte aérea e do sistema radicular. Os resultados mostraram que concentrações moderadas (5% e 10%) favoreceram significativamente a germinação e o desenvolvimento inicial das mudas, destacando-se o tratamento com 10%, que apresentou maiores médias de altura (3,0 cm), número de folhas (3,0) e comprimento radicular (4,0 cm). Em contrapartida, concentrações elevadas (40% e 50%) comprometeram o desempenho das plantas, reduzindo a emergência e o crescimento. Conclui-se que a adição de 10% de borra de café ao substrato é eficiente para promover o desenvolvimento inicial da berinjela, configurando-se como alternativa sustentável para o aproveitamento de resíduos e a melhoria da fertilidade do solo.

Palavras–chave: Adubação orgânica, Solanum melongena L., substrato alternativo, sustentabilidade agrícola.

INTRODUÇÃO

A berinjela (Solanum melongena L.) é uma hortaliça pertencente à família Solanaceae, a mesma que abrange espécies de elevada relevância socioeconômica, como o tomate, o pimentão, a batata-inglesa e o jiló. Dados do mais recente levantamento da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO) indicam que tanto a produção global de berinjela quanto a área destinada ao seu cultivo apresentam tendência de crescimento contínuo.

Segundo o último ano contemplado pelo estudo, a produção mundial alcançou 52 milhões de toneladas, distribuídas em mais de 1,8 milhão de hectares, resultando em uma

produtividade média de 28,15 t/ha (1). China e Índia lideram a produção em nível global. No Brasil, o estado do Rio de Janeiro responde por cerca de 43% da produção nacional, seguido pela Bahia (20%) e São Paulo (15%) (2). Ressalta-se que o consumo de berinjela vem crescendo devido às propriedades medicinais atribuídas aos seus frutos, destacando-se a redução do colesterol, além de seu elevado teor de vitaminas e sais minerais (3).

O café, por sua vez, configura-se como a segunda bebida mais consumida no país, ficando atrás apenas da água. Esse hábito resulta na geração de expressivos volumes de resíduos, em especial a borra de café, subproduto direto do preparo da bebida. Entre novembro de 2023 e outubro de 2024, o consumo interno de café registrou aumento de 1,1% em comparação ao período anterior, somando 21,9 milhões de sacas. Esse montante corresponde a 40,4% da safra nacional de 2024, estimada em 54,21 milhões de sacas pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) (Associação Brasileira da Indústria do Café, 2025). Esse consumo equivale a aproximadamente 1,314 milhão de toneladas de café, resultando na geração de cerca de 854 mil toneladas de borra. Assim, a destinação correta desse resíduo torna-se fundamental para reduzir impactos ambientais e incentivar práticas de gestão sustentável de resíduos orgânicos.

Figura 1: Borra de café especial in natura após secagem.



Fonte: BATISTA, A. C. S. (60)

Entretanto, a literatura científica acerca da utilização da borra proveniente de cafés especiais ainda é escassa. Esses cafés são caracterizados por grãos de alta qualidade, cultivados sob rigorosos critérios agrícolas que visam realçar atributos sensoriais superiores. Atualmente, consumidores desse segmento buscam experiências sensoriais diferenciadas, o que agrega valor à cadeia produtiva (4).

A qualidade do grão está associada a múltiplos fatores, como características físicas, químicas e sensoriais, além das condições genéticas e ambientais que determinam o perfil final da bebida (5). Tais práticas podem alterar a composição química da borra, elevando a presença de nutrientes e compostos de interesse agronômico.

Dessa forma, tornam-se necessárias pesquisas complementares para confirmar tais hipóteses e avaliar os efeitos específicos da borra de café especial na agricultura. Ressalta-se, contudo, que o uso desse resíduo no solo deve ser precedido de processos como a

compostagem, que contribui para estabilizar a matéria orgânica e reduzir substâncias potencialmente fitotóxicas (6). Além disso, a dosagem e o método de aplicação devem ser cuidadosamente regulados a fim de evitar impactos negativos sobre o desenvolvimento vegetal.

O aproveitamento de resíduos orgânicos surge como alternativa promissora à adubação química e ao uso de substratos comerciais. Nesse contexto, a borra de café se destaca por sua abundância e pela elevada geração em domicílios, sendo frequentemente descartada sem aproveitamento. Sua composição rica em matéria orgânica evidencia potencial para o uso no cultivo de mudas de hortaliças (7). Outra alternativa é a compostagem de diferentes resíduos, que resulta em um composto enriquecido com nutrientes e matéria orgânica (8).

A borra de cafés especiais apresenta perfil nutricional mais elevado quando comparada à proveniente de cafés convencionais, devido à superior qualidade dos grãos. Segundo (9), os cuidados adotados no cultivo e processamento resultam em uma borra enriquecida com compostos bioativos, como polifenóis, reconhecidos por suas propriedades antioxidantes. Além disso, verifica-se maior concentração de nutrientes essenciais, como nitrogênio e fósforo, tornando-a especialmente atrativa para uso agrícola (10).

O crescimento da demanda por café, tanto no Brasil quanto no exterior, acarreta o aumento da geração de resíduos, o que reforça a necessidade de soluções sustentáveis. Nesse cenário, esta pesquisa propõe o reaproveitamento da borra de café especial como substrato agrícola, com foco na produção de mudas. A proposta busca mitigar impactos ambientais e estimular práticas agrícolas sustentáveis. Para tanto, é essencial identificar a proporção ideal de borra a ser aplicada, garantindo sua eficiência agronômica.

REVISÃO

A cultura do berinjela

A berinjela (Solanum melongena L.) é uma hortaliça de relevância socioeconômica, amplamente cultivada em regiões tropicais e subtropicais. Sua produção mundial ultrapassa 58 milhões de toneladas, em aproximadamente 1,9 milhões de hectares (11). No Brasil, observa-se preferência por frutos de formato alongado e coloração roxo-escura, embora diferentes variedades estejam disponíveis no mercado, variando em tamanhos, formas e tonalidades. As plantas apresentam hábito arbustivo, caule semi-lenhoso e sistema radicular profundo, podendo atingir mais de 1,0 m. Adaptam-se bem a temperaturas entre 25 e 35 ºC, com colheita iniciando cerca de 100 dias após o plantio (12, 13).

A borra de café, subproduto gerado durante a preparação da bebida, tem se destacado como alternativa para o uso agrícola, especialmente pela elevada concentração de matéria orgânica e nutrientes essenciais. A borra de café especial, oriunda de grãos de maior qualidade, apresenta teores superiores de compostos bioativos, como polifenóis e antioxidantes, além de macro e micronutrientes fundamentais para o crescimento vegetal (14). Pesquisas apontam que sua incorporação ao solo ou substrato pode melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas, aumentando a retenção de água e a disponibilidade de nutrientes (15,16).

A relação carbono/nitrogênio (C/N), variando entre 15 e 20, torna a borra de café adequada para compostagem, acelerando a decomposição de resíduos e equilibrando o pH do solo (17). Entretanto, seu uso requer cautela, pois aplicações excessivas podem ocasionar imobilização de nitrogênio e liberação de compostos fitotóxicos, prejudicando a germinação e o desenvolvimento das plantas (18). Por isso, recomenda-se a compostagem prévia ou a

mistura com outros materiais orgânicos, de modo a potencializar seus benefícios e reduzir riscos de toxicidade (19).

Além da aplicação agrícola, a borra de café apresenta potencial para utilização em outras áreas, como na produção de bioplásticos, cosméticos e como substrato para cultivo de fungos (20). Sua valorização está alinhada ao conceito de economia circular, transformando um resíduo abundante em recurso de elevado valor agregado. Apesar dos desafios relacionados à logística e à utilização em larga escala, o aproveitamento sustentável desse subproduto pode contribuir para reduzir o descarte inadequado, melhorar a fertilidade do solo e promover práticas agrícolas mais sustentáveis (21,22).

A aplicação da borra de café como fertilizante apresenta grande potencial devido à sua abundância em matéria orgânica, assim como em macro e micronutrientes (Tabela 1).

Tabela 1 – Composição orgânica e mineral da borra de café

Parâmetros	Concentração (%)
Matéria Orgânica	90,46
Carbono/Azoto (C/N)	22/1
Azoto	2,3
Fósforo	0,15
Potássio	0,35
Cálcio	0,08
Magnésio	0,13
Alumínio	0,03
Ferro	0,01

Fonte: Mussatto et al., 2011 (23)

O café é uma das commodities agrícolas mais importantes do mundo e ocupa papel central tanto no mercado internacional quanto na economia brasileira. Segundo a International Coffee Organization (62), o consumo mundial ultrapassa 170 milhões de sacas por ano, consolidando-se como a segunda bebida mais consumida globalmente, atrás apenas da água. O Brasil lidera a produção há mais de 150 anos, sendo responsável por cerca de 35% do volume mundial, com destaque para as espécies Coffea arabica e Coffea canephora (conilon/robusta), cultivadas principalmente em Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Rondônia e Bahia (63).

A qualidade da bebida é resultado de uma interação complexa entre fatores genéticos, edafoclimáticos e tecnológicos. Características como acidez, aroma e sabor estão relacionadas à composição química do grão, que envolve açúcares, lipídios, proteínas, ácidos clorogênicos e cafeína (64). Esses compostos sofrem modificações significativas durante a torrefação, quando reações de Maillard e de caramelização conferem ao café suas propriedades sensoriais mais valorizadas.

Além da relevância econômica, o café possui interesse científico e nutricional, em razão da presença de antioxidantes naturais, como polifenóis e ácidos clorogênicos, associados a potenciais efeitos benéficos à saúde, incluindo ação anti-inflamatória e redução do risco de doenças metabólicas (65). Esses aspectos reforçam a importância da bebida não apenas como produto agrícola, mas também como alimento funcional em diversos contextos de pesquisa.

Tabela 2: Composição química dos grãos de café in natura.

Componente	Teor aproximado (%)	Função/Importância
Carboidratos totais (incluindo polissacarídeos)	50 – 55	Fonte de energia; degradam-se na torra originando compostos aromáticos.
Sacarose	6 – 9	Principal açúcar; carameliza na torra, contribuindo para o sabor e aroma.
Proteínas	10 – 13	Fornecem aminoácidos; participam das reações de Maillard, determinantes na cor e aroma.
Lipídios (óleos e gorduras)	10 – 15	Contribuem para corpo, sabor e formação da crema no café espresso.
Ácidos clorogênicos (polifenóis)	6 – 8	Antioxidantes; responsáveis por acidez e amargor característicos.
Cafeína	1 – 2,5	Estimulante natural; impacta no sabor amargo (Arábica ≈ 1,2%; Robusta ≈ 2,2%).
Minerais (cinzas totais)	3 – 5	Incluem K, Mg, Ca, Fe, P; importantes para o metabolismo humano.
Água (umidade no grão cru)	10 – 12	Mantém viabilidade fisiológica e conservação do grão.

Fonte: Adaptado de Farah (24), Clarke e Macrae (25), ICO (26) e Embrapa Café (27).

Borra de café especial como substrato

O aproveitamento de resíduos orgânicos como fertilizantes ou componentes de substratos constitui uma alternativa ambientalmente sustentável para a agricultura, possibilitando a reciclagem de nutrientes e a redução da disposição inadequada de resíduos sólidos (28). Nesse contexto, a borra de café surge como um subproduto de destaque, em razão do elevado volume gerado diariamente e de suas propriedades físico-químicas.

Estima-se que milhões de toneladas de borra de café sejam descartadas anualmente em escala mundial, tanto em ambientes domésticos quanto industriais, o que a caracteriza como um resíduo de difícil destinação e potencial poluidor (29). Quando depositada em aterros ou destinada à incineração, a borra contribui para a sobrecarga dos sistemas de tratamento de resíduos, além de representar desperdício de matéria orgânica com potencial reaproveitamento (30).

A borra de café especial apresenta composição diferenciada em relação à borra convencional, em virtude da qualidade dos grãos utilizados e dos processos de torrefação empregados. A literatura aponta que essa variação pode influenciar significativamente o perfil nutricional do resíduo, incluindo teores de carbono, nitrogênio, fósforo e potássio, bem como a presença de compostos fenólicos (31). Esses elementos estão diretamente associados às suas propriedades agronômicas, especialmente na produção de mudas e na melhoria da qualidade do solo.

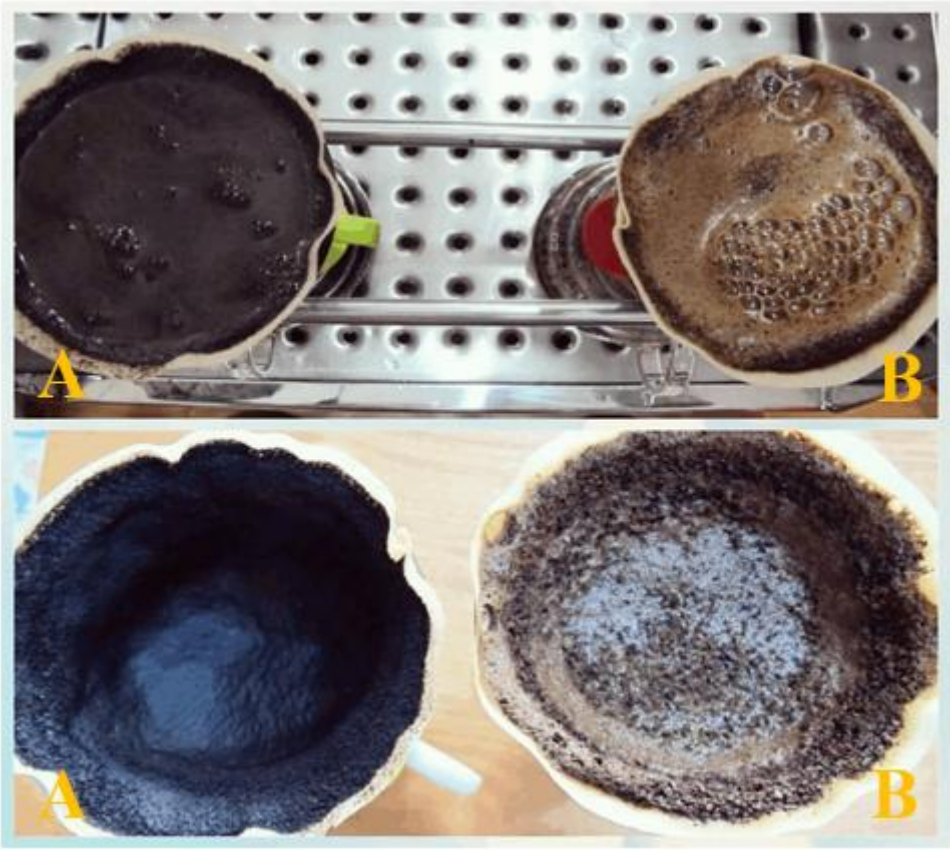
Contudo, o uso direto da borra, seja ela especial ou comum, requer cautela. Em concentrações elevadas, podem ser observados efeitos fitotóxicos, atribuídos à presença de compostos fenólicos e à possível alteração da relação carbono/nitrogênio (32). Estudos demonstram que a aplicação da borra em proporções moderadas (até 10–15% em mistura

com substratos comerciais) pode promover benefícios, enquanto níveis superiores tendem a reduzir a germinação e o crescimento inicial das plântulas (33).

Dessa forma, a compostagem prévia é indicada como prática recomendada para mitigar potenciais riscos e ampliar a eficiência agronômica do material. O processo de compostagem promove a degradação de compostos tóxicos, estabiliza a matéria orgânica e otimiza a disponibilização de nutrientes (34). Além disso, possibilita a redução da salinidade e a adequação do pH, características determinantes para o desempenho do substrato.

Nesse sentido, a borra de café especial apresenta-se como recurso estratégico para o manejo sustentável de resíduos e para o desenvolvimento de sistemas agrícolas mais resilientes, desde que submetida a protocolos técnicos adequados de tratamento e aplicação.

Figura 2: Diferença entre café comum e café especial. A: Café Comum; B: Café Especial. É possível observar uma diferença clara entre a borra de café comum e a borra de café especial, sendo essa distinção particularmente evidente na coloração dos resíduos.



Fonte: TOLEDO, S. C. P. (58)

O preparo da bebida café resulta na geração de um subproduto sólido denominado borra de café, caracterizado por elevado teor de matéria orgânica e por compostos químicos de interesse agronômico, como carboidratos, lipídeos, compostos fenólicos e minerais essenciais, a exemplo de potássio, fósforo, cálcio e magnésio (35,36). Essa composição confere à borra um potencial significativo para aplicação agrícola, seja como adubo orgânico, seja como componente de substratos para produção de mudas (37).

A reutilização da borra de café tem sido alvo de estudos em função de seu volume crescente e da necessidade de manejo sustentável dos resíduos agroindustriais. Estima-se que milhões de toneladas desse material sejam descartadas anualmente em aterros sanitários, onde podem contribuir para a geração de metano, um gás de efeito estufa (38). Nesse

contexto, a valorização desse resíduo está alinhada ao conceito de economia circular, possibilitando a redução do impacto ambiental associado à cadeia produtiva do café e a diminuição da dependência de substratos de origem não renovável, como a turfa (39).

Além da agricultura, a borra de café tem despertado interesse para aplicações nas indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética, bem como na produção de biocombustíveis e bioplásticos, dada sua riqueza em compostos bioativos (40). No entanto, quando utilizada como insumo agrícola, sua aplicação deve ser realizada em proporções adequadas, uma vez que concentrações elevadas podem apresentar efeitos fitotóxicos devido à presença de cafeína e fenóis (41).

No âmbito do cultivo agrícola, pesquisas têm demonstrado que a incorporação da borra de café em proporções moderadas (5 a 15%) ao substrato pode favorecer a germinação e o desenvolvimento inicial de diversas espécies, incluindo hortaliças de interesse econômico, ao mesmo tempo em que contribui para o manejo adequado de resíduos (42,43). A utilização da borra de café especial como substrato, portanto, justifica-se não apenas por sua contribuição agronômica, mas também pelo seu papel estratégico na sustentabilidade ambiental, oferecendo uma alternativa viável e de baixo custo para a agricultura moderna.

Tabela 2: Análise laboratorial da borra de café especial e comum pelo laboratório SoloCria, seguindo integralmente os protocolos descritos nos Capítulos 1, 2, 3 e 4 do Método (61).

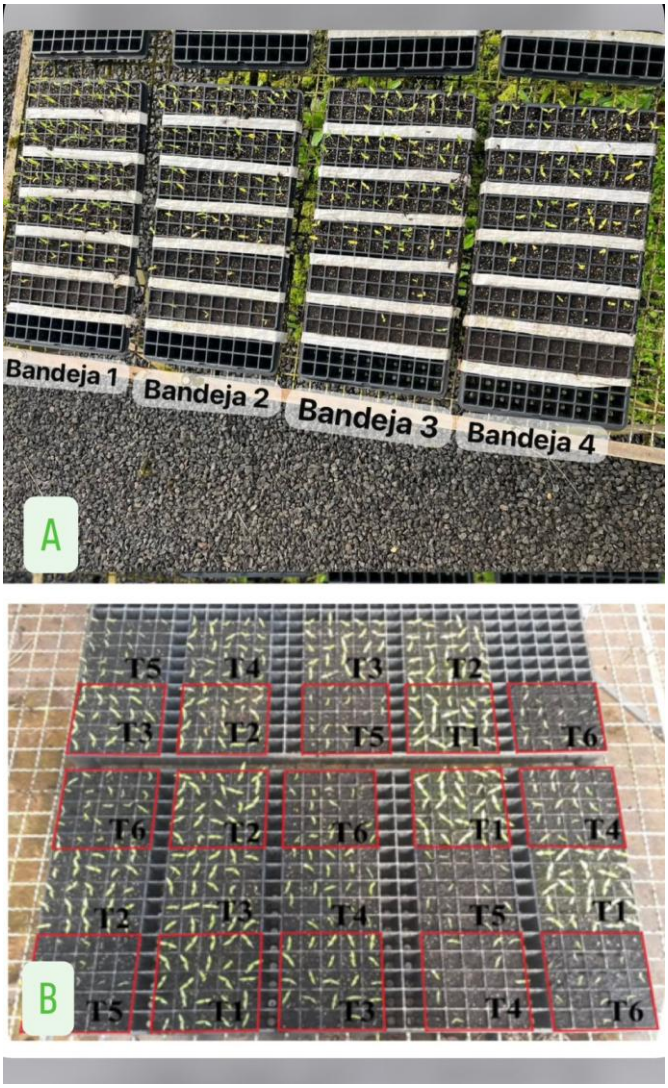
Tabela 2: Análise química da borra de café especial em comparação com a borra de café tradicional		
Nutrientes	Café Especial (%)	Café Comum (%)
P	0,3	0,96
N	2,26	1,62
K	0,5	0,53
Ca	0,21	0,08
Mg	0,18	0,13
S	0,11	0,05
Cu	0,002	0,4
Fe	0,002	0,01
Mn	0,003	0,02
Zn	0,002	0,01
B	0,001	-
pH	5,8	-
Umidade	31,4	-
Mat. Mineral	1,4	-
C. Eletrica (ms/cm)	0,9	-

Fonte: BATISTA, A. C. S. (60)

A borra de café especial possui uma composição nutricional mais rica, tornando-se potencialmente mais eficiente como insumo agrícola. A borra de café especial contém 2,26% de nitrogênio, enquanto a borra de café convencional apresenta 1,62% desse nutriente. O nitrogênio é crucial para o desenvolvimento vegetativo, promovendo maior crescimento

foliar e vigor dos caules, características fundamentais para a produtividade da cultura da berinjela (44).

Figura 3: A: Plântulas de berinjela com borra de café especial aos 30 dias de semeadura (DAS) com diferentes concentrações de borra de café: T1 (0%), T2 (5%), T3 (10%), T4 (20%), T5 (40%), T6 (50%). B: Plântulas de berinjela aos 30 dias após semeadura (DAS) com diferentes concentrações de borra de café: T1 (0%), T2 (5%), T3 (10%), T4 (20%), T5 (40%), T6 (50%).



Fonte: BATISTA, A. C. S. (60) e Peixoto (59)

No cultivo da berinjela, os nutrientes presentes em maior concentração na borra de café especial são determinantes para o desenvolvimento e a produtividade da cultura. O nitrogênio é fundamental para o crescimento vegetativo, contribuindo para a expansão foliar e para a robustez dos caules, fatores diretamente relacionados ao ciclo produtivo da espécie (45). O cálcio desempenha papel essencial na integridade estrutural das paredes celulares e na prevenção de distúrbios fisiológicos, como a necrose apical (46). O potássio, presente em níveis relevantes, atua na regulação osmótica e no aumento da resistência da planta, favorecendo a tolerância a estresses abióticos, como variações de temperatura e déficit hídrico (3,4).

Dessa forma, a utilização de diferentes tipos de borra de café como insumo agrícola deve considerar não apenas a concentração de nutrientes disponíveis, mas também as exigências nutricionais específicas da berinjela, com especial atenção ao equilíbrio entre nitrogênio, cálcio e potássio, a fim de assegurar um manejo eficiente, produtivo e ambientalmente sustentável (46).

A borra de café especial nas concentrações de 5 a 10 % apresentou efeitos benéficos no crescimento das mudas de berinjela semelhante ao substrato comercial (60). As concentrações menores exerceram influência positiva na germinação das plantas, no entanto, concentrações elevadas, acima de 40%, acarretaram uma redução na taxa de germinação da cultura (60).

A borra de café especial tem se mostrado um insumo agrícola promissor, sobretudo para a agricultura familiar, pois alia baixo custo à capacidade de fornecer nutrientes e matéria orgânica ao solo (47,48). Sua composição, rica em macronutrientes e compostos bioativos, permite o uso como componente de substratos, favorecendo a germinação e o crescimento inicial das hortaliças (49,50). Além de reduzir a dependência de insumos convencionais, sua incorporação melhora as propriedades físicas e químicas do substrato, como retenção de água, aeração e disponibilidade de nutrientes (51,52).
Nesse contexto, a utilização desse resíduo contribui para a sustentabilidade produtiva e integra-se ao conceito de economia circular, transformando um passivo ambiental em recurso agrícola de valor (53,54).

CONCLUSÕES

A berinjela é uma cultura de grande relevância socioeconômica e que a crescente produção e consumo de café no Brasil geram grandes volumes de resíduos, entre eles a borra. Diante disso, a utilização desse subproduto como insumo agrícola surge como alternativa sustentável, reduzindo impactos ambientais e fornecendo nutrientes importantes para o desenvolvimento de mudas. A literatura já indicava que baixas concentrações de borra de café tradicional poderiam favorecer a emergência e o vigor das plântulas, enquanto doses elevadas apresentam efeito contrário.

Os resultados deste trabalho confirmam essa tendência, mostrando que o tratamento com 10% de borra de café especial (T3) apresentou melhor desempenho, superando o controle, enquanto concentrações mais altas (50%) reduziram significativamente a emergência. Isso indica que, quando utilizada em doses adequadas, a borra de café especial pode ser incorporada com sucesso na produção de mudas de berinjela, associando eficiência agronômica com sustentabilidade ambiental.

AGRADECIMENTOS

Expresso minha sincera gratidão ao professor Rodrigo Vieira da Silva, orientador desta pesquisa, pela dedicação, apoio constante e valiosas contribuições acadêmicas, que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Manifesto também meu agradecimento ao Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos, pela oportunidade de formação e pelo ambiente de aprendizado que possibilitou minha evolução pessoal e profissional.

REFERÊNCIAS

1. FAOSTAT. **Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAOSTAT**. Production of eggplant, 2019. Disponível em: http://www.fao.org/faostat/.
2. CEAGESP / Boletins setoriais (dados de comercialização / concentrações por estado). *Boletim hortigranjeiro — Período 2020/2021*. Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo — CEAGESP, 2021. Disponível em: portal CEAGESP / boletins.
3. GONÇALVES, A. M.; LIMA, N. K. C.; BATISTA, C. R.; GONÇALVES, T. S. Efeito hipolipemiante do extrato seco de berinjela (*Solanum melongena L.*) em mulheres com dislipidemias sob acompanhamento nutricional. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 16, supl., p. 568–574, 2006. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbfar/i/2006.v16suppl0/.
4. MARTINEZ, H. E. P.; CLEMENTE, J. M.; LACERDA, J. S.; NEVES, Y. P.; PEDROSA, A. W. Nutrição mineral do cafeeiro e qualidade da bebida. Revista Ceres, v. 61, supl., p. 838-848, 2014. Periódicos UNEMAT
5. ANDRÉ ROSSETO, G.; MARSAGLIA DE OLIVEIRA, M.; MÁRCIA NIKOLAU KORRES, A.; SOUZA RIBEIRO, S.; ROGÉRIA BRINGHENTI, J. Compostagem em pequena escala utilizando borra de café como alternativa para valorização de resíduos sólidos orgânicos em instituições de ensino superior. Revista Científica E-Locução, v. 1, n. 17, 2020. Disponível em: https://periodicos.faex.edu.br/index.php/e-Locucao/article/view/247.
6. SOUZA, L. M. B. de; LOPES, G.; ARAÚJO, J. B. S.; FAVARATO, L. F.; GUARÇONI, R. G. Desempenho agronômico e avaliação econômica de composto orgânico que contém borra de café na adubação da cultura do milho. Incaper em Revista, Vitória, v. 13-14, p. 71-82, dez. 2023. Disponível em: http://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/handle/item/4504.
7. OLIVEIRA, Marisa; DONATO, Maria Vitória Lima Costa; SANTOS, Wallysson Wagner Vilela et al. Avaliação das características físico-químicas de borras de cafés especiais orgânicas e não orgânicas extraídas em filtro Koar. *International Journal of Agrarian Sciences – PDVAgro*, [S. l.], v. 3, n. 2, 2024. Disponível em: ijas-pdvagro.institutoidv.org

8. DESTINAÇÃO sustentável de borra de café com uso da compostagem. LINS, Eduardo Antonio Maia; AMARAL REIS, Lucijane Serafim Paiva do; MELO, Daniele de Castro Pessoa de et al. *Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales*, Recife-PE, v. 17, n. 1, p. 187-…, 2024. Disponível em: Revista Contribuições.
9. CARACTERIZAÇÃO físico-química e capacidade antioxidante de borras de café oriundas de torras clara e escura e estudo do aproveitamento em muffins. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2023. Disponível em: SBICafé.
10. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MORFOLÓGICA DE RESÍDUO DA INDÚSTRIA DO CAFÉ SOLÚVEL. *Galoá Proceedings – SLACA*, [S. l.], 2017. Disponível em:. Proceedings.Science.

11. FAOSTAT. **FAOSTAT Statistical Database**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021. Disponível em: http://www.fao.org/faostat/.
12. EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Berinjela: cultivo, manejo e produção**. Brasília: EMBRAPA Hortaliças, 2007.
13. BILIBIO, C. *et al.* Desempenho agronômico de cultivares de berinjela em condições tropicais. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 3, p. 349–354, 2010.
14. SOUZA, A. C. *et al.* Caracterização química da borra de café especial e seu potencial agronômico. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 27, p. 1-12, 2021.
15. MORAL, R. *et al.* Improving soil properties by the addition of coffee waste. **Bioresource Technology**, v. 96, p. 211–217, 2005.
16. OLIVEIRA, J. A.; SANTOS, F. R. Efeito da borra de café como condicionador de solo. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 13, n. 2, p. 45–56, 2019.
17. SILVA, M. J. *et al.* Dinâmica da compostagem da borra de café e efeitos no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, p. e0190021, 2020.
18. MARTINS, F. C.; SOUZA, R. E. Efeitos fitotóxicos da aplicação de borra de café no solo. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 14, n. 1, p. 1–10, 2020.
19. FERREIRA, L. S. *et al.* Compostagem de resíduos orgânicos com borra de café: avaliação de parâmetros de qualidade. **Ciência Rural**, v. 48, n. 2, p. 1–7, 2018.
20. HERMANN, M. Coffee grounds as a versatile material: from waste to high-value applications. **Journal of Cleaner Production**, v. 245, p. 118760, 2020.
21. LIMA, D. R. *et al.* Valorização da borra de café e sua aplicação na agricultura sustentável. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 16, n. 4, p. 413–421, 2021.
22. SILVA, T. P. Aproveitamento da borra de café: perspectivas na economia circular. **Revista Sustentare**, v. 5, n. 2, p. 55–67, 2023.
23. MUSSATTO, S. I. *et al.* Production, composition and application of coffee and its industrial residues. **Food and Bioprocess Technology**, v. 4, n. 5, p. 661–672, 2011.
24. • FARAH, A. **Café: produção, qualidade e industrialização**. 2. ed. Rio de Janeiro: Rubio, 2019.
25. • CLARKE, R. J.; MACRAE, R. **Coffee: chemistry**. London: Elsevier Applied Science, 1985.
26. • ICO – International Coffee Organization. **Coffee Market Report**. London: ICO, 2023. Disponível em: http://www.ico.org/.
27. • EMBRAPA CAFÉ. **Observatório do Café: dados da cafeicultura brasileira**. Brasília: Embrapa, 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/cafe.

28. • SILVA, R. F. *et al.* Utilização de resíduos orgânicos como fertilizantes na agricultura sustentável. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 10, n. 2, p. 45–56, 2015.
29. • MUSSATTO, S. I. *et al.* Production, composition and application of coffee and its industrial residues. **Food and Bioprocess Technology**, v. 4, n. 5, p. 661–672, 2011.
30. • MORAIS, E. R. *et al.* Impactos ambientais da destinação inadequada da borra de café. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 14, n. 1, p. 22–34, 2020.
31. • FARAH, A. **Café: produção, qualidade e industrialização**. 2. ed. Rio de Janeiro: Rubio, 2019.
32. • MORALES, M. M. *et al.* Phytotoxic effects of coffee residues in agricultural soils. **Journal of Environmental Management**, v. 215, p. 204–212, 2018.
33. • SOUZA, A. C.; MARTINS, F. C. Efeitos da borra de café na germinação e crescimento inicial de plântulas. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 23, n. 3, p. 55–63, 2017.
34. • FERREIRA, L. S. *et al.* Compostagem de resíduos orgânicos: benefícios agronômicos e ambientais. **Ciência Rural**, v. 46, n. 5, p. 876–883, 2016.
35. • MUSSATTO, S. I. *et al.* Production, composition and application of coffee and its industrial residues. **Food and Bioprocess Technology**, v. 4, n. 5, p. 661–672, 2011.
36. • CAMPOS-VARGAS, R. *et al.* Chemical characterization and potential uses of spent coffee grounds in agriculture. **Waste Management**, v. 101, p. 161–170, 2020.
37. • FARAH, A. **Café: produção, qualidade e industrialização**. 2. ed. Rio de Janeiro: Rubio, 2019.
38. • KIM, S. *et al.* Environmental impact of coffee waste disposal and valorization strategies. **Journal of Cleaner Production**, v. 153, p. 401–410, 2017.
39. • FERREIRA, L. S. *et al.* Compostagem de resíduos orgânicos: benefícios agronômicos e ambientais. **Ciência Rural**, v. 46, n. 5, p. 876–883, 2016.
40. • MUSSATTO, S. I.; MACHADO, E. M. S. Exploitation of coffee industry residues. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 52, n. 7, p. 561–572, 2012.
41. • MORALES, M. M. *et al.* Phytotoxic effects of coffee residues in agricultural soils. **Journal of Environmental Management**, v. 215, p. 204–212, 2018.
42. • SOUZA, A. C.; MARTINS, F. C. Efeitos da borra de café na germinação e crescimento inicial de plântulas. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 23, n. 3, p. 55–63, 2017.
43. • MORAIS, E. R. *et al.* Impactos ambientais da destinação inadequada da borra de café. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 14, n. 1, p. 22–34, 2020.
44. OLIVEIRA, A. P. *et al.* Efeito de doses de nitrogênio no desenvolvimento e produção de berinjela. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n. 2, p. 222–227, 2009.
45. • OLIVEIRA, A. P. *et al.* Efeito de doses de nitrogênio no desenvolvimento e produção de berinjela. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n. 2, p. 222–227, 2009.
46. • SILVA, J. A. *et al.* Efeito do cálcio sobre o crescimento e a qualidade de frutos de berinjela. **Revista Ceres**, v. 60, n. 4, p. 508–514, 2013.
47. • TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
48. • FAQUIN, V. Nutrição mineral de plantas. Lavras: UFLA, 2005.
49. • SOUZA, J. R.; MARTINS, A. P. Uso de resíduos orgânicos no cultivo de hortaliças. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 12, n. 2, p. 215–224, 2017.
50. • LIMA, L. F.; SOUZA, J. R.; MARTINS, A. P. Uso de resíduos orgânicos na agricultura familiar: alternativas sustentáveis para produção de hortaliças. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 15, n. 3, p. 112–121, 2020.

51. • MUSSATTO, S. I. *et al.* Production, composition and application of coffee and its industrial residues. **Food and Bioprocess Technology**, v. 4, p. 661–672, 2011.
52. • FARAH, A. *Coffee: Production, Quality and Chemistry*. London: Royal Society of Chemistry, 2019.
53. • SOUZA, D. A.; OLIVEIRA, L. A. Compostos bioativos em resíduos de café e seu potencial agrícola. **Ciência Rural**, v. 51, n. 2, p. 1–9, 2021.
54. • EMBRAPA. Aproveitamento de resíduos agroindustriais para a agricultura familiar. Brasília: Embrapa, 2018.
55. • KÄMPF, A. N. Produção comercial de plantas ornamentais. 2. ed. Guaíba: Agrolivros, 2005.
56. • FERNANDES, C.; CORÁ, J. E.; BRAZ, L. T. Substratos alternativos ao uso de turfa na horticultura. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 2, p. 197–202, 2006.
57. • HERMANN, A. S. Economia circular e o aproveitamento de resíduos de café: perspectivas para a agricultura sustentável. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 15, n. 1, p. 73–81, 2020.
58. TOLEDO, S. C. P. BORRA DE CAFÉ ESPECIAL COMO SUBSTRATO PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS DE QUIABEIRO (Abelmoschus esculentus). 2025. 40 p. Trabalho conclusão de Curso (Bacharel em Agronomia) – Morrinhos – GO, 2025.
59. PEIXOTO, F. R.; SILVA, Germinação e desenvolvimento inicial de giboma (Solanum macrocarpon L.): Influência de concentração de borra de café (Coffea spp.), Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica, Programa Institucional de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, Morrinhos, GO, 2017.
60. BATISTA, A. C. S. BENEFÍCIOS DA BORRA DE CAFÉ ESPECIAL NO SUBSTRATO NA GERMINAÇÃO E DESENVOLVIMENTO INICIAL DA BERINJELA BORRA DE CAFÉ ESPECIAL (Solanum Melo gema L.). 2025. 40 p. Trabalho conclusão de Curso (Bacharel em Agronomia) – Morrinhos – GO, 2025.
61. MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, Café. Disponível em:< http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/cafe>, 2019.
62. INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. **Coffee market report – 2023**. Londres: ICO, 2023. Disponível em: https://www.ico.org/.
63. [2] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FAOSTAT: Crops and livestock products**. Roma: FAO, 2022. Disponível em: https://www.fao.org/faostat/.
64. [3] EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Café no Brasil: produção e pesquisas**. Brasília: EMBRAPA, 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/cafe.
65. [4] FARAH, Adriana. **Coffee: production, quality and chemistry**. Londres: Royal Society of Chemistry, 2019.
66. [5] MURPHY, Neil; CHATZIDAKIS, Christos; GONZÁLEZ, Carlos A. et al. Coffee consumption and health: umbrella review of meta-analyses of multiple health outcomes. *European Journal of Epidemiology*, v. 35, p. 1107–1129, 2020.

Capítulo 49

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-49

O USO DE NITRATO NA SUPLEMENTAÇÃO ESPORTIVA: UMA REVISÃO

Maria Fernanda Chiquetti Gondim Peixoto; Miguel Gabriel Florindo Rodrigues ; Vania Silva Carvalho ; Suzane Martins Ferreira

** Maria Fernanda Chiquetti Gondim Peixoto (Corresponding author) – Email: maria.chiquetti@estudante.ifgoiano.edu.br*

Resumo: O nitrato inorgânico (NO_3^-), encontrado em vegetais como beterraba, espinafre, agrião, rúcula e alface, vem sendo amplamente estudado como suplemento ergogênico devido à sua conversão em óxido nítrico (NO). Esse processo promove vasodilatação, aumento do fluxo sanguíneo, melhora na oxigenação muscular, maior captação de glicose e modulação imunológica, além de estimular a biogênese mitocondrial. Tais efeitos favorecem a resistência cardiorrespiratória, a eficiência metabólica e a recuperação pós-exercício. Suplementos alimentares podem representar uma forma mais conveniente e precisa de suprir as necessidades de nitrato. Teores acima de 250mg em 100g de alimentos são encontrados em alface, agrião, espinafre, rúcula e beterraba. Diversos produtos esportivos já incorporam o nitrato em sua formulação, como sucos concentrados, bebidas isotônicas, géis energéticos, barras e suplementos em pó, que aliam praticidade, biodisponibilidade e inovação tecnológica. Estudos mostraram melhorias no treinamento aeróbico, treinamento de resistência e treinamento de força, além de reduzir a sensação de fadiga, com suplementação de 300 a 500 mg/dia de nitrato. Entre os benefícios relatados destacam-se melhora do desempenho em exercícios de resistência, redução da fadiga, aumento da eficiência muscular e potencial contribuição para a saúde vascular. A eficácia do nitrato pode depender de fatores como o tipo de indivíduo, incluindo idade, dieta, e estado de saúde e forma física, a intensidade, duração e natureza do desafio físico. Esta revisão evidencia que a suplementação com nitrato representa uma estratégia nutricional promissora tanto para atletas profissionais quanto para iniciantes, sendo essencial o avanço em pesquisas que definam doses adequadas, e desenvolvimento de novos produtos.

Palavras–chave: desempenho esportivo, desenvolvimento de novos produtos; suplementos alimentares; recuperação muscular.

INTRODUÇÃO

O nitrato inorgânico (NO_3^-), uma substância utilizada como suplementação ergogênica quando relacionada a tratamentos terapêuticos, sendo um sinalizador fisiológico multifuncional, essencial para a função da saúde e vascular. Nosso corpo quando submetido a um estímulo tende a sair do seu estado homeostático, e o componente químico presente na beterraba e em outros vegetais e hortaliças como espinafre, alface, o nitrato, será o responsável por ativar um efetivar vasodilatação, devido a conversão do nitrato em óxido nítrico (1, 2, 3).

A produção do nitrato inorgânico é representada pela síntese de óxido nítrico derivada da oxidação de arginina, apresenta funções hemodinâmicas e metabólicas significativas. Estudos posteriores demonstram que o nitrato inorgânico atua como um imunomodulador e estimula a expressão gênica e a biogênese mitocondrial, atuando também como um importante vasodilatador que eleva o fluxo sanguíneo, impulsiona o transporte de oxigênio e melhora a captação de glicose nos músculos. O (NO_3^-) promove melhora do processo de relaxamento e contração muscular. Devido aos diversos efeitos positivos do (NO_3^-) no organismo humano, esse suplemento é proposto como parte da abordagem terapêutica em atletas, de modo a melhorar o desempenho do exercício físico no que diz respeito à resistência cardiorrespiratória, função muscular e melhora do metabolismo aeróbio (3, 4).

Os suplementos alimentares incluem proteínas, aminoácidos, vitaminas, minerais e compostos ergogênicos, sendo enriquecidos com aditivos alimentares para melhorar características como sabor, estabilidade e absorção (5, 6, 7).

Em contrapartida, com as recentes mudanças nos conceitos de saúde pública a busca por uma vida de alto padrão, esportes competitivos profissionais passaram a ser esportes públicos, muitas vezes vistos como *hobby*. No entanto, o exercício pode ser uma atividade fisicamente desgastante na qual o corpo experimenta fadiga podendo facilmente entrar em um estado de perda de nutrientes, o que pode causar danos ao corpo a longo prazo e momentâneo como dor de cabeça por desidratação (6, 7).

As fontes alimentares de nitrato são categorizadas segundo o teor de nitrato por 100 g de alimento. Embora a quantidade de nitrato seja avaliada em mg, os estudos utilizam doses em mmol. A conversão utiliza uma constante, sendo 0,1 mmol para cada 6,4 mg (8). O efeito do nitrato é observado principalmente em indivíduos com menor nível de treinamento quando administrado de forma aguda ou crônica na faixa de aproximadamente 5 a 16,8 mmol (cerca de 300 a 1041 mg de NO_3^-), entre 2 e 3 horas antes do exercício, especialmente em atividades com duração de cerca de 10 a 17 minutos. Em indivíduos com alto nível de treinamento ($VO_{2máx}$ > 65 mL/kg/min), esse efeito é menos evidente, mas pode ser relevante em situações de competição. Recomenda-se que atletas evitem o uso de enxaguante bucal quando buscarem os efeitos da suplementação com nitrato. O (NO_3^-) está presente em alguns vegetais, entretanto, devido a variáveis envolvidas, não é possível realizar recomendações precisas para atender a essas necessidades apenas pela dieta (10).

Dado o potencial de contaminação dos suplementos, faria sentido explorar como as necessidades dietéticas de (NO_3^-) podem ser atendidas por meio de fontes alimentares. Atualmente, pode-se especular que essa quantidade seja aproximadamente 250–500 g de vegetais folhosos e raízes por dia (8, 9, 10).

Suplementos alimentares podem representar uma forma mais conveniente e precisa de suprir as necessidades de nitrato; no entanto, a possível contaminação dos suplementos e o orçamento do atleta devem ser considerados. Pesquisas futuras devem focar nos potenciais efeitos benéficos do (NO_3^-) no cérebro, especialmente em relação a situações específicas do esporte, e na eficácia em treinamento de força e intervalado de alta intensidade (8).

O nitrato é um precursor do óxido nítrico, que é responsável por regular o fluxo sanguíneo, a contração muscular e a respiração celular. A partir disso, a melhora do desempenho e da capacidade física resulta do desenvolvimento do VO_2 máximo (10,11), da vasodilatação e da entrega de nutrientes ao músculo, além de reduzir o acúmulo de metabólitos de fadiga, como o lactato, e estimular a biogênese mitocondrial no músculo esquelético. Estudos mostraram melhorias no treinamento aeróbico, treinamento de resistência e treinamento de força, além de reduzir a sensação de fadiga, através da suplementação crônica de 300 a 500 mg/dia de nitrato. Além disso, provou ser eficaz na

redução dos riscos cardiovasculares em pacientes com Diabetes Mellitus II (11). Com isso, a suplementação esportiva tem ganhado popularidade, especialmente entre atletas e praticantes de atividades físicas que buscam otimizar desempenho, recuperação e composição corporal e parece representar uma nova abordagem promissora para melhorar aspectos da resposta fisiológica ao exercício, como a eficiência muscular e a oxigenação, o que pode aumentar o desempenho. No entanto, a pesquisa ainda está em estágio inicial e as condições precisas em que o nitrato pode ser ergogênico ainda precisam ser estabelecidas. Por exemplo, a eficácia do nitrato pode depender de fatores como o tipo de indivíduo, incluindo idade, dieta, e estado de saúde e forma física; a intensidade, duração e natureza do desafio físico (8, 9). Além do seu teor total, alimentos com fonte de nitrato inorgânico devem ser escolhidos conforme sua biodisponibilidade (9).

1.1 Fontes de Nitrato e Matérias-Primas

1.1.1 Beterraba

O consumo da beterraba é benéfico, pois indica alto teor de nitratos que, quando ingeridos, são capazes de se converter em óxido e atua como vasodilatador, dilatando os vasos sanguíneos e melhorando o fluxo sanguíneo, proporcionando ao corpo a regulação da pressão arterial, a entrega de nutrientes e oxigênio para as células, além de auxiliar na eliminação de resíduos metabólicos. Quando agem em sinergia, esses efeitos desempenham um papel fundamental na melhora das atividades corporais e no desempenho esportivo (5).

O suco da beterraba, tendo o nitrato sendo o principal componente da beterraba envolvido no processo, quando convertido em óxido nítrico, obtém a capacidade de aumentar o fluxo sanguíneo, decorrente do recurso vasodilatador, e consequentemente corrobora em uma melhora na oxigenação tecidual, atendendo a necessidade dos músculos ativos. No entanto, se faz necessário dar continuidade em pesquisas e estudos quanto à suplementação com suco de beterraba rico em (NO_3^-), visto que os artigos apresentam-se enriquecedores quanto ao protocolo de aplicação, porém não trazem de maneira concreta as quantidades necessárias e específicas para que haja uma eficácia determinante em indivíduos treinados, assim como, não há uma padronização dos testes em cicloergômetro, considerando que cada indivíduo e cada pesquisa apresentam sua particularidade, e que cada organismo tende a responder de uma maneira diferente ao estímulo (1).

1.1.2 Agrião

Sendo uma hortaliça folhosa da família *Brassicaceae*, o agrião é frequentemente negligenciado devido ao seu sabor marcante e amargo, entretanto apresenta, além de saudável, ser rico em nutrientes capazes de nos beneficiar quando em consumo. Esta combinação oferece um efeito sinérgico, combatendo o estresse oxidativo induzido pelo exercício intenso, fornecendo ao corpo uma redução na fadiga muscular, proteção celular, melhora na performance e recuperação, além de benefícios gerais para a saúde (5,12).

Assim como o agrião, outro membro da família *Brassicaceae*, a rúcula se destaca pelo seu sabor peculiar picante e sua alta densidade nutricional, incluindo um índice elevado de nitrato (13). Seu cultivo rápido contribui para este acúmulo, sendo uma folhagem rica em compostos bioativos. Embora seja semelhante ao agrião, a rúcula se diferencia pelo seu índice de nitrato mais elevado, acima de 250mg em 100g de alimento fresco (8). Além disso, a rúcula também é rica em vitamina C, carotenoides e compostos fenólicos; tem boa capacidade antioxidante, mas menos concentrada que o agrião (12,15).

1.1.3 Alface

Se destacando dos demais, a alface é uma hortaliça folhosa que possui variabilidade no seu nível de nitrato de acordo com suas condições de cultivo, onde alfaces de folhas soltas e escuras, como romana e a crespa, tendem a acumular muito mais nitrato do que as alfaces de folhas claras e compactas, como a americana (*iceberg*). Isto ocorre porque a luz solar ajuda a metabolizar o nitrato na planta (13). Van Velzen *et al*. (14) compararam a biodisponibilidade entre nitrato de sódio, espinafre, alface e beterraba e concluíram que a alface possuiu o dobro de biodisponibilidade que o espinafre, além de todos os alimentos serem superiores ao nitrato de sódio. Hord *et al*. (9) encontraram teores elevados, acima de 250mg em folhosos como alface, agrião, espinafre e rúcula.

Sua principal contribuição se dá na dieta, fornecendo nitratos de forma constante que promovem melhora na oxigenação celular, redução no custo de oxigênio, aumento na força muscular e recuperação pós-treino (5).

1.2 Tendência e inovação no desenvolvimento de novos produtos de suplementação para os atletas

Nas últimas décadas, a nutrição esportiva evoluiu significativamente, impulsionada por avanços tecnológicos, maior entendimento das necessidades metabólicas dos atletas e pela crescente demanda por alimentos funcionais que otimizem o desempenho físico, e também cada vez mais com rótulos limpos "*clean label*". Entre os produtos mais consumidos nesse contexto estão as barras energéticas, os géis de carboidrato e as bebidas isotônicas, que têm passado por constantes inovações em formulação, funcionalidade e conveniência (17,18).

1.2.1 Barras Energéticas

As barras energéticas são amplamente utilizadas como fonte prática de energia e nutrientes durante treinos e competições. As inovações atuais têm focado na personalização nutricional, utilizando ingredientes funcionais como proteínas vegetais, fibras prebióticas, antioxidantes naturais (como extrato de açaí, chá verde e cúrcuma), além da eliminação de aditivos artificiais. Também há uma tendência crescente para o uso de ingredientes orgânicos, sem glúten e com baixo índice glicêmico, visando atender tanto atletas de elite quanto o público geral preocupado com a saúde (19).

Além disso, *startups* e grandes marcas têm investido no desenvolvimento de barras energéticas com tecnologia de liberação prolongada de energia, utilizando matrizes alimentares que liberam os carboidratos de forma mais lenta, contribuindo para maior resistência durante atividades físicas prolongadas (20), sendo a incorporação de ingrediente com fontes de nitrato em sua composição uma opção para desenvolvimento de novos produtos.

1.2.2 Géis de Carboidrato

A suplementação com carboidratos pode ser realizada de diferentes formas físicas, líquidas como bebidas esportivas (*sport drinks*), semissólido como géis e sólidos como barras de cereais ou as balas energéticas (*jelly beans*) (21, 22). Dentre as formas de carboidrato disponíveis, as bebidas apresentam um esvaziamento gástrico mais rápido, seguido dos géis e das barras. Quando necessita-se de disponibilização de energia rápida

utiliza-se as bebidas, em uma concentração de 6 a 8%, já quando precisa de uma liberação e absorção de carboidrato gradual utiliza-se os géis e barras. O desenvolvimento de géis de carboidrato com fórmulas híbridas que combinam diferentes tipos de carboidratos e proteínas, visando a otimização da ressíntese de glicogênio muscular e a melhora da recuperação pós-exercício (23).

Verma *et al*. (24) destacam a elaboração de géis com combinação de proteínas vegetais e carboidratos que promovem benefícios funcionais adicionais, indo além do fornecimento energético imediato. Paralelamente, a preocupação com a composição real dos produtos tem aumentado, como evidenciado por análises recentes que apontam variações significativas na qualidade e composição nutricional dos géis comercializados (26).

Géis com eletrólitos incorporados, que auxiliam na hidratação e evitam a fadiga muscular. A aplicação de texturas inovadoras, sabores naturais e embalagens biodegradáveis também são tendências que visam melhorar a experiência de consumo e a sustentabilidade ambiental (25).

Têm sido comercializados linha de géis com BT nitrato como fonte da beterraba, de diversos sabores (*blueberry*, *pink limonade*, frutas tropicais, entre outros), como função pré e intra-treino, melhorando o desempenho e recuperação muscular. O BT Nitrato Gel Dobro é um suplemento energético de alta performance, ideal para atletas que buscam melhorar seu desempenho. Ele contém 400mg de nitrato de beterraba, que ajuda a aumentar a produção de óxido nítrico, promovendo vasodilatação e melhorando a circulação sanguínea, além de aumentar a resistência muscular durante exercícios prolongados. O gel é vegano, sem glúten e possui uma textura leve, tornando-o fácil de consumir, mesmo em treinos intensos. É recomendado consumir 1h antes ou a cada 45 minutos, conforme a necessidade de carboidratos e a intensidade do treino (26). Não tem sido comercializado no mercado brasileiro outros géis de carboidrato com outras fontes de nitrato, além da beterraba, sendo uma oportunidade para desenvolvimento de novos produtos.

1.2.3 Bebidas Isotônicas

As bebidas isotônicas, tradicionalmente compostas por água, eletrólitos e carboidratos simples, têm sido reformuladas para atender a uma nova demanda por produtos mais naturais e menos industrializados. As tendências atuais incluem a substituição de corantes e aromatizantes artificiais por ingredientes naturais, como extratos de frutas e vegetais, além da redução do teor de açúcar (27).

Outro avanço importante está na personalização de bebidas isotônicas com base em testes de suor e perfil metabólico individual. A tecnologia já permite a criação de soluções hidratantes adaptadas ao perfil de perda de sódio e potássio do atleta, promovendo uma reposição mais eficaz. Além disso, há um crescimento na pesquisa e comercialização de bebidas isotônicas com compostos bioativos, como aminoácidos de cadeia ramificada (BCAA), antioxidantes e extratos de plantas, que podem contribuir para a recuperação muscular e redução da inflamação pós-exercício (28). A comercialização desse tipo de bebida para suplementação esportiva com adição de nitrato é promissora no mercado brasileiro.

CONCLUSÕES

O nitrato apresenta-se como um suplemento nutricional promissor, no desenvolvimento de novos produtos, capaz de potencializar o desempenho físico por meio

de sua conversão em óxido nítrico, mecanismo associado à vasodilatação, ao aumento da eficiência muscular e à atenuação da fadiga. Contudo, ainda se faz necessária a realização de estudos adicionais que aprofundem a compreensão dos efeitos do nitrato em diferentes tipos de suplementação e estabeleçam dosagens específicas e individualizadas, assegurando eficácia em sua utilização. A suplementação com nitrato representa uma estratégia nutricional promissora tanto para atletas profissionais quanto para iniciantes, sendo essencial o avanço em pesquisas que definam doses adequadas, e diversificação de produtos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem: Ao Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos pela parceria e apoio.

REFERÊNCIAS

1.Caixeta IVP, et al. Efeito ergogênico da suplementação do suco de beterraba no exercício físico. Res Soc Dev. 2022;11(9):e4711931724. doi: 10.33448/rsd-v11i9.31724.

2. Domínguez, R., Garnacho-Castaño, M. V., Cuenca, E., García-Fernández, P., Muñoz-González, A., de Jesús, F., Lozano-Estevan, M., Fernandes da Silva, S., Veiga-Herreros, P., & Maté-Muñoz, J. L. (2017). Effects of Beetroot Juice Supplementation on a 30-s High-Intensity Inertial Cycle Ergometer Test. Nutrients, 9(12), 1360. https://doi.org/10.3390/nu9121360

3. Jędrzejko M, Jędrzejko K, Gómez-Renaud VM, Kała K, Muszyńska B. Exploring the impact of alternative sources of dietary nitrate supplementation on exercise performance. Int J Mol Sci. 2024;25(7):3650. doi:10.3390/ijms25073650. Available from: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11012081/

4. Woessner, M. N., VanBruggen, M. D., Pieper, C. F., Sloane, R., Kraus,W. E., Gow, A. J., & Allen, J. D. (2018). Beet the best? Dietaryinorganic nitrate to augment exercise training in lower extrem-ity peripheral artery disease with intermittent claudication Circulation Research, 123, 654– 659. https://doi.org/10.1161/CIRCR ESAHA.118.313131Wylie, L. J., Park, J. W., Vanhatalo, A., Kadach, S., Black, M. I.,

5. Jones AM, et al. Dietary nitrate and exercise performance: potential ergogenic effects. Annu Rev Nutr. 2022;42:129-149.

6. Singh R, Rathod G, Meletharayil GH, Kapoor R, Sankarlal VM, Amamcharla JK. Invited review: Shelf-stable dairy protein beverages—scientific and technological aspects. J Dairy Sci. 2022;105:9327–9346.

7. Montera VSP, Martins APB, Borges CA, Canella DS. Distribution and patterns of use of food additives in foods and beverages available in Brazilian supermarkets. F Func. 2021;12 :7699–7708.

8. Loureiro LL, Santos GB. Nitrato: suplementação, fontes dietéticas e efeitos na performance. Rev. Bras. Nutr. Funct. 2017;17(71):7–16.

9. Hord, NG, Tang, Y, Bryan, NS. Food sources of nitrates and nitrites: the physiologic context for potential health benefits. Am J Clin Nutr. 2009; 90 (1): 1-10.

10. Macuh, M.; Knap, B. Effects of Nitrate Supplementation on Exercise Performance in Humans: A Narrative Review. Nutrients 2021, 13, 3183. https://doi.org/10.3390/nu13093183

11. Juncal JF, et al. Relationship between nitrate supplementation and sports perfomance: ant integrative review**.** Int. J. Health Sci. 2023;3(101):1–6. doi:10.22533/at.ed.15931012308129

12. Kapoor D, et al. Phytochemical and pharmacological potential of watercress (Nasturtium officinale): A comprehensive review. S Afr J Bot. 2021;141:360-371.

13. Bell L, et al. The impact of cultivation practices on nitrate accumulation in leafy vegetables. Food Chem. 2022;372:131-219.

14. Van Velzen, AG, Sips, AJ, Schorthorst, RC, Lambers, AC. The oral bioavailability of nitrate from nitrate-rich vegetables in humans. Toxicol Lett. 2008; 181 (3): 177-81.

15. Iamarinno M. et al. Nitrates in fresh vegetables: a case study in the province of Bari (southern Italy). Italian Journal of Food Safety, v. 9, n. 2, 2020.

16. Martínez-Sánchez A, et al. Nutritional and phytochemical composition of rocket (Eruca sativa Mill.) leaves: Comparing the potential of different varieties. J Sci Food Agric. 2021;101(5):1991-1999.

17.Cui P, et al. Advances in sports food: Sports nutrition, food manufacture, opportunities and challenges. Food Res Int . 2022;157: p.1-14.

18. Aschemann-Witzel J et al. Consumers' categorization of food ingredients: Do consumers perceive them as 'clean label' producers expect? An exploration with projective mapping Food Quality and Preference Volume 71, January 2019, Pages 117-128.

19. Martins ACF, Souza DR, Pereira MM, et al. Alimentos funcionais para atletas: análise de mercado e perspectivas futuras. Rev. Nutr. Func. Esport. 2021;13(1):41-50.

20. Santos BR, Lima JP. Tecnologia de alimentos aplicadas à formulação de barras energéticas para atletas. Rev. Alim. Tecnol. 2020;23(4):62-70.

21. Pereira LG, Amorim PRS, Lopes PRNR, Alfenas RCG, Marins JBC. Diferentes formas de suplementos de carboidrato durante o exercício: impactos metabólicos e no desempenho. Motricidade. 2012; 8 (2):167-76. 44.

22. Campbell C, Prince D, Braun M, Applegate E, Casazza GA. Carbohydrate-supplement form and exercise performance. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2008;18(2):179-90.

23. Fontan JS, Amadio MB. O uso do carboidrato antes da atividade física como recurso ergogênico: Revisão Sistemática. Rev Bras Med Esporte. 2015, 21(2).

24. Martinez IG, Houghton MJ, Forte M, Williamson G, Biesiekierski JR, Costa RJS. Development of a low-fructose carbohydrate gel for exercise application. Heliyon. 2024;10(13):e33497. doi:10.1016/j.heliyon.2024.e33497

25. Costa RT, Silva LM, Oliveira FS, et al. Desenvolvimento e análise sensorial de gel energético com adição de eletrólitos e extrato natural de frutas cítricas. Rev. Bras. Nutr. Esport. 2022;16(97):899-906.

26. Dobro. Géis BT nitrato. www.soudobro.com.br Acesso em 15 set 2025.

27. Ferreira CH, Menezes PR. Inovações em bebidas isotônicas: tendências de mercado e formulações naturais. Rev. Cienc. Tecnol. Aliment. Func. 2023;9(2):55-63.

28. Burke LM et al. International Association of Athletics Federations Consensus Statement 2019 Nutrition For Athletics. J Sport Nutr Exerc Metab. 2019 Mar 1;29(2):73-84. doi: 10.1123/ijsnem.2019-0065. Epub 2019 Apr 5.

Capítulo 50

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-50

TRANSFORMAÇÃO DE SUBPRODUTO CERVEJEIRO EM FARINHA: PERSPECTIVA PARA A INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

Kenia Alves Pereira*; Alfredina dos Santos Araújo ; Yanara Gomes de Oliveira; Thalison Gustavo da Costa Antunes; Astrid Lopes Freire Leo; Amanda Araujo Rodrigues; Nayara Felix da Silva

*keniaalves.jpg@gmail.com

RESUMO

A indústria cervejeira gera grandes volumes de subprodutos, sendo o bagaço de malte seu principal subproduto. Este estudo teve como objetivo elaborar farinha a partir de resíduo cervejeiro tipo pilsen e caracterizá-la quanto à composição centesimal e propriedades tecnológicas. O subproduto foi coletado em uma cervejaria de Pombal-PB, lavado, submetido à secagem e posteriormente moído em moinho de facas. A farinha obtida apresentou umidade de 9,46%, dentro do limite estabelecido pela RDC nº 263/2005, assegurando estabilidade. O teor de proteínas (42,45%) foi classificado como elevado, o de fibras (14,07%) confirmou alto conteúdo, e os lipídeos (8,07%) mantiveram-se compatíveis com dados da literatura. A fração de cinzas (2,32%) indicou presença relevante de minerais, e os carboidratos (23,68%) reforçaram seu valor nutricional. Nas análises tecnológicas, a farinha apresentou densidade aparente de 0,54 g/cm³ e compactada de 0,64 g/cm³, com índice de Carr de 12,49% e fator de Hausner de 1,17, classificando-a como de fluidez muito boa e baixa coesão. A atividade de água (0,336) ficou abaixo do limite crítico para crescimento microbiano, corroborada pelas análises microbiológicas que não detectaram patógenos. A farinha exibiu molhabilidade de 0,25 g/min, solubilidade em água de 2,89% e absorção de água de 2,58 g/g, características que favorecem sua aplicação em formulações alimentícias. A análise granulométrica evidenciou predominância de partículas finas (<1,0 mm), garantindo textura homogênea. Conclui-se que a transformação do resíduo cervejeiro em farinha representa alternativa viável para o aproveitamento de subprodutos, agregando valor nutricional e tecnológico, além de contribuir para a sustentabilidade na indústria de alimentos.

Palavras-chaves: sustentabilidade; aproveitamento agroindustrial; propriedades tecnológicas

INTRODUÇÃO

A indústria de alimentos, ao priorizar a produção de produtos destinados ao consumo humano, inevitavelmente gera subprodutos sólidos oriundos de diferentes etapas de processamento, desde a colheita até a transformação da matéria-prima em produto (1).

Esses subprodutos, definidos como todo material que não se enquadra como matéria-prima ou produto acabado, representam um desafio significativo para o setor, sobretudo no que se refere à sua destinação adequada. Entretanto, cada vez mais se reconhece o potencial de aproveitamento desses subprodutos na formulação de novos alimentos, reduzindo o

descarte no meio ambiente, promovendo a sustentabilidade e agregando valor ao mercado (2).

Milhões de toneladas de subprodutos agroindustriais são geradas ao longo da cadeia produtiva, e esses subprodutos têm o potencial de causar diversos problemas ambientais. A composição desses resíduos pode variar dependendo do manejo do cultivar da matéria-prima e das técnicas utilizadas durante o processamento. Nos últimos 30 anos, o impacto ambiental decorrente dos resíduos agroindustrial tornou-se uma preocupação crescente entre ambientalistas, autoridades públicas, legisladores e a sociedade em geral (3).

Entre os diferentes subprodutos provenientes da agroindústria, o bagaço de malte (do inglês, *brewer's spent grain* – BSG) sobressai-se tanto pela grande quantidade produzida quanto pelo seu potencial de valorização e reutilização. Esse subproduto constitui o principal resíduo do processo cervejeiro, sendo originado durante a etapa de filtração do mosto, após a brassagem (4). No contexto brasileiro, estima-se que a produção anual de cerveja alcance aproximadamente 15 bilhões de litros, o que corresponde a cerca de 3 milhões de toneladas de bagaço de malte gerados a cada ano (5).

Embora tradicionalmente destinado a formas convencionais de disposição, o bagaço do malte apresenta elevado potencial nutricional e funcional. Sua composição caracteriza-se por teores expressivos de fibras alimentares, proteínas. Essa composição nutricional diversificada evidencia a viabilidade de sua valorização e reinserção como matéria-prima em diferentes processos industriais (6).

Diversos estudos têm demonstrado a viabilidade da utilização desses subprodutos na formulação de novos alimentos, que atendam não apenas às demandas nutricionais, mas também às exigências ambientais e mercadológicas. A transformação dos subprodutos em farinhas, por meio de processos de secagem e moagem, viabiliza sua aplicação e amplia a diversidade de alimentos funcionais disponíveis ao consumidor. Além de contribuir para a redução de impactos ambientais, essa prática fortalece o conceito de economia circular na indústria de alimentos, consolidando os resíduos agroindustriais como insumos estratégicos para inovação e sustentabilidade (7).

Agregar valor a esses subprodutos é uma estratégia importante para melhorar o desempenho econômico das indústrias e, simultaneamente, aprimorar o aspecto ambiental. (3).

MATÉRIAS E MÉTODOS

O subproduto cervejeiro do malte, em específico do tipo *pilsen*, foi obtido de uma cervejaria localizada no município de Pombal -Pb, sendo coletado e encaminhado ao laboratório CVT (Centro Vocacional Tecnológico) da Universidade Federal de Campina Grande – Pb, para posterior processamento.

Inicialmente, o material passou por lavagem com água mineral, com a finalidade de remover resíduos de leveduras e carboidratos remanescentes do processo fermentativo. Em seguida, foi submetido à secagem em estufa de circulação forçada de ar, mantida a 65 °C por 24 h, garantindo a redução da umidade e maior estabilidade do produto. Após a secagem, o resíduo foi triturado em moinho de facas, resultando na obtenção da farinha de resíduo cervejeiro (Figura 1), destinada às análises físico-químicas e tecnológicas.

Figura 1 - Resido úmido; Resíduo seco; Farinha do resíduo



Com a qualidade e o potencial de aplicação da farinha obtida a partir do subproduto cervejeiro, foram realizadas análises centesimais e tecnológicas.

Nas análises centesimais, determinaram-se pH, acidez titulável, umidade, cinzas, proteínas e lipídeos, conforme metodologias descritas por Adolf Lutz (8). O teor de fibra bruta foi quantificado de acordo com o método oficial da AOAC (9), com modificações propostas por Pontes Júnior (10).

As propriedades tecnológicas foram avaliadas considerando diferentes parâmetros. A granulometria foi determinada segundo Rodrigues *et al*. (11). por peneiramento e sedimentação utilizando agitador eletromagnético por tempo padronizado, permitindo a separação das partículas conforme o tamanho . A atividade de água (Aw) foi mensurada com o equipamento *Water Activity Analyzer* (METER, modelo AquaLab Pré), segundo Macêdo (12). A molhabilidade estática foi avaliada a partir da adaptação do método descrito por Freudig, Hogekamp e Schubert (13).

A densidade aparente foi determinada conforme Lins (14), enquanto a densidade compactada seguiu a metodologia de Goula, Adamopoulos e Kazakis (15), com adaptações. Com base nesses dados, foram calculados o fator de Hausner, segundo Aulton (16), e o índice de Carr (IC), conforme Wanczinski et al. (17). Além disso, determinaram-se o Índice de Solubilidade em Água (ISA) e o Índice de Absorção de Água (IAA), segundo metodologia de Anderson et al. (18), com adaptações.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados para os parâmetros da análise centesimal da farinha de resíduo cervejeiro estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 11 – Parâmetros das análises centesimal da farinha de subproduto cervejeiro

Parâmetros	**Resíduo cervejeiro**
Umidade (%)	9,46 ± 0,21
Cinzas (%)	2,32 ± 0,02
Proteínas (%)	42,45 ± 0,08
Lipídeos (%)	8,07 ± 0,46
Fibras (%)	14,07 ± 0,44
Carboidratos totais (%)	23,68 ± 0,50

A farinha de bagaço de malte apresentou resultados compatíveis com os parâmetros regulatórios e com valores previamente reportados na literatura, evidenciando seu potencial de aproveitamento como ingrediente alimentar.

O teor de umidade permaneceu abaixo do limite máximo estabelecido pela RDC nº 263/2005 (15,0%), apresentando valores semelhantes aos relatados por Siqueira (19) em resíduos de cervejaria do tipo pilsen, confirmando sua adequação para utilização alimentar. O conteúdo de cinzas (2,32%) foi comparável aos valores descritos por Carvalho *et al*, (20) e Costa *et al*. (21), refletindo a presença de sais minerais.

Em relação às proteínas, observou-se um valor expressivamente elevado (42,45%), superior ao mínimo estabelecido pela RDC nº 54/2012 para classificação de alto teor proteico (22), e superior também ao encontrado em diversos estudos anteriores. Esse aumento pode estar relacionado à adição de leveduras durante o processo de fermentação, as quais contribuem de forma significativa para o incremento do teor proteico do resíduo, conforme relatado por (23).

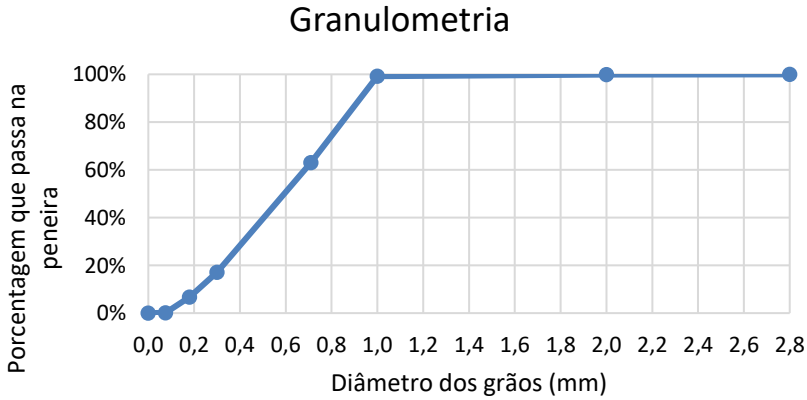
O teor de lipídeos (8,07%) manteve-se próximo aos valores relatados na literatura (entre 7,69% e 8,9%), valores encontrados por Stojceska e Ainsworth (24) e Cordeiro (25), indicando consistência entre os estudos. A fração de fibras bruta foi de 14,07%, classificada como alto teor de fibras segundo a RDC nº 54/2012, que define valores superiores a 6% como alto conteúdo. Esse resultado confirma a relevância nutricional do resíduo, especialmente pela capacidade de retenção de água e pelos benefícios associados à saúde.

Quanto aos carboidratos, foi identificado um valor de 23,68%, acima do limite definido pela RDC nº 54/2012 para alimentos de baixo teor. Ressalta-se que a composição centesimal pode variar em função de diversos fatores como a variedade da cevada, os cereais empregados, as condições de maltagem e o processo tecnológico da cervejaria (25).

As propriedades tecnológicas dos alimentos desempenham um papel fundamental, não apenas na determinação das características sensoriais dos produtos, mas também em sua manipulação durante as etapas de preparo, processamento e armazenamento. Essas propriedades estão intimamente relacionadas à capacidade de hidratação, sendo indicadores da aptidão de uma amostra para absorver e reter água, tamanho de partículas, influenciando diretamente a qualidade e a funcionalidade dos produtos alimentícios.

No gráfico 1, está representado o resultado obtido para a análise granulométrica da farinha obtida do resíduo cervejeiro.

Gráfico 1 - Análise granulométrica da farinha de subproduto cervejeiro



A análise granulométrica é um parâmetro essencial no processamento de materiais e no desenvolvimento de novos produtos alimentícios, por influenciar diretamente as

propriedades funcionais e o controle de qualidade (26, 27). O gráfico obtido ilustra a distribuição acumulada das partículas em relação ao diâmetro. À medida que o diâmetro dos grãos aumenta, observa-se uma elevação acentuada na curva, estabilizando-se quando aproximadamente 100% das partículas são retidas, evidenciando que a farinha de resíduo cervejeiro apresenta predominância de partículas pequenas, entre 0,2 mm e 1,0 mm, com ausência significativa de partículas maiores, indicando uma distribuição uniforme de partículas pequenas e favorável para aplicações que exigem textura fina e homogênea.

Partículas de menor diâmetro apresentam maior área superficial específica, o que intensifica sua solubilidade, reatividade e interação com outros constituintes alimentares, influenciando diretamente propriedades sensoriais, capacidade de retenção de umidade e habilidade de ligação (1, 28). A uniformidade da distribuição granulométrica também contribui para a estabilidade das formulações, reduzindo riscos de separação de fases ou sedimentação durante o processamento (29).

Adicionalmente, granulometrias mais finas favorecem etapas tecnológicas como mistura, emulsificação, congelamento e secagem, uma vez que proporcionam maior capacidade de hidratação e, consequentemente, melhor rendimento e funcionalidade tecnológica do produto (30, 31).

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para as propriedades tecnológicas da farinha derivada do resíduo cervejeiro.

Tabela 2 - Resultados das propriedades tecnológicas da farinha de subproduto cervejeiro

Parâmetros	**Farinha do resíduo cervejeiro**
Densidade aparente (g/cm^3)	0,54 ± 0,05
Densidade compactada (g/cm^3)	0,64 ± 0,02
Fator de Hausner	1,17 ± 0,06
Índice de Car (%)	12,49 ± 3,53
Atividade de água	0,336 ± 0,01
Molhabilidade (g.min^{-1})	0,25 ± 0,00
Indice de solubilidade em água (%)	2,89 ± 0,50
Indice de absorção de água (g/g matéria seca)	2,58 ± 0,22

A farinha obtida apresentou densidade aparente de 0,54 g/cm³, valor próximo ao descrito em outros estudos, como em Martins (32), evidenciando uma estrutura solta, com espaços vazios entre as partículas. Essa característica é relevante, pois favorece a retenção de água, influenciando diretamente a textura e a estabilidade dos alimentos. A densidade compactada, de 0,64 g/cm³, valor esse inferior ao observado por Leite (33), assim confirmando a boa capacidade de compactação da farinha, parâmetro importante para processos de armazenamento e manuseio industrial.

A farinha apresentou densidade aparente de 0,54 g/cm³, valor próximo ao relatado por Martins (32), evidenciando uma estrutura particulada mais solta, com espaços vazios entre as partículas. Essa característica é relevante, pois favorece a retenção de água, influenciando diretamente a textura e a estabilidade de alimentos formulados. A densidade compactada foi de 0,64 g/cm³, inferior ao valor observado por Leite (33), confirmando a boa capacidade de compactação da farinha, parâmetro de interesse para o armazenamento e manuseio em escala industrial.

A fluidez de pós é influenciada pelo tamanho e pela distribuição das partículas, bem como pela densidade e pelo teor de umidade. O índice de Carr obtido foi de 12,49%,

classificando a farinha como de fluidez muito boa, característica que facilita a homogeneidade em misturas e melhora a eficiência do processamento (34). De forma complementar, o Fator de Hausner, indicador de coesividade, apresentou valor inferior a 1,2, evidenciando baixa tendência à aglomeração e assegurando melhor desempenho tecnológico em formulações alimentícias.

De forma complementar, o Fator de Hausner, indicador de coesividade, apresentou valor inferior a 1,2, evidenciando baixa tendência à aglomeração e assegurando melhor desempenho tecnológico em formulações alimentícias.

A atividade de água (Aw) é considerada um parâmetro crítico para o desenvolvimento de microrganismos, sendo o limite mínimo de crescimento estabelecido em aproximadamente 0,60 (35). O valor obtido para a farinha foi inferior a 0,60, condição essencial para a estabilidade de produtos desidratados, pois indica reduzida disponibilidade de água livre, limitando tanto o crescimento microbiano quanto reações bioquímicas indesejáveis.

A molhabilidade refere-se à capacidade de um pó em absorver um líquido, influenciada por forças capilares, além do tempo necessário para que todas as partículas sejam completamente molhadas (14), onde o valor de 0,25 $g \cdot min^{-1}$, demonstrou uma capacidade moderada de absorção de líquidos, fator relevante para a manutenção da umidade e da palatabilidade em preparações alimentícias.

O índice de solubilidade em água (2,89%) apresentou-se inferior ao observado em outras farinhas, o que indica baixa solubilidade, mas reflete uma maior capacidade de retenção hídrica, característica desejável em formulações que demandam elevada hidratação durante o processamento. Por sua vez, o índice de absorção de água (IAA) apresentou valor intermediário em relação aos dados da literatura, confirmando uma boa capacidade de hidratação. Essa propriedade está diretamente relacionada ao alto teor de fibras da farinha de resíduo cervejeiro, favorecendo a maciez dos produtos e a manutenção da umidade ao longo do armazenamento, aspectos importantes para prolongar a qualidade tecnológica e sensorial dos alimentos.

CONCLUSÃO

A produção de farinha a partir do subproduto cervejeiro de malte revelou-se uma alternativa tecnicamente viável e ambientalmente sustentável, permitindo o aproveitamento de um subproduto de elevada geração na indústria cervejeira. Os resultados obtidos demonstraram que a farinha apresenta baixo teor de umidade, associado a elevado conteúdo de proteínas e fibras, além de valores consistentes de cinzas e lipídeos, configurando um perfil nutricional de relevância funcional.

As análises tecnológicas evidenciaram propriedades favoráveis, como boa densidade aparente e compactada, adequada solubilidade, capacidade de absorção de água e granulometria uniforme, características que ampliam suas possibilidades de aplicação em formulações alimentícias. A conformidade com os padrões microbiológicos estabelecidos reforça a segurança e a estabilidade do produto, assegurando sua viabilidade em processos industriais.

Dessa forma, a transformação do bagaço de malte em farinha contribui para a valorização de resíduos agroindustriais, promovendo práticas alinhadas à economia circular e à sustentabilidade, além de fomentar inovações no desenvolvimento de alimentos funcionais e enriquecidos.

REFERENCIAS

1. Silva LC, Silva JL, Kupski L, Barros BCB. Utilização da fermentação em estado sólido para valorização do bagaço de malte: uma revisão bibliográfica. Editora cientifica; 2024.

2. De Sousa FRA, Oliveira JST, Silva DP, Oliveira MG, Neves DD, Silva WE, et al**.** Biopolímeros na indústria de alimentos: do aproveitamento de resíduos agroindustriais a produção de biopolímeros. Guarujá: Editora cientifica; 2021.

3. Oliveira JC. Desenvolvimento de material de embalagem a partir de resíduo cervejeiro [Trabalho de Conclusão de Curso]. Francisco Beltrão: Universidade Tecnológica Federal do Paraná; 2021.

4. Silva TCF. Implementação de um plano de gerenciamento de resíduos sólidos em uma indústria alimentícia em Jaboatão dos Guararapes–PE [Trabalho de Conclusão de Curso]. Recife: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco; 2024.

5. BRASIL. Com 1.847 cervejarias registradas no Brasil, setor cresce 6,8% em 2023. Ministério da Agricultura e Pecuária, 2023.

6. Sousa JPC. Aproveitamento de resíduo cervejeiro-bagaço de malte: uma revisão. [Trabalho de Conclusão de Curso]. Patos de Minas: Universidade Federal de Urbelândia; 2025.

7. Seibel NF, Rodrigues DD. Aproveitamento de resíduos agroindustriais de origem vegetal para alimentação humana. Guarujá: Editora Científica Digital; 2021.

8. LUTZ IA. Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos-4ª Edição, 1ª Edição Digital. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz: 2008.

9. AOAC. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 16th ed. Arlington: AOAC International; 1997.

10. Pontes Júnior VA. Potencial genético e estabilidade de famílias de feijoeiro comum obtidas por diferentes métodos de melhoramento [Dissertação]. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2012.

11. Rodrigues RRF, Faustino FTM, Machado AR, Machado MIR. caracterização físico-química da farinha de anacardium occidentale l. para aplicações em panificação. 2025; 17:1-15.

12. Macêdo LF. Farinha do fruto do Ziziphus Joazeiro Mart. obtida por secagem em camada de espuma [Trabalho de Conclusão de Curso]. Pombal: Universidade Federal de Campina Grande; 2022.

13. Freudig B, Hogekamp S, Schubert H**.** Dispersion of powders in liquids in s stirred vessel. Chemical Engineering and Processing: Process intensification. 1999;38(4-6):525 532.

14. Lins ADF. Repolho roxo em pó obtido em secador por aspersão e liofilizador [Tese]. Campina Grande; Universidade Federal de Campina Grande; 2020.

15. Goula AM, Adamopoulos KG, Kazakis NA**.** Influence of spray drying conditions on tomato powder properties. Drying Technology. 2004;22:1129-1151.

16. Aulton ME. Delineamento de formas farmacêuticas. Porto Alegre: Artmed, 2005.

17. Wanczinski BJ, Felipe DF, Cardoso MLC, Cavalcanti OA. Desenvolvimento de comprimidos de AAS 500 mg: influência do Amido 1500® na compressão direta. Acta Scientiarum. 2002;24(3):649-655.

18. Anderson RA, Conway HF, Pfeifer VF, And Griffin EL. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. Cereal Science Today, Saint Paul. 1969;14(1):4-11.

19. Siqueira IDR. Aproveitamento do resíduo cervejeiro no desenvolvimento de sobremesa tipo brownie: avaliação da qualidade nutricional e aceitação sensorial [Trabalho de Conclusão de Curso]. Universidade Federal do Pampa (Unipampa); 2023.

20. Carvalho LFMC, Trevizan JAC, Bido GS, Felipe DF. Análise físico-química do bagaço do malte [Trabalho de Iniciação Científica]. Maringá: Universidade Cesumar; 2020. ISBN 978-65-5615-164-9

21. Costa GM, Silva VRO, Louzada MH, Queiroz IC. Elaboração e caracterização físico-química de farinha de bagaço de malte. Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. 2020;1(2):11-25.

22. Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução RDC nº 54, de 12 de novembro de 2012. Regulamento Técnico sobre Informação Nutricional Complementar. Diário Oficial da União. 2012 nov 12; Seção 1.

23. Costa JMB, Mattos WRS, Biondi P, De Carvalho DD. Composição química bromatológica do resíduo úmido de cervejaria. Boletim de. Indústria. Animal. 1994;51(1):21-26.

24. Stojceska V, Ainsworth P. The effect of different enzymes on the quality of high-fibre enriched brewer's spent grain breads. Food Chemistry.2008;110(4):865–872.

25. Cordeiro LG. Caracterização e viabilidade econômica do bagaço de malte oriundos de cervejarias para fins energéticos [Dissertação de mestrado]. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba:2011.

26. Siqueira IR, Castrillon MS, Pires KM, Jacques AC, Moura CM. Elaboração de farinha a partir de resíduo cervejeiro**.** Agron Food Academy. 2022;**2:866-873. https://doi.org/10.53934/9786585062039-76**

27. Scheuer PM, Francisco AD, Miranda MD, Limberger VM. Trigo: características e utilização na panificação. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais. 2011;13(2):211 222.

28. Matos SP. Operações Unitárias: Fundamentos, Transformações e Aplicações dos Fenômenos Físicos e Químicos. São Paulo: Érica: 2015.

29. Peres LGS. Desenvolvimento de sachês biodegradáveis à base de amido para liberação do micronutriente zinco [Dissertação]. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos; 2020.

30. Mazzon GG. Aplicações do spray dryer: uma revisão [Trabalho de Conclusão de Curso]. Araraquara: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho; 2024.

31. Rodrigues KNL. Elaboração de mistura para bolo enriquecida com farinha do resíduo de acerola [Trabalho de Conclusão de Curso]. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba; 2024.

32. Martins TDS. Produção de coproduto de araçá (psidium cattleianum): características da farinha e sua aplicação como novo ingrediente na indústria de panificação [Trabalho de Conclusão de Curso]. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba; 2019.

33. Leite ANAMP. Desenvolvimento e caracterização de farinhas mistas formuladas com banana verde e grão-de-bico [Tese]. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande; 2024.

34. Carr HE. Evaluating flow properties of solids. Chemical Engineering. 1965;74(2):163-168.

35. Fernandes HR, De Oliveira DCR, Souza GS, Lopes AS. Parâmetros de qualidade física e físico-química da farinha de mandioca (Manihot esculenta Crantz) durante processamento. Scientia Plena. 2013;9(11).

Capítulo 51

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-51

ESTRESSE CAUSADO PELO TRANSPLANTIO E PELA INOCULAÇÃO DE *Meloidogyne javanica* NA CULTURA DO JILOEIRO

Samara Rodrigues da Silva*; Rodrigo Vieira da Silva; Gabriela Araújo Martins; Maria Fernanda Neiva Silva; Gustavo de Souza Pires; João Pedro Gonçalves Guerra

**Autor correspondente (Corresponding author) – Email:* samara.rodrigues1@estudante.ifgoiano.edu.br

Resumo: O estresse vegetal é um problema decorrente de fatores bióticos e abióticos que afeta o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das plantas. O transplantio das mudas e o parasitismo dos nematoides destacam-se por atuarem como agentes indutores e amplificadores de diferentes tipos de estresse, podendo interferir significativamente nos resultados experimentais e comprometer a homogeneidade dos dados. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito do estresse provocado pelo transplantio e pela inoculação de *M. javanica* em jiloeiro. O experimento foi conduzido em casa de vegetação em delineamento inteiramente casualizado, composto de seis tratamentos e seis repetições, totalizando 36 unidades experimentais: T1: controle absoluto somente com o jiloeiro, T2: planta e nematoide: T3: planta e nematoide, T4: planta e nematoide, T5: planta e nematoide, T6: planta e nematoide. As inoculações com nematoide foram realizadas aos 0, 2, 4, 8 e 16 dias após o transplantio, sendo inoculados 5.000 mil ovos por planta. As avaliações com o Fluorômetro (FluorPen) foram realizadas com 0, 15, 30 e 60 dias após as inoculações. Aos 60 dias da inoculação foram avaliadas as variáveis: massa da matéria fresca de raiz (MFR) e da parte aérea (MFPA), matéria seca de parte aérea (MSPA), número de ovos (NO), número de galhas (NG) e fator de reprodução (FR). Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de Scott-Knott.
Resultados demonstraram que o transplantio reduziu a eficiência fotossintética da planta, levando ao estresse vegetal, com Fv/Fm de 0,57 em T1 (controle), e que a inoculação simultânea ao transplantio (T2) resultou em maior impacto fisiológico da planta, ocasionando menor desenvolvimento da planta com MFR de -52,06%, MFPA de -29,02, MSPA de -49,46 quando comparado ao controle (T1) e maior reprodução do nematoide com médias 20.607,17 (NO), 164,50 (NG) e 4,12% (FR). Já a inoculação realizada 16 dias após o transplantio (T6), favoreceu maior eficiência fotossintética, melhor desenvolvimento da planta com MFR de 42,34%, MFPA de 81,49% e MSPA de 115,59% quando comparado ao tratamento controle (T1), e menor reprodução do nematoide com NO de -80,83, NG de -46,20 e FR de -81,06 quando comparado ao tratamento T2. Conclui-se que o intervalo entre transplantio e inoculação é determinante para reduzir o estresse inicial e a reprodução do nematoide. O tratamento T6 (16 DAT) se destacou como o melhor intervalo em relação ao estresse, pois permite separar os efeitos do transplante do efeito do parasitismo. Recomenda-

se realizar a inoculação entre 8 e 16 dias após o transplantio, garantindo menor estresse, maior homogeneidade e resultados experimentais mais confiáveis.

Palavras-chave: fisiologia; fluorômetro; inoculação; nematoide de galhas; transplantio.

INTRODUÇÃO

O jiloeiro (*Solanum gilo, R.*), é uma planta tropical originário da África, e conhecido por sua versatilidade culinária e valor nutricional. Esta hortaliça, destaca-se por sua casca fina e brilhante, além de seu sabor levemente amargo, que confere um toque único a diversas preparações culinárias (1). Rica em fibras alimentares, vitaminas e minerais, o jiló desempenha um papel importante na promoção da saúde e na diversificação da alimentação, consumida tanto *in natura* quanto em pratos tradicionais da culinária brasileira, sendo de grande importância para a rentabilidade da agricultura familiar.

O cultivo do jiló enfrenta desafios relacionados a pragas, doenças e condições climáticas adversas, que podem afetar as suas atividades fisiológicas e, consequentemente, a produtividade e qualidade (2). Mesmo com o desenvolvimento de novas tecnologias, problemas ocasionados por agentes patogênicos são recorrentes na cultura do jiló, ocasionando prejuízos significativos para a cultura.

Dentre os nematoides parasitas de plantas, destaca-se os do gênero *Meloidogyne*, sendo as que mais causam prejuízos *M. javanica e M. incognita* (3). Os principais sintomas são a formação de galhas nas raízes das plantas, causando hipertrofia e hiperplasia (4). Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), os nematoides estão entre os maiores problemas fitossanitários que acometem as mais diversas culturas, apresentando um grande potencial de gerar danos econômicos na agricultura brasileira (5).

A infecção causada por fitonematoides na planta afeta o desenvolvimento e produtividade da mesma, e deixando-a suscetível a fungos e bactérias que potencializam esses danos (6). Além disso, muitos experimentos com nematoides a inoculação dos nematoides é realizado junto ao transplantio da muda, de modo a influenciar na reprodução dos nematoides, uma vez que as plantas sofrem o estresse dessa operação.

O estresse ocorrido durante o transplante de mudas de plantas é uma preocupação comum entre os agricultores, em especial para os produtores de hortaliças. O processo de transplante pode ser bastante perturbador para as plantas, pois elas estão sendo removidas de seu ambiente original e transferidas para um novo solo e condições de crescimento.

Avaliar o estresse em plantas envolve a observação de uma série de sinais e sintomas que indicam uma resposta adversa da planta ao seu ambiente. A análise do teor de clorofila é essencial para a fotossíntese, e seu teor pode ser usado como um indicador do estado de saúde das plantas. Métodos espectrofotométricos ou medidores de clorofila portáteis podem ser usados para avaliar o teor de clorofila nas folhas das plantas.

Diante desse cenário, é fundamental compreender os efeitos do estresse causado pelo transplantio das mudas e pela inoculação de *M. javanica* na cultura do jiloeiro, bem como o momento certo de inoculação do patógeno para que não comprometa resultados experimentais e homogeneidade dos dados.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em casa de vegetação e as mudas de jiloeiro com 20 dias após a semeadura foram transplantadas para vasos de 1L preenchidos com uma mistura de solo e areia na proporção 2:1. Realizou-se a aplicação do Fertilizante Mineral Misto (Polyblen) na proporção 12-08-27 de liberação controlada, contendo 1,5 g por vaso,

fornecendo assim a nutrição da cultura durante todo o seu ciclo de crescimento, liberando nutrientes vitais de forma controlada em termos de dosagem e no momento exato de sua absorção.

A população de *M. javanica* utilizada foi obtida a partir de raízes de jiloeiro, os inóculos foram obtidos pela técnica de Boneti & Ferraz (7), as raízes infectadas foram separadas do solo, lavadas em água corrente e cortadas em fragmentos de 1 a 2 cm. Em seguida, foram transferidas para um liquidificador, onde foram imersas em uma solução de hipoclorito de sódio a 0,5% de cloro ativo e trituradas em baixa rotação por 20 segundos. A suspensão resultante foi filtrada sequencialmente através de uma peneira de malha 200, sobreposta a uma peneira de 500 mesh, para a separação dos ovos de *M. javanica*. A suspensão foi colocada na câmara de Peters sob microscópio fotônico com ampliação de 100x, ajustando-se a concentração para 1.000 ovos por mL. A calibração da suspensão foi realizada através da fórmula: Concentração inicial (C1) x Volume inicial (V1) = Concentração final (C2) x Volume final (V2). Através da resolução da equação, foi possível obter a quantidade de inóculo suficiente para a instalação do experimento in vivo.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, composto por seis tratamentos e seis repetições, totalizando 36 unidades experimentais: As inoculações, com 5.000 mil ovos do nematoide por planta foram realizadas em intervalos de 0, 2, 4, 8 e 16 dias após o transplantio (Tabela 1). As avaliações das variáveis fisiológicas com o Fluorômetro (FluorPen) foram realizadas aos 0, 15, 30 e 60 dias após as inoculações. Tanto as inoculações bem como as avaliações com o Fluorômetro foram realizadas conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Período de Avaliação do experimento

Fluorômetro Avaliação (Dias)		**Tratamentos**					
		T1	**T2**	**T3**	**T4**	**T5**	**T6**
		Controle	0	2	4	8	16
Data	0		27/maio	29/maio	31/maio	04/jun	12/jun
Data	15		11/jun	13/jun	15/jun	19/jun	27/jun
Data	30		26/jun	28/jun	30/jun	04/jul	12/jul
Data	60		25/jul	27/jul	29/jul	02/ago	10/ago



Figura 1 - (A): Pinças colocadas nas folhas para avaliação com fluorômetro após 30 min, (B e C): Avalições com o Fluorômetro em dias diferentes.

Os parâmetros avaliados pelo Fluorômetro foram; Fv/Fm (Eficiência Quântica Máxima do PSII), ABS/RC (Energia Absorvida por Centro de Reação) , TRo/RC (Fluxo de Energia Retida por Centro de Reação), ETo/RC (Fluxo de Transporte de Elétrons por Centro de Reação), DIo/RC (Energia Dissipada por Centro de Reação) e Qy (Eficiência fotoquímica efetiva em luz). Os dados foram submetidos análise de variância (ANOVA), teste F ($p \leq 0,05$) e teste de Scott-Knott. As análises foram realizadas pelo software SISVAR (Sistema de Análise de Variância) (8).

Após 60 dias da inoculação, analisou-se as seguintes variáveis: massa da matéria fresca de raiz (MFR) e da parte aérea (MFPA), massa da matéria seca de parte aérea (MSPA) e número de ovos (NO). Após as avaliações os dados foram tabulados e submetidos análise de variância (ANOVA), teste F ($p \leq 0,05$) e teste de Scott-Knott. As análises foram realizadas pelo software SISVAR (Sistema de Análise de Variância) (8).

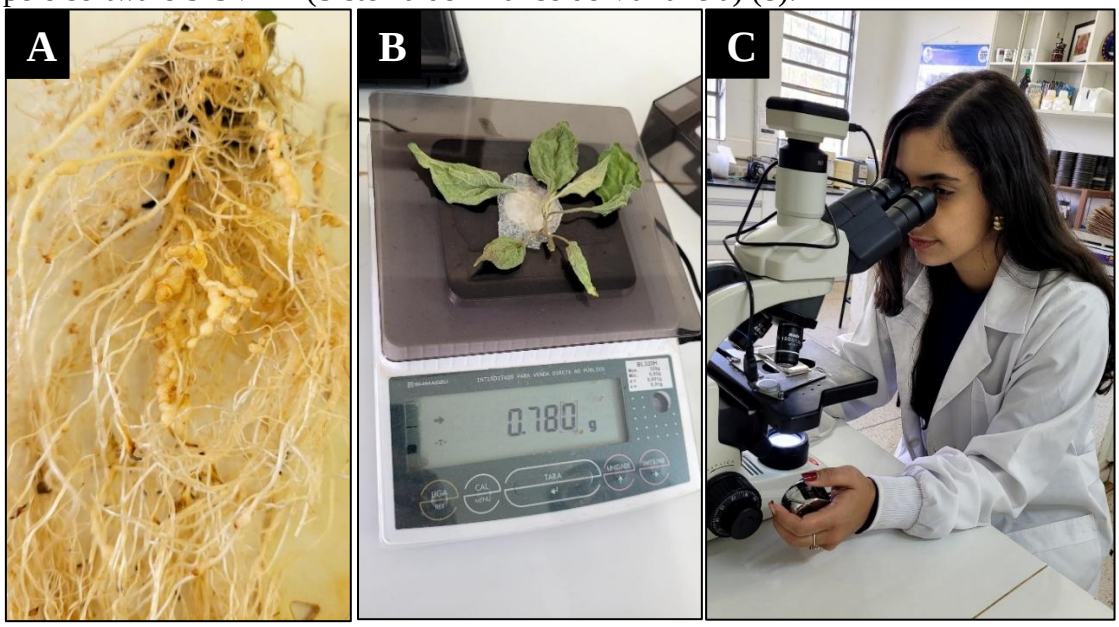


Figura 2 - (A): Raiz coletada com galhas, (B): Variável de desenvolvimento vegetativo sendo pesada na balança analítica, (C): Amostra extraída através do método Boneti & Ferraz (7) e posta na câmera de Peters para contagem do número de ovos com auxílio do contador manual e microscópio fotônico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da análise de dados referentes a variáveis fisiológicas, ao desenvolvimento vegetativo e ao desenvolvimento reprodutivo do nematoide, verificou-se diferença significativa ($p \leq 0,01$) entre os tratamentos, conforme o teste de médias de Scott-Knott a 5% de significância.

As avaliações das variáveis fisiológicas realizadas com o fluorômetro (Figuras 3, 4, 5 e 6) permitiram analisar o efeito do estresse provocado pelo transplante e pela inoculação de *Meloidogyne javanica* sobre a eficiência fotoquímica do jiloeiro. Foram avaliados os parâmetros Fv/Fm, ABS/RC, TRo/RC, ETo/RC, DIo/RC e Qy, sendo o parâmetro Fv/Fm utilizado como principal indicador de estresse fotossintético, por ser amplamente utilizado na avaliação da integridade do fotossistema II (PSII) e da capacidade fotossintética da planta (9).

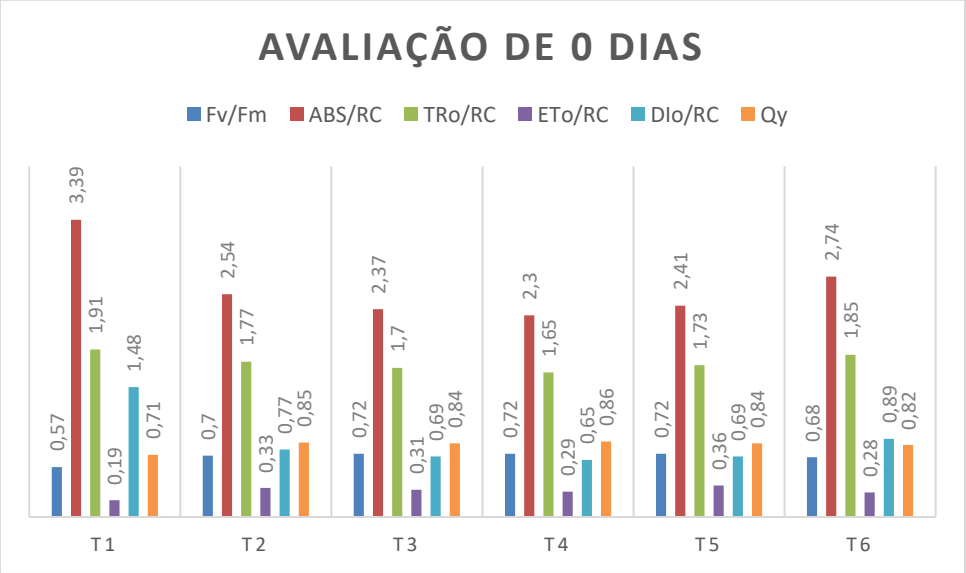


Figura 3 – Gráfico das análises de avaliações com Fluorômetro (FluorPen) aos 0 dias, foram avaliadas o Fv/Fm, ABS/RC, TRo/RC, ETo/RC, DIo/RC e Qy.

Os parâmetros de fluorescência da clorofila avaliados no dia 0 (Figura 3) forneceram informações cruciais sobre o estado fisiológico imediato das plantas de jiloeiro após o transplante e após a inoculação com *M. javanica*. A análise revela diferenças significativas (≤0,01) entre os tratamentos, particularmente no que se refere ao estresse fotossintético inicial.

O parâmetro Fv/Fm, que indica a eficiência máxima do fotossistema II, apresentou valores baixos nos tratamentos controle (T1) e T2 (inoculação no dia 0) (0,57 – 0,70) indicando estresse vegetal ao ser transplantada. A diminuição de Fv/Fm é um excelente indicador de fotoinibição em plantas submetidas a diferentes tipos de estresse, podendo

refletir tanto mecanismos fotoprotetores reversíveis quanto a inativação irreversível do PSII, e em condições ambientais ideais, os valores de Fv/Fm situam-se na faixa de 0,75 a 0,85 (9). No Tratamento controle sem nematoides, além de apresentar baixos valor de Fv/Fm, apresentou também alta absorção por centro de reação (ABS/RC = 3,39) que são complexos pigmento-proteína que impulsionam a fotossíntese convertendo luz em energia química (10), o que pode levar à fotoinibição (Exposição excessiva à luz que prejudica a fotossíntese), baixo transporte de elétrons (ETo/RC = 0,19), energia dissipada em forma de calor em vez de aproveitada na fotossíntese (DIo/RC = 1,48), indicando estresse severo devido ao transplantio. Em relação, aos demais parâmetros TRo/RC e Qy, os dados ficaram na faixa de valores ideais.

No tratamento T2, embora o transplantio e a inoculação foram realizadas no mesmo dia, o estresse vegetal apresentado foi influenciado, principalmente, pelo transplantio e pelas condições iniciais de ambiente, pois os nematoides ainda não haviam se manifestado. Para o parâmetro ETo/Rc = 0,33 apresentou baixo transporte de elétrons. Em relação aos demais, se apresentaram dentro da faixa ideal.

Nos tratamentos T3, T4 e T5, o intervalo (2, 4 e 8 dias) entre o transplantio e a inoculação favoreceu o estabelecimento fisiológico das plantas antes da infecção pelo nematoide, mantendo o valor de Fv/Fm próximo ao ideal (0,75-0,85) resultando em maior Eficiência Quântica Máxima do PSII (Fv/Fm) e, consequentemente, menor dissipação de energia (DIo/RC ≈ 0,65–0,69), maior eficiência no transporte de elétrons em relação ao controle (ETo/Rc até 0,36). Segundo trabalho de Nagashima e Tojo (11), hortênsias inoculadas com diferentes espécies de patógenos (*Globisporangium spinosum*, *P. myriotylum*, *G. splendens* e *Globisporangium* sp.), o intervalo entre transplantio e inoculação favoreceu o estabelecimento fisiológico prévio da planta, o que influenciou sua resistência a infecção.

Por outro lado, a inoculação tardia T6 (16 após transplantio) resultou em piora dos parâmetros fisiológicos do jiloeiro, com queda dos valores de Fv/Fm (0,68) e aumento na dissipação de energia (0,89). Esse fator pode ser explicado devido a fatores abióticos, como: água, luz, temperatura e umidade. O que podem influenciar diretamente nos processos biológicos da planta (12 e 13).

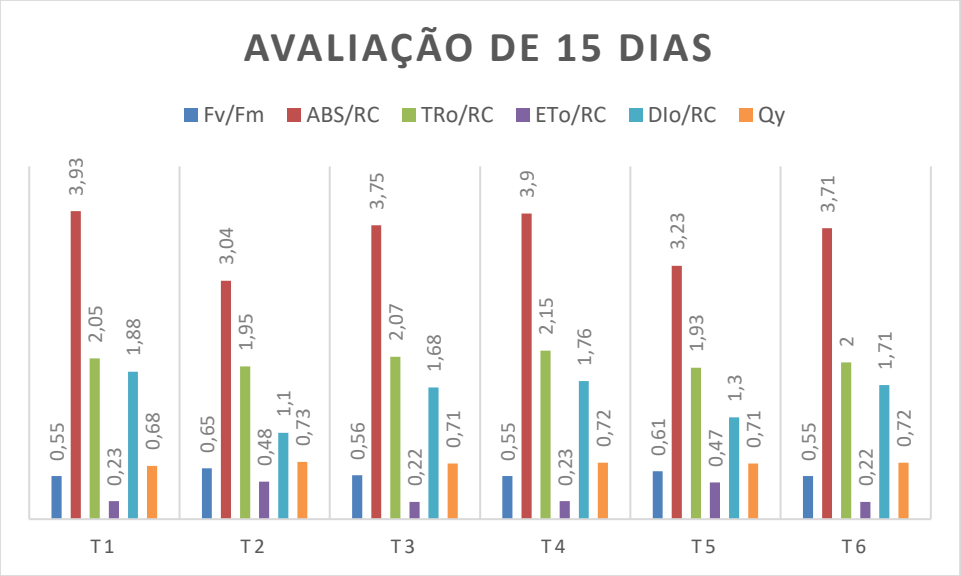


Figura 4 – Gráfico das análises de avaliações com Fluorômetro (FluorPen) aos 15 dias, foram avaliadas o Fv/Fm, ABS/RC, TRo/RC, ETo/RC, DIo/RC e Qy.

Os parâmetros de fluorescência da clorofila avaliados aos 15 dias após as inoculações (Figura 4) revelam alterações significativas no estado fisiológico das plantas de jiloeiro em resposta aos diferentes momentos de inoculação com *M. javanica*.

O tratamento inoculado com o patógeno precocemente (T2 - inoculação no dia 0) aos 15 dias apresentaram indicadores fisiológicos (Fv/Fm = 0,65), embora ainda não seja ótimo, é significativamente melhor, indicando que o aparato fotossintético está mais preservado e eficiente mostrando que a cadeia de transporte de elétrons está fluindo de forma desobstruída e eficiente, levando a uma maior produção de energia (ATP e NADPH) para a fixação de carbono (ETo/RC = 0,48) superiores aos da testemunha não inoculada (T1- controle) (Fv/Fm = 0,55; ETo/RC = 0,23). Esse fenômeno pode estar relacionado ao sistema imunológico da planta, que para se defender contra o patógeno, ativa mecanismos de defesa, resultando em melhores parâmetros fisiológicos mesmo sob estresse (14).

Os tratamentos T3, T4, T5 e T6 (inoculados aos 2, 4, 8 e 16 dias após o transplantio) não mitigou o estresse do transplantio realizado aos 15 dias, como visto nos parâmetros (ABS/RC = 3,75; 3,9; 3,23; 3,71) (TRo/RC = 2,07; 2,15; 1,93; 2) (DIo/RC = 1,68; 1,76; 1,3; 1,71), mas manteve em níveis semelhantes ao do controle (T1) (ABS/RC= 3,93; TRo/RC = 2,05 ; DIo/RC = 1,88). Indicando que a inoculação nesses intervalos não conferiu nenhuma vantagem ou resiliência adicional à planta neste estágio inicial de 15 dias. Pelo contrário, a inoculação nesses momentos pareceu representar um estresse adicional que impediu qualquer sinal de recuperação do transplantio, mantendo a planta em um estado de alto estresse fisiológico.

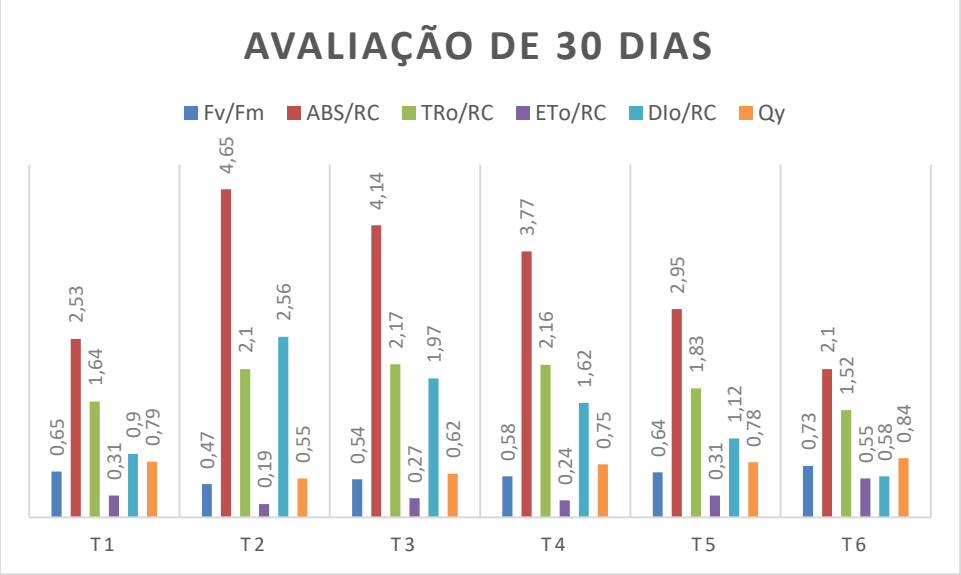


Figura 5 – Gráfico das análises de avaliações com Fluorômetro (FluorPen) aos 30 dias, foram avaliadas o Fv/Fm, ABS/RC, TRo/RC, ETo/RC, DIo/RC e Qy.

Os parâmetros de fluorescência da clorofila avaliados aos 30 dias após as inoculações (Figura 5) revelam alterações significativas no estado fisiológico das plantas de jiloeiro (Fv/Fm; ABS/RC; TRo/RC; ETo/RC; DIo/RC e Qy), com um padrão distinto em relação às avaliações anteriores.

O parâmetro Fv/Fm (eficiência máxima do fotossistema II) apresentou uma variação considerável (0,47-0,73) entre os tratamentos (T2-T6). O tratamento T6 (16 DAT) destacou-

se com o maior valor (0,73), aproximando-se da faixa considerada ideal para plantas não estressadas (0,75-0,85), conforme Baker (15). Em contraste, o tratamento T2 (inoculação no dia 0) apresentou o valor mais baixo (0,47), revelando que o custo energético da resposta defensiva inicial contra o patógeno, quando somado ao estresse do transplantio, tornou-se insustentável. A alta dissipação de energia (DIo/RC = 2,56), a baixa eficiência fotoquímica efetiva de Luz (Qy = 0,55), a limitação no transporte de elétrons (ETo/RC = 0,19), e a redução no número de centros de reação ou maior absorção por centro de reação podendo levar à fotoinibição (ABS/RC = 4,65), indicam um colapso fotossintético. Logo, favorecem mais sítios de alimentação e consequentemente maior reprodução do patógeno. Este estado de estresse severo criou condições ideais para a reprodução do nematoide, como confirmado pelos resultados, onde o T2 apresentou o maior número de ovos (NO = 20.607) e o maior fator de reprodução (FR = 4,12) (Tabela 5). Plantas sob estresse fisiológico grave têm sua capacidade de defesa comprometida, favorecendo a alimentação e a reprodução de nematoides (16).

Nos tratamentos T3 e T4 o parâmetro Fv/Fm (0,54 e 0,58) se apresentou abaixo do considerado para plantas saudáveis, em relação aos demais parâmetros o ABS/RC mostrou valores elevados nos tratamentos (4,14 e 3,77), indicando que nestes tratamentos uma proporção significativa dos centros de reação estava inativa ou danificada, no DIo/ RC (1,97 e 1,62) a energia está sendo dissipada em forma de calor em vez de aproveitada na fotossíntese, havendo limitação no transporte de elétrons (ETo/RC = 0,27 e 0,24), e Qy baixo.

No tratamento T6 apresentou os melhores parâmetros (Fv/Fm = 0,73; ABS/RC = 2,1; TRo/RC = 1,52; ETo/RC = 0,55; DIo/RC = 0,58; Qy = 0,84) até mesmo em comparação ao tratamento controle (T1). O período de aclimatação pós-transplantio permitiu que a planta se estabelecesse, recuperasse seu balanço energético e, consequentemente, apresentasse uma resposta mais eficaz ao desafio nematológico. Em relação aos tratamentos T1 e T5 os parâmetros (ABS/RC; TRo/RC; Qy) apresentaram valores próximos aos ideais, em relação aos seguintes parâmetros (Fv/Fm; ETo/RC e Dio/RC) indicaram danos no aparato fotossintético.

Um estudo realizado por Dutra *et al.* (17) observou-se que a interação entre *Meloidogyne* spp. e espécies de cafeeiro, afetou negativamente o desenvolvimento da planta devido às alterações na estrutura interna das raízes, devido a formação de “células gigantes” que comprimem o sistema vascular, reduzindo a eficiência no transporte de água e nutrientes essenciais (18). Além disso, essa interação pode predispor as plantas a outras patologias e aumentar sua sensibilidade a estresses ambientais (19 e 20). Resultados esses que corroboram com os encontrados no presente trabalho.

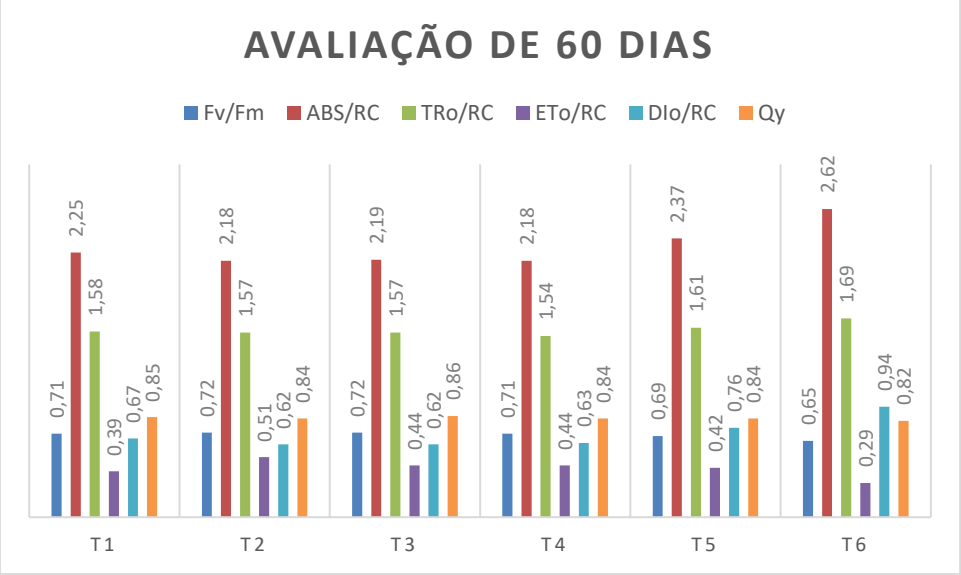


Figura 6 - Gráfico das avaliações com Fluorômetro (FluorPen) aos 60 dias, foram avaliadas o Fv/Fm, ABS/RC, TRo/RC, ETo/RC, Dio/RC e Qy.

Tabela 2 - Valores médios das variáveis de desenvolvimento vegetativo: matéria fresca de raiz (MFR), matéria fresca de parte aérea (MFPA), matéria seca de parte aérea (MSPA) pelo teste de Scott-Knott.

Tratamentos	Variáveis Analisadas		
	MFR	MFPA	MSPA
T1	25,93b	11,13b	1,86b
T2	12,43d	7,90b	0,94c
T3	17,14c	10,64b	1,57b
T4	16,68c	11,45b	1,27c
T5	12,00d	9,30b	2,14b
T6	36,91a	20,20a	4,01a
Coeficiente de variação (%)	14,57	22,15	22,67

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 1% de probabilidade.

Tabela 3 - Valores médios das variáveis reprodutivas: número de Ovos (NO), número de galhas (NG), fator de reprodução (FR) pelo teste de Scott-Knott.

Tratamentos	Variáveis Analisadas		
	NO	NG	FR
T1	0	0	0
T2	20607,17a	164,50b	4,12a
T3	18308,00b	147,50b	3,66b
T4	8898,34c	167,67b	1,77c
T5	16195,34b	250,34a	3,23b
T6	3948,67d	88,50c	0,78d
Coeficiente de variação (%)	18,27	12,87	-

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 1% de probabilidade.

As avaliações de estresse vegetal associados os dados de desenvolvimento vegetativo (MFR; MFPA e MSPA) e reprodutivo do nematoide (NO, NG E FR) foram realizadas aos 60 dias após a inoculação e foi constatado que, para as variáveis de MFR, MFPA, MSPA, NO, NG os tratamentos influenciaram significativamente (Tabela 2 e 3).

Os parâmetros de fluorescência da clorofila aos 60 dias (Figura 6) revelam uma relativa estabilização do estado fisiológico das plantas na maioria dos tratamentos. Os valores de Fv/Fm variaram entre 0,65 e 0,72, indicando uma boa recuperação do aparato fotossintético em comparação com as avaliações anteriores. De acordo com Baker (15), valores nesta faixa indicam que as plantas alcançaram uma estabilização metabólica, embora ainda abaixo do ideal para plantas não estressadas (0,75-0,85). No entanto, é possível observar que no tratamento T6, que havia se mostrado mais resistente ao patógeno aos 30 dias (0,73), apresenta agora uma leve redução na Eficiência quântica máxima do PSII (Fv/Fm = 0,65), possivelmente indicando efeitos da infestação do *M. javanica*.

O parâmetro ETo/RC mostrou valores interessantes, com o tratamento T2 apresentando o maior valor (0,51), sugerindo uma recuperação notável da capacidade de transporte de elétrons nas plantas inoculadas imediatamente após o transplante. Este resultado é particularmente significativo quando contastado com o baixo desempenho deste tratamento na avaliação de 30 dias, indicando uma capacidade de recuperação fisiológica surpreendente, possivelmente mediada por mecanismos de tolerância ativados em resposta ao estresse (21).

Os dados de desenvolvimento vegetativo (Tabela 2) mostram uma correlação surpreendente com os parâmetros fisiológicos. O tratamento T6, que apresentou os melhores resultados em termos de matéria fresca de raiz (36,91a), matéria fresca de parte aérea (20,20a) e matéria seca de parte aérea (4,01a), mostrou os piores valores de Fv/Fm aos 60 dias. Essa aparente contradição pode ser explicada pelo conceito de "custo de crescimento", onde o vigoroso desenvolvimento vegetativo pode ter imposto um custo metabólico que se refletiu em uma leve redução da eficiência fotossintética máxima (22).

Por outro lado, o tratamento T2, apresentou os piores resultados de desenvolvimento vegetativo (MFR = 12,43d; MSPA = 0,94c), e mostrou uma recuperação notável nos parâmetros de fluorescência (Fv/Fm = 0,72; ETo/RC = 0,51). Esta dissociação entre crescimento e eficiência fotossintética sugere que as plantas sob estresse severo podem priorizar a manutenção das funções fotossintéticas em detrimento do crescimento, como mecanismo de sobrevivência (23).

Em relação aos dados reprodutivos do nematoide (Tabela 3) revelam um padrão claro, a inoculação no momento do transplante (T2) resultou na maior reprodução do patógeno (NO = 20607,17a; FR = 4,12a), enquanto a inoculação tardia (T6) resultou na menor reprodução (NO = 3948,67d; FR = 0,78d). O trabalho de Sewelam et al. (24) avaliou a suscetibilidade da Arabidopsis ao patógeno biotrófico *Pseudomonas syringae pv*. tomato e o patógeno necrotrófico *Botrytis cinerea*, e observou que a junção de fatores abióticos e bióticos a deixaram mais suscetível à infecção por patógenos e consequentemente maior reprodução. Resultados esses que corroboram com os encontrados nesse trabalho.

O tratamento T5 (inoculação aos 8 DAT) apresentou o maior número de galhas (250a), mas um número intermediário de ovos (16.195b), já os tratamentos T3 e T4 apresentaram uma baixa reprodução do nematoide (NO= 18308,00b e 8898,34c; NG = 147,50b e 167,67b; FR= 3,66b e 1,77c), indicando que o intervalo entre transplantio e inoculação do patógeno pode influenciar na reprodução.

Pela análise dos resultados da presente pesquisa, o momento de inoculação é um fator crítico para o desenvolvimento da planta quanto para reprodução do nematoide e

homogeneidade de dados. O transplante de mudas promoveu estresse fisiológico significativo, refletindo na eficiência fotossintética (Fv/Fm), e no aumento na dissipação de energia (Dio/RC), principalmente nos primeiros 15 dias. A inoculação simultânea ao transplante (T2) ocasionou o maior impacto negativo, combinando os estresses abióticos (transplante) e biótico (nematoide), resultando em elevada reprodução do patógeno e maior comprometimento do desenvolvimento vegetal com MFR de -52,06%, MFPA de -29,02, MSPA de -49,46 quando comparado ao controle (T1). Em contrapartida a inoculação tardia (T6- 16 dias após o transplante) possibilitou a recuperação fisiológica das plantas, refletindo em melhores parâmetros fotossintéticos, maior desenvolvimento vegetativo com MFR de 42,34%, MFPA de 81,49% e MSPA de 115,59% quando comparado ao controle (T1) e menor reprodução do nematoide com NO de -80,83, NG de -46,20 e FR de -81,06 quando comparado ao tratamento T2 (inoculado dia 0).

Além disso, os parâmetros de fluorescência da clorofila mostraram-se ferramentas sensíveis e eficazes para monitorar o estado fisiológico das plantas ao longo do tempo, permitindo correlacionar o estresse com o desempenho vegetativo e a susceptibilidade ao nematoide.

CONCLUSÕES

Conclui-se que o momento de inoculação de *Meloidogyne javanica* em jiloeiro é determinante tanto para o desenvolvimento da planta quanto para a reprodução do nematoide.

A inoculação simultânea ao transplantio (T2) foi o pior tratamento, intensificando o estresse e favorecendo a multiplicação do nematoide. Já a inoculação 16 dias após o transplantio (T6) foi o melhor tratamento, proporcionando maior recuperação fisiológica, melhor crescimento e menor reprodução do patógeno.

Assim, recomenda-se realizar a inoculação entre 8 e 16 dias após o transplantio, garantindo menor estresse, maior homogeneidade e resultados experimentais mais confiáveis.

REFERÊNCIAS

1. Martinez, Marina. **Jiló**. 2024. Disponível em: https://www.infoescola.com/plantas/jilo/. Acesso em: 02 maio 2024.

2. Pereira, R. B.; Pinheiro, J. B.; Guimaraes, J. A.; Reis, A. **Doenças e pragas do jiloeiro**. Circular Técnica. Embrapa Hortaliças, Brasília, 2012. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/942542/1/ct1061.pdf. Acesso em: 02 maio 2024.

3. Rolim, G. S. et al. **FITONEMATOIDES: OS VILÕES INVISÍVEIS DAS RAÍZES DAS PLANTAS**: Manejo Biológico. Pesquisa e Desenvolvimento, Agrobiológica Sustentabilidade S. A., Itápolis - Sp, 2022. Disponível em: https://agrobiologica.com.br/fitonematoides-os-viloes-invisiveis-das-raizes-das-plantas/. Acesso em: 03 maio 2024.

4. Pimentel, J. P. **NEMATOIDES FITOPARASITOS**. Entomologia e Fitopatologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Rio de Janeiro, 2022. Acesso em: 03 maio 2024.

5. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Ministério da Agricultura mapeia principais pragas das lavouras brasileiras**. Brasília, 2015. Disponível em: http://www.brasil.gov.br/economia-eemprego/2015/08/ministérioda-agricultura-mapeiaprincipaispragasdaslavouras-brasileira. Acesso em: 09 de maio 2024.

6. Pinheiro, J. B. et al. **Reação de genótipos de pimenta e pimentão a *Meloidogyne enterolobii* e *M. incognita***. Horticultura Brasileira, v. 31, n. 2, p. 240-244, 2013.

7. Boneti, J. I. S.; Ferraz, S. Modificação do método de HUSSEY & BARKER para extração de ovos de *Meloidogyne exigua* de raízes de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, 6, 3: 553, 1981.

8. Ferreira, D. F. **Sisvar: a computer statistical analysis system**. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.

9. Bolhar-Nordenkampf, H. R.; Long, S. P.; Baker, N. R.; Oquist, G.; Schreiber, U.; Lechne. **Chlorophyll fluorescence as probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrument.** Functional Ecology, v.3, p.497-514, 1989.

10. Gisriel C, Sarrou I, Ferlez B, Golbeck JH, Redding KE, Fromme R. Structure of a symmetric photosynthetic reaction center–photosystem. *Science*. 2017;357(6355):1021-1025. doi:10.1126/science.aan5611.

11. Nagashima, S.; Tojo, M. Relação entre o estágio de crescimento da planta e a severidade da doença na podridão do caule e da raiz de hortênsias. **Relatório do Kansai sobre Pragas e Doenças (63): 85-87 (2021)**.

12. Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B. *et al.* **Photosynthetic Response of Plants Under Different Abiotic Stresses: A Review**. Journal of Plant Growth Regulation **39**, 509–531 (2020). https://doi.org/10.1007/s00344-019-10018-x. Acesso em: 18 set. 2025.

13. Dey, P. et al. **Physiological, biochemical, and molecular adaptation mechanisms of photosynthesis and respiration under challenging environments**. Plant Perspectives to Global Climate Changes. Academic Press, p.79-100, 2022.

14. Hõnig, M., Roeber, V., Schmulling, T., & Cortleven, A. **Chemical priming of plant defense responses to pathogen attacks.** Frontiers in Plant Science. 2023.

15. Baker, N. R. **Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo**. Annual Review of Plant Biology, v. 59, p. 89-113, 2008.

16. Pinheiro, J. B. *et al*. **Ocorrência e manejo de nematoides na cultura do jiló e berinjela**. Embrapa Hortaliças, Brasília, 2013.

17. Dutra**,** Íris Petronilia; et al**. Aspectos morfológicos e fisiológicos da interação patógeno-hospedeiro durante o parasitismo de *Meloidogyne* spp. em *Coffea* spp. In:** ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 28.; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 24.; ENCONTRO DE INICIAÇÃO À DOCÊNCIA, 14., 2024, Universidade do Vale do Paraíba. **Anais…** São José dos Campos: Univap, 2024. Disponível em: https://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2024/anais/arquivos/RE_0984_0819_01.pdf. Acesso em: 18 set. 2025.

18. Bird, Alan F. **Plant response to root-knot nematode.** Annual Review of Phytopathology, v. 12, n. 1, p. 69-85, 1974.

19. Barker, K. R. Perspectives on plant and soil nematology. Annual review of phytopathology, v. 41, n. 1, p. 1-25, 2003.

20. Oliveira, D. S. et al. **Characterization of Meloidogyne incognita populations.** from São Paulo and Minas Gerais state and their pathogenicity on coffee plants. Tropical plant pathology, v. 36, p. 190 194, 2011.

21. Walters, D. R. **Plant defense: warding off attack by pathogens, herbivores and parasitic plants**. Oxford: Wiley-Blackwell, 2011.

22. Huot B. et al. **Growth–Defense Tradeoffs in Plants: A Balancing Act to Optimize Fitness.** Molecular Plant, v. 7, n. 8, p. 1267-1287, 2014.

23. Taiz, L.; Zeiger, E.; Møller, I. M.; Murphy, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

24. Sewelam, N.; El-Shetehy, M.; Mauch, F.; Maurino, V. G. **Combined abiotic stresses repress defense and cell wall metabolic genes and render plants more susceptible to pathogen infection**. Plants, v. 10, n. 9, p. 1946, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/plants10091946. Acesso em: 17 set. 2025.

Capítulo 52

DOI: 10.53934/agronfy-2025-inofas-52

MODELOS NÃO LINEARES APLICADOS A DADOS DE CRESCIMENTO DE BEZERRAS LEITEIRAS

Alice Alves Batista Leonardo *; Jeferson Corrêa Ribeiro ; José Batista Leonardo Neto; Priscylla de Fátima da Costa Silva; Sthefany Gonzaga Freitas; Eliandra Maria Bianchini Oliveira; e Andreia Santos Cezário

**Alice Alves Batista Leonardo – Email: alice.alves@estudante.ifgoiano.edu.br*

Resumo: O Brasil ocupa a 3ª colocação mundial na produção de leite, com 35,4 bilhões de litros em 2023, evidenciando o crescimento da bovinocultura leiteira nacional. Para sustentar esse avanço, é essencial que os produtores adotem práticas de manejo baseadas em indicadores zootécnicos, especialmente na fase de recria, quando o acompanhamento do crescimento das bezerras é determinante para o desempenho futuro do rebanho. A curva de crescimento, que descreve o desenvolvimento corporal dos animais ao longo do tempo, constitui ferramenta fundamental para orientar decisões relacionadas à nutrição, reprodução e seleção genética, além de fornecer subsídios a programas de melhoramento. Este estudo foi desenvolvido no IF Goiano – Campus Morrinhos, com sete novilhas leiteiras ½ Holandês ½ Gir, acompanhadas do nascimento até os 24 meses de idade. Os dados mensais de peso foram ajustados por diferentes modelos não lineares (Gompertz, von Bertalanffy, Meloun I, Meloun II e Weibull), utilizando-se critérios de qualidade de ajuste como coeficiente de determinação (R^2), erro quadrático médio de predição (MEP), AIC, BIC e porcentagem de convergência. Os resultados mostraram que os modelos Meloun I e Weibull apresentaram baixo desempenho, com menores valores de convergência e altos erros de predição. O modelo Gompertz apresentou melhor ajuste, com $R^2 = 0,99$, MEP = 29,8, AIC = 196,7 e BIC = 196,5, além de 100% de convergência. O modelo von Bertalanffy também obteve 100% de convergência, mas desempenho inferior nos demais inferior nos demais critérios. Conclui-se que o modelo Gompertz é o mais adequado para descrever o crescimento de bezerras ½ Holandês ½ Gir, fornecendo estimativas confiáveis para uso no manejo da recria, seleção genética e melhoria da eficiência produtiva.

Palavras–chave: AIC; BIC; curva de crescimento; modelos não lineares; novilhas leiteiras;

INTRODUÇÃO

O Brasil segue em destaque na produção mundial de leite, ocupando a 3° colocação no ranking global. A produção nacional alcançou 35,4 bilhões de litros, registrando crescimento de 2,4% em relação ao ano anterior (1)

Entre as regiões, o sul liderou com cerca de 11,9 bilhões de litros, correspondendo aproximadamente 33,6% da produção total do país (2). Logo em seguida vem o sudeste, com produção próxima de 11,7 bilhões de litros, representando 33% do total (3). A região nordeste teve destaque em crescimento, alcançando cerca de 6,3 bilhões de litros, o que equivale a 17,8% da produção brasileira (1). O centro-oeste apresentou um leve recuo, ficando em torno de 3,8 bilhões de litros (aproximadamente 11%) (2), enquanto o norte respondeu por um volume menor, entre 1,7 a 2,0 bilhões de litros, o que representa cerca de 5% da produção nacional (2).

Com números tão expressivos, é possível observar o cenário da bovinocultura de leiteira brasileira em crescimento. Para que esse crescimento ocorra com índices excelentes, é necessário que os produtores de leite tenham cada vez mais consciência em relação ao controle e análise dos índices zootécnicos de sua propriedade. No que diz respeito à parte de recria da produção, é extrema importância a coleta de dados relacionados ao crescimento e desenvolvimento dos animais que serão as futuras produtoras de leite do plantel.

A maneira mais adequada de se avaliar o crescimento dos animais é por meio da chamada curva de crescimento, a qual permite estimar parâmetros biológicos como peso à maturidade, taxa de crescimento e idade ao primeiro parto, sendo uma ferramenta de grande utilidade no manejo da recria (4 e 5).

As curvas de crescimento são fundamentais para programas de melhoramento genético, os resultados que se obtém com elas ajudam a visar o tempo (idade) ideal para o abate do animal, ou seja, o momento da maturidade (6).

As curvas de crescimento apresentam formato sigmóide que representa tempo de abate (idade) e peso. As taxas de crescimento são influenciadas pelo sexo, ano e mês de nascimento (7). Em bovinos essa curva pode ser dividida em nascimento, puberdade e maturidade.

Animais apresentam algumas fases de crescimento: crescimento no início, redução no crescimento após a fase de puberdade, nisso o animal entra em uma fase de estabilização onde os animais começam a ter menor produção de carne e maior deposição de gordura, essa fase é chamada maturação.

De acordo com Freitas (2025) (8), a curva de crescimento na produção animal tem seus vários parâmetros que pode ser dizer que os mais importantes são: resumir, em poucos parâmetros dos modelos, as características de crescimento da população, uma vez que alguns parâmetros dos modelos não lineares utilizados possuem interpretação biológicas e identificar em uma população os animais mais pesados e os mais precoces, além de dar suporte ao processo de seleção.

Como afirma Fernandes (2013, p. 3) (9): Estudos de curva de crescimento de fêmeas leiteiras foram realizados por diversos autores. Analisaram parâmetros de peso à maturidade de fêmeas Holandesas e cruzamentos, concluindo que a função Logística subestima esse parâmetro, a função Brody superestima, enquanto as funções Gompertz e Richards melhor estimam o peso à maturidade (10). Avaliaram a curva de crescimento de fêmeas Guzerá, Gir e mestiças de Holandês x Guzerá e Holandês x Gir e observaram que o modelo de Richards se ajustou bem aos dados (7). Analisaram a curva de crescimento de novilhas Holandesas e verificaram que o modelo de Gompertz apresentou melhor ajustamento do parâmetro peso a maturidade, destacando que as novilhas foram pesadas até a idade de 24 meses, fato que

influenciou no ajuste dos dados para os demais modelos testados (Logísticos e Brody), pois os valores estimados por esses modelos para o peso a maturidade foram bem acima do convencional (11).

Modelos não-lineares que relacionam os dados de peso-idade, são os mais adequados para se aplicar em curvas de crescimento. Os modelos que mais se usam são: Brody, von Bertalanffy e Logístico. Esses modelos são interessantes, pois eles proporcionam resultados de como a produção cresce, o quão rápido ela cresce e como esses fatores respondem a condições ou tratamentos ambientais.

A proposta deste trabalho foi comparar o uso de modelos não lineares já descritos e testados de maneira ampla na literatura com modelagens mais sofisticadas como as splines. Este projeto teve como objetivo analisar a curva de crescimento de novilhas leiteiras meio sangue Holandês/Gir, utilizando modelos não lineares aplicados a dados de peso coletados desde o nascimento até os 24 meses de idade.

MATERIAL E MÉTODOS

O projeto foi conduzido no IF Goiano – Campus Morrinhos, a uma altitude de 885 m e localização -17° 49’ S e 49° 12’ O. O clima conforme Köppen é Aw, tropical com estação seca. Com temperatura em torno de 23,3 °C e o regime pluviométrico de 1.346 mm. Foi desenvolvido entre o período de agosto de 2024 a julho de 2025. Os dados utilizados são de origem de novilhas leiteiras oriundas do setor de bovinocultura do Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos. Foram utilizados 7 animais (fêmeas) para a coleta do peso corporal das bezerras leiteiras, com graus de sangue ½ Holandês ½ Gir, provenientes do Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos. Foram utilizados pesos mensais, do nascimento (P0) ao peso adulto, aos 690 dias de idade, totalizando 24 registros de peso de cada animal. As novilhas leiteiras foram criadas em piquetes sombreamento natural, bebedouros e local adequado para sua alimentação, a nutrição foi feita através de silagem e concentrados na quantidade adequada para o seu desenvolvimento e crescimento.

O conjunto de dados coletados foram submetidos à análises preliminares para validação dos dados coletados e eliminação dos valores discrepantes. A partir dessa etapa, o objetivo foi identificar o melhor modelo não linear capaz de descrever a curva de crescimento dos animais em cada linhagem e que seja comum aos três grupos. Os modelos estudados no trabalho foram von Bertalanffy, Gompertz, Meloun I, Meloun II e Weibull.

Para cada modelo escolhido, foram considerados parâmetros específicos com interpretação biológica, com peso adulto (A), o índice de maturidade (K), que indica a velocidade de crescimento em relação ao peso adulto final, e o ponto de inflexão (m), momento em que o crescimento desacelera.

Para a identificação do melhor modelo foram utilizados os seguintes avaliadores de ajuste: porcentagem de convergência (C%), coeficiente de determinação (R^2), erro quadrático médio de predição (R^2_{aj}), erro quadrático médio de predição (MEP), critério de Akaike (AIC) e critério de Schwarz (BIC).

Os modelos foram ajustados pelo método de Marquardt - método de otimização matemática que resolve o problema de minimização de uma função não linear, encontrando seu mínimo local, utilizando o procedimento PROC MODEL do software SAS® 9.2 (2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios para os pesos corporais, desvio padrão, coeficiente de variação, valor mínimo e valor máximo estão apresentados na tabela 1.

O valor médio de nascimento foi de 32,10, sendo este valor compatível com a literatura para as raças leiteiras especializadas (11). O ganho de peso observado, nos primeiros 90 dias, foi considerado expressivo (81 kg), o que demonstra a importância da fase de aleitamento para o desenvolvimento ponderal inicial dos animais. Oliveira et al. (2020) (12), afirmam que a qualidade e quantidade da dieta líquida influencia diretamente no crescimento e saúde futura das bezerras.

Outro ponto importante no crescimento de fêmeas leiteiras é entre os 120 e 300 dias de vida. Esta fase coincide com o período de transição de desaleitamento e adaptação ao consumo de alimentos sólidos. Nesta fase os animais passaram de 103,14 kg para 265,43 kg, ou seja, mais do que dobrou no período em questão. Nesta fase, a eficiência alimentar e o adequado fornecimento de concentrado e volumoso de qualidade são determinantes para atingir taxas de crescimento compatíveis com a meta de recria (13).

O coeficiente de variação foi maior, para os pesos iniciais, diminuindo ao longo dos registros de peso, na vida do animal. Essa variação decrescente no CV, indica maior heterogeneidade no desenvolvimento inicial das bezerras, possivelmente associada a diferenças no manejo de colostro, aleitamento e adaptação alimentar. A partir dos 150 dias, há redução do CV, estabilizando-se entre **5 e 7%** após os 300 dias, o que sugere maior uniformidade entre os animais, consequência do efeito cumulativo da nutrição sólida e do ambiente (14)

Tabela 1 – Estatística descritiva para os registros de pesos corporais de fêmeas leiteiras do nascimento aos 690 dias de vida.

Dias	Média	Desvio Padrão	Coef. Variação	Mínimo	Máximo
P0	32,10	3,80	11,85	29,60	40,40
P30	52,00	7,23	13,91	44,00	62,00
P60	64,29	9,29	14,45	55,00	77,00
P90	81,00	10,28	12,69	66,00	93,00
P120	103,14	7,10	6,89	93,00	113,00
P150	127,57	9,78	7,67	116,00	138,00
P180	149,14	13,66	9,16	132,00	169,00
P210	178,86	16,91	9,45	160,00	203,00
P240	202,43	20,82	10,28	175,00	241,00
P270	226,29	17,50	7,73	205,00	257,00
P300	265,43	19,65	7,40	242,00	302,00
P330	287,71	18,35	6,38	257,00	310,00
P360	340,71	25,29	7,42	293,00	365,00
P390	354,43	20,32	5,73	317,00	372,00
P420	387,00	28,32	7,32	360,00	435,00
P450	383,86	19,53	5,09	361,00	413,00
P480	406,29	21,84	5,38	377,00	435,00
P510	417,43	26,84	6,43	383,00	447,00
P540	436,86	24,69	5,65	406,00	465,00
P570	467,00	26,27	5,63	433,00	503,00
P600	486,71	28,25	5,80	452,00	523,00

P630	501,29	29,20	5,82	463,00	540,00
P660	506,14	22,84	4,51	481,00	535,00
P690	502,29	33,48	6,67	442,00	537,00

Entre 360 e 690 dias, o crescimento passa a ser mais moderado, variando de 340,71 kg para 502,29 kg, com menor variação relativa (CV < 7%). Esta fase é crítica para que as novilhas alcancem o peso adequado à puberdade e à primeira cobertura, garantindo precocidade reprodutiva e reduzindo o custo da recria. Para raças leiteiras, recomenda-se que as fêmeas atinjam de 55 a 60% do peso adulto no momento da primeira inseminação (15), o que parece ser atingível segundo os valores médios observados.

Em termos de aplicação prática, os dados sugerem que o rebanho avaliado apresenta crescimento satisfatório, compatível com padrões zootécnicos desejáveis para sistemas de produção leiteira intensivos. A manutenção de taxas adequadas de ganho de peso, principalmente nas fases iniciais, é fundamental para reduzir a idade do primeiro parto, otimizar o desempenho produtivo e melhorar a eficiência econômica do sistema (16).

Na tabela 2, podemos observar as estimativas dos parâmetros e critérios utilizados para avaliar qual modelo descreveu melhor o crescimento de bezerras leiteiras. Os modelos Meloun I e Weibull apresentaram os menores valores de convergência, R^2, R^2_{aj} e MEP, isso foi determinante para descartar este modelo.

Tabela 2 – Valores médios dos avaliadores da qualidade de ajuste para bezerras leiteiras

Modelo	**% convergência**	**R^2**	**R^2_{aj}**	**MEP**	**AIC**	**BIC**
Gompertz	100,0000	0,9919	0,9878	29,7888	196,6669	196,5047
von Bertalanffy	100,0000	0,1236	-0,3146	11614,1552	199,4755	199,3132
Meloun I	100,0000	-	-	-	317,5092	317,3469
Meloun II	85,7100	0,9834	0,9752	52,8713	215,8152	215,6529
Weibull	100,0000	-	-	-	302,7249	302,5627

C% = porcentagem de convergência; R^2 = coeficiente de determinação; R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; MEP = erro quadrático médio de predição; AIC = critério de informação de Akaike; BIC = critério de Schwarz.

O modelo que melhor se ajustou foi o de Gompertz (Tabela 2) que apresentou os menores valores de AIC e BIC, mas apresentou também uma porcentagem de convergência alta e valores intermediários de R^2, R^2_{aj} e MEP. O modelo de von Bertalanffy apresentou uma boa porcentagem de convergência alcançando 100%. O modelo de Meloun II obteve 85% de convergência. Os demais modelos apresentaram bons ajustes.

Autores como Silva et al. (2004) (17) e Fitzhugh (1976) (18) destacam que o ponto de inflexão da curva é crucial, pois representa a fase em que o crescimento é mais eficiente, antes da maturidade, quando há maior deposição de gordura e menor ganho de carne.

Perotto et al. (1997) (7) e Bergamasco et al. (2001) (10) reforçam que modelos como Gompertz e Richards apresentam melhor ajuste para estimar o peso à maturidade de fêmeas leiteiras.

A fundamentação teórica destaca que, além da alimentação e genética, fatores como sexo, ambiente e estação de nascimento influenciam diretamente o crescimento. A coleta e análise sistemática desses dados tornam-se ferramentas valiosas para produtores e pesquisadores. A viabilidade do projeto é garantida pela disponibilidade de infraestrutura e animais no IF Goiano – Campus Morrinhos, dispensando investimentos adicionais em insumos. O campus oferece área, instalações e equipamentos necessários. A expectativa é que os resultados obtidos possam ser aplicados tanto no meio acadêmico quanto na prática produtiva, auxiliando produtores na tomada de decisões e incentivando novos estudos sobre crescimento de bovinos mestiços leiteiros.

CONCLUSÃO

O modelo de **Gompertz** mostrou-se o mais adequado para descrever a curva de crescimento de bezerras leiteiras ½ **Holandês** ½ **Gir**, apresentando o melhor ajuste estatístico aos dados avaliados. O modelo de **von Bertalanffy** também demostrou boa convergência, embora com desempenho inferior. Esses resultados reforçaram que a escolha do modelo matemático é fundamental para representar com precisão o desenvolvimento corporal das bezerras, permitindo maior eficiência no acompanhamento zootécnico e subsidiando estratégias de manejo nutricional e reprodutivo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos pelo apoio.

REFERÊNCIAS

1. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Produção da Pecuária Municipal 2023: valor da produção da pecuária e aquicultura chega a R$ 122,4 bilhões em 2023*. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. [acesso em 10 de set 2025]. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/41352-valor-da-producao-da-pecuaria-e-aquicultura-chega-a-r-122-4-bilhoes-em-2023

2. MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA – MPA. *Produção da Pecuária Municipal 2023 – Informativo*. Brasília: MPA, 2024. [acesso em 10 de set 2025]. Disponível em: https://www.gov.br/mpa/pt-br/assuntos/noticias/ppm_2023_v51_br_informativo.pdf.

3. MILKPOINT. *IBGE: 2023 apresentou crescimento na produção brasileira total de leite*. 2024. [acesso em 10 de set 2025]. Disponível em: https://www.milkpoint.com.br/noticias-e-mercado/panorama-mercado/ibge-2023-apresentou-crescimento-na-producao-brasileira-total-de-leite-237479.

4. COELHO, J. G. et al. Análise das relações da curva de crescimento e eficiência produtiva de vacas da raça Holandesa. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 38, n. 12, p. 2230-2236, 2009.

5. PEREIRA, M. A. et al. Comparação de modelos não lineares para descrever o crescimento de fêmeas leiteiras mestiças taurino x zebu no Nordeste do Brasil. *Boletim da Indústria Animal*, Nova Odessa, v. 67, n. 3, p. 265-273, 2010.

6. SILVA, Fabiane de Lima et al. Curvas de crescimento em vacas de corte de diferentes tipos biológicos. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.46, n.3, p.262-271, mar. 2011. [acesso em 11 de set 2025]. Disponível em: https://www.scielo.br/j/pab/a/qQ34RzRGfMSZFYPyJdStw7C/?format=pdf&lang=pt.

7. PEROTTO, D.; CASTANHO, M. J. de P.; CUBAS, A. C.; ROCHA, J. L.; PINTO, J. M. Efeitos genéticos sobre as estimativas dos parâmetros das curvas de crescimento de fêmeas bovinas Gir, Guzerá, Holandês x Gir e Holandês x Guzerá. Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 719-725, 1997. [acesso em 11 de set 2025]. Disponível em: http://www.sbz.org.br/revista/artigos/104.pdf.

8. FREITAS, Alfredo Ribeiro. Curvas de Crescimento na Produção Animal. R. Bras. Zootec., v.34, n.3, p.786-795, 2005. [acesso em 11 de set 2025]. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbz/a/rHfSnXSdtRdPcDqYwVxTwsF/?format=pdf&lang=pt.

9. FERNANDES, Emanuela Costa. Curva de Crescimento de Novilhas Holandesas. Viçosa, MG, 2013. [acesso em 11 de set 2025]. Disponível em: https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/5974/1/texto%20completo.pdf.

10. BERGAMASCO, A. F.; AQUINO, L. H.; MUNIZ, J. A. 2001. Ajuste de modelos não lineares a dados de crescimento de fêmeas da raça Holandesa. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 25, n. 2, p. 235-241.

11. NOGUEIRA, J. R.; OLIVEIRA, C. A.; MARTINS, P. G. Desenvolvimento ponderal de bezerras em sistemas de produção leiteira. *Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR*, v.24, n.1, p.15–24, 2021.

12. OLIVEIRA, D. M.; SANTOS, G. T.; MACHADO, F. S. Nutrition and health in early life of dairy calves: effects on growth and future performance. *Animal Feed Science and Technology*, v.268, p.114603, 2020.

13. BITTAR, C. M. M.; FERREIRA, C. S.; PEREIRA, M. N. Nutrição de bezerras leiteiras: avanços e perspectivas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.48, p.e20190030, 2019.

14. COSTA, D. F. A.; REIS, R. B.; LOPES, F. C. F. Estratégias de manejo nutricional na recria de novilhas leiteiras. *Ciência Animal Brasileira*, v.23, p.e73264, 2022.

15. FERREIRA, G.; VALADARES FILHO, S. C.; MORAES, L. E. Performance and development of dairy heifers fed with different energy levels. *Journal of Dairy Science*, v.101, n.5, p.4496–4505, 2018.

16. SILVA, R. A.; LOPES, M. A.; CARVALHO, F. M. Impacto da idade ao primeiro parto no desempenho reprodutivo e produtivo de vacas leiteiras. *Revista de Economia e Agronegócio*, v.18, n.1, p.49–67, 2020.

17. SILVA, N.A.M. da; AQUINO, L.H. de; SILVA, F.F. e; OLIVEIRA, A.I.G. de. Curvas de crescimento e influência de fatores não-genéticos sobre as taxas de crescimento de

bovinos da raça Nelore. Ciência e Agrotecnologia, v.28, p.647-654, 2004. [acesso em 12 de set 2025] Disponível em: https://www.scielo.br/j/cagro/a/XYZTqfq38hJY3pVT7LLXDJn/abstract/?lang=pt.

18. FITZHUGH Jr., H.A.; Analysis of Growth Curves and Strategies for Altering Their Shape. Journal of Animal Science, v.42 p.1036-1051, 1976.



ISBN 978-658506230-5