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