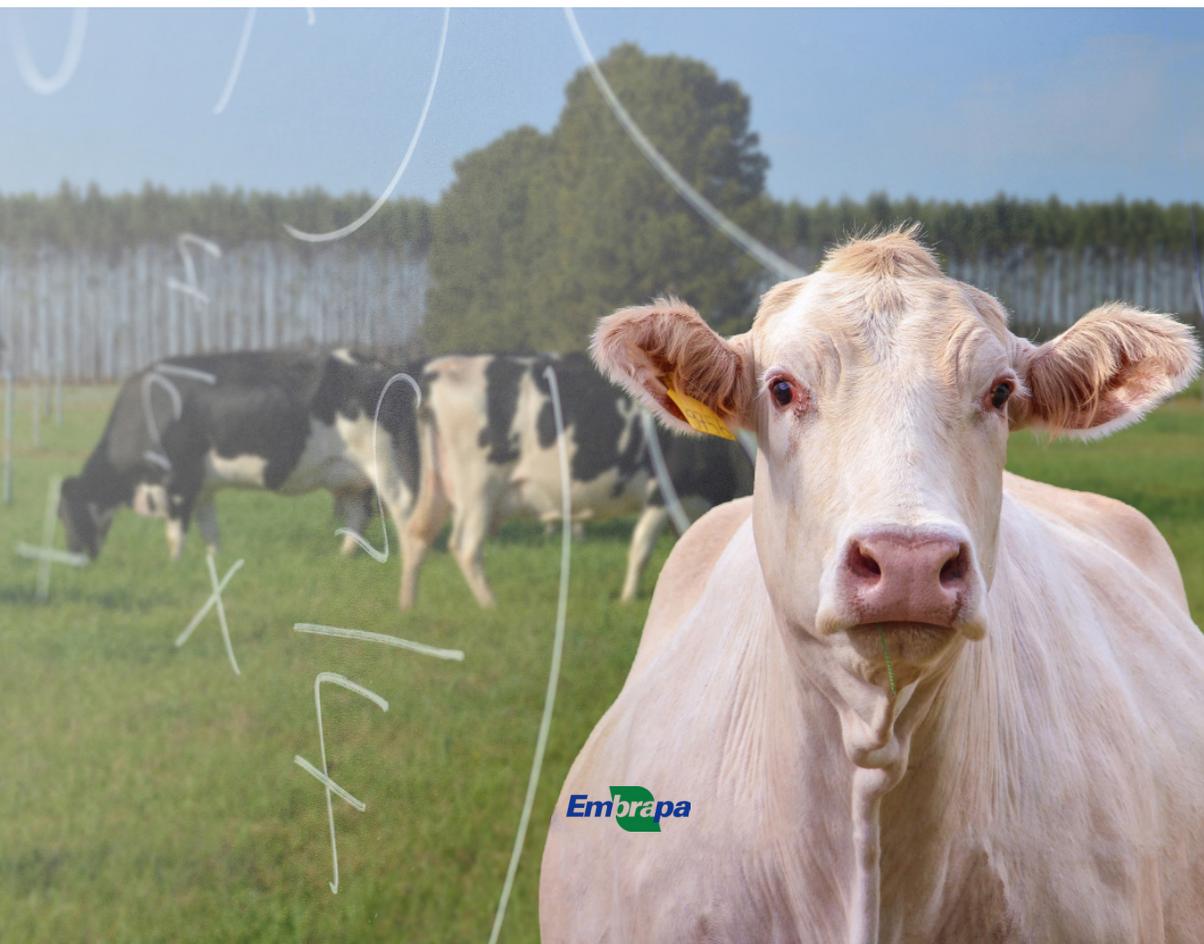


Análise da viabilidade da utilização  
de polinômios para aproximação  
da trajetória de ganho de peso de  
bovinos de corte na fase de recria



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Agricultura Digital  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

## **DOCUMENTOS 190**

# Análise da viabilidade da utilização de polinômios para aproximação da trajetória de ganho de peso de bovinos de corte na fase de recria

*Roberto Hiroshi Higa  
Camilo Carromeu  
Caroline Carvalho de Oliveira  
Roberto Giolo de Almeida  
Eduado Antonio Speranza*

***Embrapa Agricultura Digital  
Campinas, SP  
2022***

**Embrapa Agricultura Digital**  
Av. Dr. André Tosello, nº 209 - Campus da Unicamp,  
Barão Geraldo - Campinas, SP  
CEP. 13083-886 - Fone: +55 (19) 3211-5700

[www.embrapa.br/agricultura-digital](http://www.embrapa.br/agricultura-digital)  
[www.embrapa.br/fale-conosco/sac](http://www.embrapa.br/fale-conosco/sac)

Comitê Local de Publicações  
da Unidade Responsável

Presidente  
*Carla Geovana do Nascimento Macário*

Secretário-Executivo  
Maria Fernanda Moura

Membros  
*Adriana Farah Gonzalez, Alexandre de Castro, Carla Cristiane Osawa, Debora Pignatari Drucker, Ivan Mazoni, João Camargo Neto, João Francisco Gonçalves Antunes, Magda Cruciol*

Revisão de texto  
*Adriana Farah Gonzalez*

Normalização bibliográfica  
*Carla Cristiane Osawa*

Projeto gráfico da coleção  
*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Editoração eletrônica  
*Letícia Mathias do Amaral Campos*

Imagem da capa  
*Letícia Mathias do Amaral Campos*

**1ª edição**  
Publicação digital (2022): PDF

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Agricultura Digital

---

Análise da viabilidade da utilização de polinômios para aproximação da trajetória de ganho de peso de bovinos de corte na fase de recria / Roberto Hiroshi Higa ... [et al.]. - Campinas : Embrapa Agricultura Digital, 2022.  
PDF (15 p.) : il. color. - (Documentos / Embrapa Agricultura Digital, ISSN 2764-2488 ; 190).

1. Bovino de corte. 2. Gado Nelore. 3. Peso. I. Higa, Roberto Hiroshi. II. Embrapa Agricultura Digital. III. Série.

CDD (21. ed.) 636.213

## Autores

### **Roberto Hiroshi Higa**

Engenheiro Eletricista, doutor em Engenharia Elétrica, pesquisador da Embrapa Agricultura Digital, Campinas, SP

### **Camilo Carromeu**

Cientista da Computação, doutor em Ciência da Computação, analista da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS

### **Caroline Carvalho de Oliveira**

Zootecnista, Ph.D em Ciências Agrárias, bolsista de estímulo à inovação na Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS

### **Roberto Giolo de Almeida**

Engenheiro Agrônomo, doutor em Zootecnia, pesquisador da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS

### **Eduardo Antonio Speranza**

Cientista da Computação, doutor em Ciência da Computação, analista da Embrapa Agricultura Digital, Campinas, SP



## Apresentação

O projeto de pesquisa “Sistema Integrado de IoT e IA para monitoramento de indicadores de produtividade, ambientais e de bem-estar animal em sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF)” é uma parceria estabelecida entre a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPQD) e a Huawei do Brasil Telecomunicações e tem por objetivo demonstrar a viabilidade da utilização de tecnologias de Internet das Coisas (IoT) para monitoramento diário do ganho de peso e bem-estar animal. Para isso, foi desenvolvido um aplicativo que apresenta ao usuário, em tempo real, os parâmetros medidos para cada animal. Os animais monitorados se encontram em área experimental “Agrossilvipastoril”, de 18 ha, localizado na Embrapa Gado de Corte, em Campo Grande, MS. Para o experimento do projeto foram utilizados 32 animais da raça Nelore com idade aproximada de 12 meses, distribuídos em três sistemas “Agrossilvipastoril” distintos.

Na vertente do projeto “monitoramento diário de ganho de peso”, o projeto previa o acompanhamento da pesagem diária por animal, criados a pasto na fase de recria e a predição de pesos futuros a partir desses dados. Entretanto, logo constatou-se que os dados de pesagem não estariam disponíveis para toda a fase de recria prevista no projeto para realização do estudo previsto. Optou-se, então, por iniciar esses estudos utilizando dados coletados no mesmo campo experimental em anos anteriores.

Este trabalho contempla a análise de um conjunto de dados compreendendo 13 pesagens de 48 animais da raça Nelore, coletados entre 9/7/2016 a 4/6/2017 e avalia a viabilidade da aproximação da curva de ganho de peso de cada animal durante a fase de recria por polinômios de grau 2.

*Stanley Robson Medeiros de Oliveira*  
Chefe-geral da Embrapa Agricultura Digital



## Sumário

|   |    |
|---|----|
| Introdução.....                               | 8  |
| Objetivos e Procedimentos Metodológicos ..... | 9  |
| Resultados.....                               | 10 |
| Considerações Finais.....                     | 13 |
| Referências .....                             | 15 |

## Introdução

O projeto de pesquisa “Sistema Integrado de IoT e IA para monitoramento de indicadores de produtividade, ambientais e de bem-estar animal em sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF)” é uma parceria estabelecida entre a Embrapa, o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPQD) e a Huawei do Brasil Telecomunicações e tem por objetivo demonstrar a viabilidade da utilização de tecnologias de Internet das Coisas (IoT) para monitoramento diário do ganho de peso e bem-estar animal. Para isso, foi desenvolvido um aplicativo que apresenta ao usuário, em tempo real, os parâmetros medidos para cada animal. Os animais monitorados encontram em área experimental “Agrossilvipastoril”, de 18 ha, localizado na Embrapa Gado de Corte, em Campo Grande, MS. Para o experimento do projeto foram utilizados 32 animais da raça Nelore com idade aproximada de 12 meses, distribuídos em três sistemas “Agrossilvipastoril” distintos.

Na vertente do projeto “monitoramento diário de ganho de peso” foi proposto a realização de predições da data meta em que os animais atingiriam um determinado peso pré-estabelecido (peso meta), a partir da sequência de seus pesos diários. Considerando que o projeto tem foco na fase de recria, com os dados criados a pasto, há uma restrição na utilização de modelos matemáticos que descrevem trajetória de ganho de peso de animais, pois não haveria disponibilidade de dados das fases de cria e engorda. Além disso, no escopo do projeto também não seria possível coletar dados de pesagens contemplando toda a fase de recria. De fato, essas coletas se iniciaram em 17/12/2021, sendo a data prevista para término do projeto 30/04/2022.

Diante destas dificuldades, decidiu-se utilizar dados de experimento realizado em anos anteriores, contemplando toda a fase de recria, para a realização de análises preliminares no sentido de avaliar a viabilidade de alternativas para o desenvolvimento do sistema predito proposto. Usualmente, trajetórias de ganho de peso (ou crescimento) de animais, incluindo bovinos de corte são expressas por funções matemáticas não-lineares (Fitzhugh Junior, 1976; Toral, 2008; Teleken et al., 2017) ou equações diferenciais (Oltjen et al., 1986; Arnold; Bennett, 1991; Biase et al., 2017). No escopo do presente projeto, entretanto, a utilização dessas abordagens será limitada pela ausência de previsão de disponibilidade dos dados necessários para estimação dos res-

pectivos parâmetros. Por exemplo, alguns modelos mecanicistas baseados em equações diferenciais necessitam de dados sobre a dieta, e os correspondentes teores energéticos, fornecida aos animais; já para estimação dos parâmetros das funções matemáticas não-lineares, apesar de utilizarem os mesmos dados previstos no presente projeto, apenas idade e peso por animal, necessitam desses dados em todo o ciclo de vida dos animais para uma boa estimativa dos parâmetros, enquanto que o presente projeto contempla apenas a fase de recria. Considerando essas restrições, uma das possibilidades consideradas é aproximar as trajetórias de crescimento dos animais por uma função simples e que apresente propriedades matemáticas interessantes, tais como polinômios.

Neste contexto, o presente trabalho apresenta o estudo realizado com dados coletados entre 9/7/2016 a 4/6/2017 no mesmo campo experimental utilizado pelo referido projeto (Martins et al., 2020). Esses dados cobrem toda a fase de recria e são utilizados para avaliar a validade de aproximação da trajetória de ganho de peso de cada animal individualmente por meio de polinômios de grau 2, que apresentam propriedades interessantes como o fato de sua diferenciação representar a taxa de ganho de peso, que numa granularidade de dias, representa o ganho de peso diário.

## Material e Métodos

Para avaliar a aproximação local da trajetória de ganho de peso de bovinos de corte criados a pasto, foram utilizadas pesagens coletadas para 48 animais da raça Nelore (numerados de 1 a 48) referentes ao experimento apresentado em Martins et al. (2020). Esses dados foram coletados entre 9/7/2016 a 4/6/2017, totalizando 13 pesagens (numerados de 1 a 13) por animal. As pesagens correspondentes ao número 6 foram removidas do conjunto de dados por apresentarem apenas dados faltantes. Esse conjunto de dados foi utilizado para ajustar o modelo linear hierárquico, correspondente às trajetórias de ganhos de peso de cada animal, descrito por:

$$p_i(t) = \pi_{0i} + \pi_{1i} * t + \pi_{2i} * t^2 \pi_{0i} + \xi_i, \quad 1 \leq i \leq 48, \quad 0 \leq t < 13 \quad (\text{Equação 1})$$

onde:

- $\pi_{0i} = \beta_0 + u_{0i}$
- $\pi_{1i} = \beta_1 + u_{1i}$
- $\pi_{2i} = \beta_2 + u_{2i}$

$\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  são fatores fixos e representam os coeficientes do polinômio médio para todos os animais;  $u_{0i}$ ,  $u_{1i}$  e  $u_{2i}$  são fatores aleatórios e são específicos para cada animal e  $\xi_i$  é o erro. De acordo com esse modelo o peso do animal  $i$  no instante  $t$ ,  $\pi_i(t)$ , é obtido por um polinômio de grau 2. O modelo foi ajustado utilizando o critério de máxima verossimilhança, conforme implementado nos pacotes `lm4` (Bates et al., 2015) e `ImerTest` (Kuznetsova et al., 2017) do software R (The R Foundation, 2022). A representatividade do modelo foi avaliada utilizando a proporção da variância observada nos dados que é explicada pelo modelo ( $R^2$ ) e o coeficiente de correlação entre os pesos observados e os correspondentes preditos pelo modelo.

## Resultados

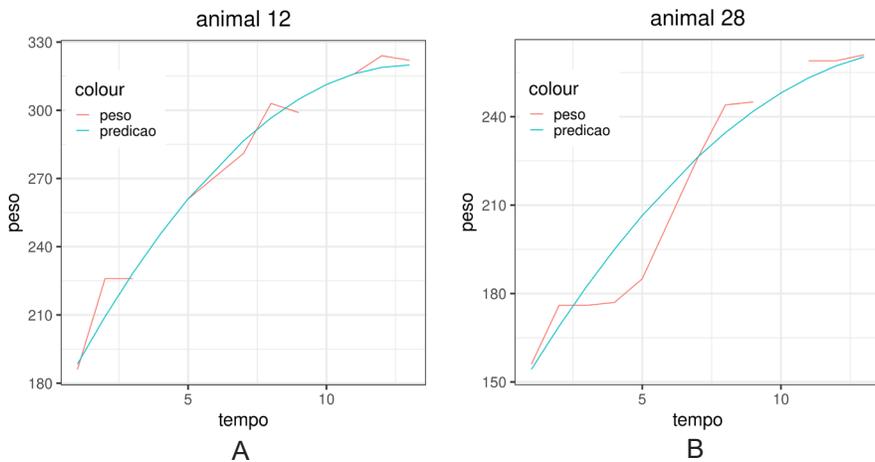
O ajuste do modelo descrito pela Equação 1 resultou em valores para os efeitos fixos,  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$ , iguais a 151,754, 20,936 e -0,817, que correspondem aos parâmetros da trajetória de ganho de peso médio para o lote de animais incluídos no experimento. A Tabela 1 apresenta os valores para os parâmetros de  $\pi_{0i}$ ,  $\pi_{1i}$  e  $\pi_{2i}$ , que inclui os desvios das correspondentes médias,  $u_0$ ,  $u_1$ ,  $u_2$ , para cada animal  $i$ . Esses parâmetros foram, então, utilizados para predição dos pesos de cada animal para  $t = 1$  a 13.

**Tabela 1.** Parâmetros  $\pi_{0i}$ ,  $\pi_{1i}$  e  $\pi_{2i}$  de polinômios de grau 2 que descrevem a trajetória de ganho de peso para cada animal  $i$ , segundo a Equação 1

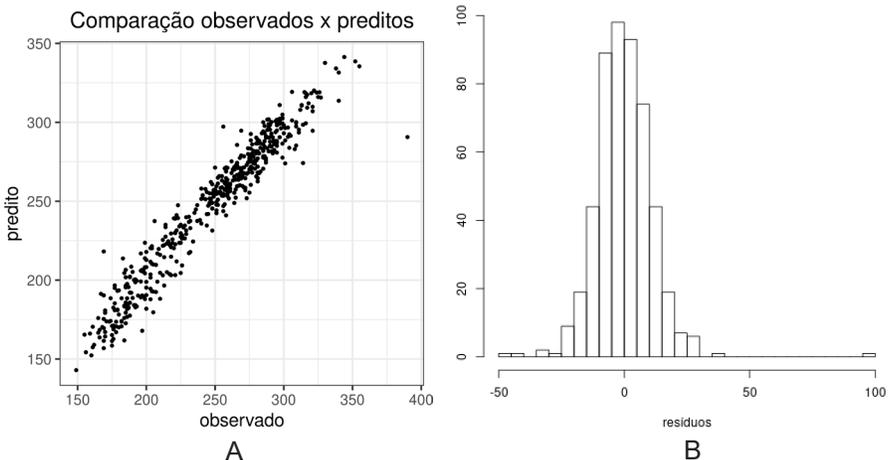
| $i$ | $\pi_{0i}$ | $\pi_{1i}$ | $\pi_{2i}$ |
|-----|------------|------------|------------|
| 1   | 158,469    | 21,977     | -0,836     |
| 2   | 148,777    | 22,936     | -1,040     |
| 3   | 146,734    | 21,186     | -0,899     |
| 4   | 155,033    | 21,828     | -0,862     |
| 5   | 148,533    | 20,122     | -0,778     |
| 6   | 154,953    | 22,684     | -0,944     |
| 7   | 146,620    | 19,572     | -0,748     |
| 8   | 150,938    | 20,000     | -0,738     |
| 9   | 153,259    | 21,431     | -0,846     |
| 10  | 150,457    | 20,406     | -0,782     |
| 11  | 144,925    | 19,517     | -0,763     |
| 12  | 165,766    | 23,560     | -0,900     |
| 13  | 160,034    | 24,308     | -1,037     |
| 14  | 152,728    | 21,887     | -0,894     |
| 15  | 141,624    | 17,449     | -0,607     |
| 16  | 153,030    | 21,406     | -0,846     |
| 17  | 141,872    | 20,526     | -0,893     |
| 18  | 141,128    | 18,548     | -0,716     |
| 19  | 159,633    | 23,658     | -0,981     |
| 20  | 163,894    | 22,150     | -0,789     |
| 21  | 151,087    | 20,332     | -0,768     |
| 22  | 157,021    | 25,423     | -1,177     |
| 23  | 136,361    | 16,540     | -0,583     |
| 24  | 147,716    | 19,692     | -0,747     |

| $i$ | $\pi_{0i}$ | $\pi_{1i}$ | $\pi_{2i}$ |
|-----|------------|------------|------------|
| 25  | 145,406    | 20,660     | -0,865     |
| 26  | 158,346    | 23,624     | -0,993     |
| 27  | 141,499    | 22,305     | -1,065     |
| 28  | 138,565    | 16,225     | -0,528     |
| 29  | 127,798    | 15,728     | -0,606     |
| 30  | 161,899    | 22,702     | -0,865     |
| 31  | 152,768    | 18,732     | -0,598     |
| 32  | 173,338    | 23,923     | -0,846     |
| 33  | 163,314    | 21,344     | -0,720     |
| 34  | 159,651    | 24,107     | -1,023     |
| 35  | 151,057    | 20,931     | -0,824     |
| 36  | 143,130    | 19,001     | -0,735     |
| 37  | 166,529    | 24,627     | -0,992     |
| 38  | 150,024    | 21,243     | -0,866     |
| 39  | 157,845    | 22,299     | -0,874     |
| 40  | 154,695    | 20,025     | -0,697     |
| 41  | 144,938    | 17,402     | -0,564     |
| 42  | 139,725    | 18,4156    | -0,720     |
| 43  | 153,631    | 19,671     | -0,676     |
| 44  | 146,454    | 20,505     | -0,838     |
| 45  | 172,301    | 24,150     | -0,879     |
| 46  | 145,318    | 19,741     | -0,780     |
| 47  | 155,821    | 20,885     | -0,765     |
| 48  | 149,544    | 19,557     | -0,713     |

A Figura 1 mostra a trajetória de ganho de peso para os animais 12 ( $\pi_0 = 165,766$ ,  $\pi_1 = 23,560$  e  $\pi_2 = -0,900$ ) e 28 ( $\pi_0 = 138,565$ ,  $\pi_1 = 16,225$  e  $\pi_2 = -0,528$ ). Pode-se notar que esses animais apresentam trajetórias bastante distintas e que ambos os exemplos apresentam valores faltantes para o peso observado. Então, o modelo ajustado permite fazer previsões para qualquer valor de  $t$  entre 1 e 13, independentemente de haver um valor observado correspondente.



**Figura 1.** Exemplos: trajetórias de ganho de peso para os animais 12 (A) e 28 (B).



**Figura 2.** Ajuste do modelo: relação entre os valores de peso preditos e observados (A); histograma dos resíduos (média = 0,000, mediana = -0,258 e desvio padrão = 11,450) (B).

O modelo ajustado apresentou um valor de coeficiente de correlação igual a 0,968 e uma proporção de variância explicada pelo modelo ( $R^2$ ) igual a 0,937. Dessa forma, ambos os valores demonstram que o polinômio de grau 2, com os parâmetros estimados para cada animal, apresenta uma capacidade de aproximação da trajetória de ganho de peso dos animais na fase de recria muito boa (Figura 2A), uma tese que é reforçada pela distribuição dos valores de resíduos obtidos do ajuste do modelo (Figura 2B). Cabe ressaltar que uma análise do número mínimo de observações para obtenção de um nível satisfatório de ajuste do modelo está fora do escopo do presente estudo.

## Considerações Finais

No presente estudo, um modelo linear nos coeficientes de um polinômio de grau 2 foi utilizado para ajustar (descrever) os dados de pesagens coletadas em experimento realizado em anos anteriores. Os resultados obtidos demonstram a factibilidade de aproximar localmente (fase de recria do ciclo de produção de bovinos de corte) a trajetória de ganho de peso de animais criados a pasto por polinômios de grau 2. Enfatiza-se que essa abordagem não requer a disponibilidade de dados representativos de todas as fases do ciclo de vida do animal, que é um requisito do projeto em que se insere o presente estudo. Apesar dessa restrição, entretanto, uma vez obtida a representação da trajetória de ganho de peso pela função de aproximação, por animal, é direta a obtenção do ganho de peso diário, bem como a realização de predições do peso futuro, desde que restrita ao período abrangido pela aproximação.

Como trabalhos futuros, tão logo os dados previstos no projeto estejam disponíveis, pretende-se inicialmente desenvolver um modelo para predição de peso futuro para a fase de recria que tenha embutido o resultado apresentado acima, ou seja, que assuma um polinômio de grau 2 como trajetória de ganho de peso de cada animal. Em relação às abordagens mais usuais para modelagem de modelo de trajetória de ganho de peso, no caso de funções matemáticas não-lineares encontra-se em avaliação as estratégias para contornar a falta previsão de dados para as demais fases do ciclo de produção de bovinos de corte. No caso de modelos mecanicistas embora sua utilização

não esteja descartada, dado a indisponibilidade de dados para ajuste dos parâmetros do modelo, no momento, não há intenção de sua utilização em trabalhos futuros.

## Referências

- ARNOLD, R. N.; BENETT, G. L. Evaluation of four simulation models of cattle growth and body composition: part I – comparison and characterization of the models. **Agricultural Systems**, v. 35, n. 4, p. 401-432, 1991. DOI: [10.1016/0308-521X\(91\)90117-S](https://doi.org/10.1016/0308-521X(91)90117-S).
- BATES, D.; MÄCHLER, M.; BOLKER, B.; WALKER, S. Fitting linear mixed-effects models using lme4. **Journal of Statistical Software**, v. 67, n. 1, p. 1-48, Oct. 2015. DOI: [10.18637/jss.v067.i01](https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01).
- BIASI, A. G.; DIAS, C. T. dos S.; BARIONI, L. G.; ALBERTINI, T. Z.; MARTORANO, L. G.; OLTJEN, J. W.; LANNA, D. P. D.; OLIVEIRA, P. P. A.; MEDEIROS, S. R. de; TORRES JUNIOR, R. A de A. Parametrization of the Davis Growth Model using data of crossbred zebu cattle. **Scientia Agricola**, v. 74, n. 1, p. 8-17, Jan./Feb. 2017. DOI: [10.1590/1678-992X-2015-0284](https://doi.org/10.1590/1678-992X-2015-0284).
- FITZHUGH JUNIOR, H. A. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. **Journal of Animal Science**, v. 42, n. 4, p. 1036-1051, 1976. DOI: [10.2527/jas1976.4241036x](https://doi.org/10.2527/jas1976.4241036x).
- KUZNETSOVA, A.; BROCKHOFF, P. B.; CHRISTENSEN, R. H. B. lmerTest package: tests in linear mixed effects models. **Journal of Statistical Software**, v. 82, n. 13, p. 1-26, Dec. 2017. DOI: [10.18637/jss.v082.i13](https://doi.org/10.18637/jss.v082.i13).
- MARTINS, D. C.; VILLELA, S. D. J.; ALMEIDA, R. G.; ARAÚJO, S. A. C.; SILVA, L. D.; PASCHOALOTO, J. R.; MARTINS, P. G. M. A. Animal performance and nutritional characteristics of Piatã-grass in integrated systems. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 72, n. 3, p. 1027-1033, 2020. DOI: [10.1590/1678-4162-11065](https://doi.org/10.1590/1678-4162-11065).
- OLTJEN, J. W.; BYWATER, A. C.; BALDWIN, R. L.; GARRETT, W. N. Development of a dynamic model of beef cattle growth and composition. **Journal of Animal Science**, v. 62, n. 1, p. 86-97, Jan. 1986. DOI: [10.2527/jas1986.62186x](https://doi.org/10.2527/jas1986.62186x).
- TELEKEN, J. T.; GALVÃO, A. C.; ROBAZZA, W. da S. Comparing non-linear mathematical models to describe growth of different animals. **Acta Scientiarum**, v. 39, n. 1, p. 73-81, 2017. DOI: [10.4025/actascianimsci.v39i1.31366](https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v39i1.31366).
- THE R FOUNDATION. **The R Project for statistical computing**. [2022]. Disponível em: <https://www.R-project.org>. Acesso em: 10 nov. 2022.
- TORAL, F. L. B. Número e intervalo de pesagens para estimação de parâmetros de curvas de crescimento em bovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 12, p. 2120-2128, dez. 2008. DOI: [10.1590/S1516-35982008001200007](https://doi.org/10.1590/S1516-35982008001200007)



---

*Agricultura Digital*