

Uso de modelos não lineares para avaliar a curva de crescimento de ovinos

Mylena Cristina Ribeiro Borges¹, Gustavo Roberto Dias Rodrigues^{2*}, Camila Raineri³, Gilberto de Lima Macedo Júnior⁴, Natascha Almeida Marques da Silva⁵

DOI: <https://doi.org/10.35699/2447-6218.2023.45002>

Resumo

Objetivou-se utilizar modelos de regressão não linear para avaliar a curva de crescimento de cordeiros. Para isso, foram utilizados dados referentes ao peso e idade de 70 cordeiros mestiços Dorper x Santa Inês nascidos entre os anos de 2016 a 2019. O sistema de produção era intensivo e semi-confinado. Os dados dos animais foram ajustados por meio dos modelos não lineares Brody, Von Bertalanffy, logístico e Gompertz. Para comparar o ajuste dos modelos foram utilizados os avaliadores de qualidade do ajuste: quadrado médio do erro (QME), coeficiente de determinação (R^2) e porcentagem de convergência (%conv). As curvas de crescimento foram feitas por ajustes individuais. Todas as análises foram realizadas utilizando o software RStudio, versão R 4.1.2. O modelo Logístico foi o que melhor estimou o parâmetro a (peso adulto) com 48,09 kg, enquanto os demais superestimaram a realidade biológica do parâmetro. Da mesma forma, apresentou o maior valor referente ao parâmetro k (taxa de maturidade) com 0,0219. Todos os modelos obtiveram coeficiente de determinação (R^2) superior a 96%. O modelo de Von Bertalanffy apresentou o menor QME (1,61), seguido de Gompertz (2,27), Logístico (2,76) e Brody (3,36). O modelo Logístico obteve a maior porcentagem de convergência de dados (87,14%), seguido de Gompertz (71,43%), Von Bertalanffy (35,71%) e Brody (10%). Portanto, o modelo logístico apresentou o melhor ajuste perante os demais com R^2 adequado, baixo QME, alta porcentagem de convergência e valor assintótico adequado, não tendendo a superestimar o peso adulto.

Palavras-chave: Avaliadores de qualidade. Modelo logístico. Peso adulto. Quadrado médio do erro.

Use of nonlinear models to evaluate the growth curve of lambs

Abstract

The objective was to use non-linear regression models to evaluate the growth curve of lambs. For this, data regarding the weight and age of 70 crossbred Dorper x Santa Inês lambs born between the years 2016 to 2019 were used. The production system was intensive and semi-confined. The animal data were adjusted using non-linear Brody, Von Bertalanffy, logistic and Gompertz models. To compare the fit of the models, the adjustment quality evaluators were used: mean square error (MSE), coefficient of determination (R^2) and percentage of convergence (%conv). The growth curves were made by individual adjustments. All analyzes were performed using the RStudio software, version R 4.1.2. The Logistic model was the one that best estimated the parameter a (adult weight) with 48.09 kg, while the others overestimated the biological reality of the parameter. Likewise, it presented the highest value for parameter k (maturity rate) with 0.0219. All models obtained a coefficient of determination (R^2) greater than 96%. Von Bertalanffy's model had the lowest SMQ (1.61), followed by Gompertz (2.27), Logistic (2.76) and Brody (3.36). The Logistic

¹Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Medicina Veterinária, Zootecnista. Uberlândia, MG. Brasil.
<https://orcid.org/0009-0005-1906-1246>

²Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Medicina Veterinária, Estudante de Zootecnia. Uberlândia, MG. Brasil.
<https://orcid.org/0000-0001-9438-3724>

³Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Medicina Veterinária, Docente do curso de Zootecnia. Uberlândia, MG. Brasil
<https://orcid.org/0000-0002-6398-5033>

⁴Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Medicina Veterinária, Docente do curso de Zootecnia. Uberlândia, MG. Brasil.
<https://orcid.org/0000-0001-5781-7917>

⁵Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Medicina Veterinária, Docente do curso de Zootecnia. Uberlândia, MG. Brasil.
<https://orcid.org/0000-0003-2318-1791>

*Autor para correspondência: grdrodrigues@outlook.com

Recebido para publicação em 03 de março de 2023. Aceito para publicação em 08 de maio de 2023.
e-ISSN: 2447-6218.



Caderno de Ciências Agrárias está licenciado
com uma **Licença Creative Commons**
Atribuição - Não Comercial 4.0 Internacional

model had the highest percentage of data convergence (87.14%), followed by Gompertz (71.43%), Von Bertalanffy (35.71%) and Brody (10%). Therefore, the logistic model showed the best fit compared to the others with adequate R^2 , low MSE, high percentage of convergence and adequate asymptotic value, not tending to overestimate adult weight.

Keywords: Adult weight. Logistic model. Mean square error. Quality evaluators.

Introdução

O conceito de crescimento animal pode ser estabelecido como as alterações ocorridas na massa e no volume de um tecido ou organismo em uma unidade de tempo (Kucukonder et al., 2020). Tais acontecimentos estão altamente associados a fatores intrínsecos e extrínsecos aos animais, como a genética e ambiência. O crescimento é uma das características mais importantes na produção animal, sendo fundamental que criadores conheçam a interação entre crescimento e idade de seus animais (Sharif et al., 2021). Dessa forma, é possível estabelecer estratégias adequadas de alimentação, manejo e reprodução, além de determinar a melhor idade para abate.

Nesse aspecto, pesquisas focadas em avaliar curvas de crescimento de diferentes espécies de animais vêm ganhando relevância e destaque na literatura. A justificativa para a alta diversidade de trabalhos envolvendo esse tema é pautada no desenvolvimento de novos métodos computacionais para análises mais rápidas e precisas, assim como a disponibilidade de diferentes modelos a serem testados (Hossein-Zadeh, 2015).

Dessa forma, várias equações não lineares foram propostas para definição de tendências de crescimento, sendo os modelos de Brody, logístico, von Bertalanffy e Gompertz os mais difundidos para tal aplicabilidade. Matematicamente, a curva de crescimento é definida como o peso corporal em função da idade, abrangendo toda ou parte da vida do animal (Sharif et al., 2021). O formato predominante das curvas de crescimento corresponde ao sigmoide, onde há uma taxa de crescimento rápida e positiva do nascimento até o ponto de inflexão. Em seguida, se observa uma redução na taxa de crescimento até sua estabilização, indicando o peso maduro do animal ou valor assintótico, (Selvaggi et al., 2017).

A aplicabilidade a campo deste tipo de pesquisa é fundamental, pois oferece base para avaliação da produtividade de um rebanho. Animais com taxa de crescimento lenta resultam em perdas de produtividade e limitam a lucratividade do sistema (Farrell et al., 2020). Os modelos conseguem descrever o ganho de peso e avaliam parâmetros biológicos, incluindo peso adulto (A), taxa de ganho de peso (B) e taxa de maturidade (K). No melhoramento animal, a principal vantagem dos modelos de crescimento é a sua utilização na seleção de animais mais apropriados para características específicas (A, B e/ou K) (Sharif et al., 2021).

A relevância desse trabalho apresenta-se por existirem poucos estudos que avaliaram a curva de crescimento de ovinos Brasil. Até a elaboração desse artigo não foram encontradas pesquisas que mensuraram o crescimento de ovinos cruzados das raças Dorper e Santa Inês (um dos mais utilizados no país), em um sistema intensivo com clima tropical, usando modelos de regressão não linear. Sendo assim, o objetivo desse trabalho é utilizar modelos de regressão não linear para avaliar a curva de crescimento de cordeiros mestiços das raças Dorper e Santa Inês. Com isso, a partir das estimativas dos parâmetros do modelo e dos avaliadores de qualidade será indicado o melhor modelo para descrever o crescimento desses animais.

Material e métodos

Animais e local

Os dados utilizados foram provenientes de registros zootécnicos do setor de ovinos e caprinos da Universidade Federal de Uberlândia, pertencente à Fazenda Experimental Capim Branco, situada na cidade de Uberlândia - MG, Brasil (latitude: 18°30'25"S, longitude: 47°50'50"O e altitude: 863 metros). Foram utilizados dados referentes ao peso e idade de 70 cordeiros mestiços Dorper x Santa Inês nascidos entre os anos de 2016 a 2019. Cada animal teve no mínimo três pesagens em idades distintas.

As pesagens dos animais foram realizadas em idades diferentes, ou seja, os intervalos e quantidades de pesagens variaram entre as unidades experimentais. Todos os cordeiros foram pesados ao nascimento e a desmama, que ocorria em média aos 60 dias de idade. A última pesagem dos animais variou entre 110 a 199 dias de idade. A Tabela 1 contém medidas descritivas referentes ao peso dos animais utilizados.

O sistema de produção abordado foi do tipo intensivo e semi-confinado. Os cordeiros ficaram confinados em baias coletivas de aproximadamente 20 m², recebendo creep feeding desde o nascimento. A dieta desses animais após o desmame era baseada em alimentos concentrados (60,00% de milho moído, 36,00% de farelo de soja, 1,00% de ureia e 3,00% de sal mineral) e silagem de milho. O concentrado apresentava aproximadamente 90,00% de matéria seca, 25,00% de proteína bruta e 82,00% de nutrientes digestíveis totais. Já a silagem de milho continha 30,00% de matéria seca, 7,00% de proteína bruta, 63,00%

de nutrientes digestíveis totais e 2,00% de extrato etéreo. Além disso, os cordeiros recebiam suplementação de sal proteinado, em cocho específico, na dose de 20g/kg/dia e água *ad libitum*. Todas as dietas fornecidas aos animais eram balanceadas de acordo com o National Research Council (NRC, 2007) para ganhos de 300g/dia.

Análises estatísticas

Os dados dos animais foram ajustados por meio dos modelos não lineares Brody, Von Bertalanffy, logístico e Gompertz (Sharif et al., 2021). A tabela 2 contém a descrição das funções utilizadas.

Tabela 1 – Peso mínimo, máximo e médio dos cordeiros avaliados durante o nascimento, desmame e última pesagem.

Idade	Peso mínimo	Peso máximo	Peso Médio	Desvio Padrão
Nascimento	2,18	5,98	3,93	0,80
Desmama	5,90	23,57	14,34	4,28
Última pesagem	21,6	54,30	35,56	7,79

Tabela 2 – Modelos não lineares usados para ajuste dos dados

Função	Equação	Nº de parâmetros
Brody	$y = a(1 - b \exp^{-kt})$	3
Von Bertalanffy	$y = a(1 - b \exp^{-kt})^3$	3
Logística	$y = \frac{a}{1 + b \exp^{-kt}}$	3
Gompertz	$y = ae^{-b \exp^{-kt}}$	3

Onde y representa o peso corporal na idade t (dia). O parâmetro a é o valor assintótico da função quando t (tempo, idade) tende ao infinito, representando o peso adulto do animal. O parâmetro b , ou constante de integração, não possui interpretação biológica e é utilizado para adequar o valor inicial do peso vivo, nesse caso, o peso ao nascer. O parâmetro k é uma função entre a taxa média de crescimento e o peso adulto do animal, sendo referido como taxa de maturidade (Sharif et al., 2021).

Para comparar o ajuste dos modelos foram utilizados os seguintes avaliadores de qualidade do ajuste: quadrado médio do erro (QME), coeficiente de determinação (R^2) e porcentagem de convergência. Juntamente com os avaliadores de qualidade de ajuste, para a determinação do melhor modelo foi utilizada a interpretação biológica da média dos parâmetros individuais estimados (Varanis et al., 2016). A interpretação biológica dos parâmetros estimados também pode ser considerado um avaliador de qualidade de ajuste, uma vez que quanto mais próximos a estimativa dos parâmetros estão da realidade biológica do animal, melhor ajuste possui um modelo.

O quadrado médio do erro evidencia a estimativa da variância residual, em que menores valores indicam o melhor modelo, sendo representado pela equação (1):

$$QME = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{(n - p)} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde QME = quadrado médio do erro; n = número de observações utilizadas para ajustar a curva; p = número de parâmetros na função

O coeficiente de determinação resulta na capacidade do modelo em se ajustar às observações. Sua expressão é dada pela equação (2):

$$R^2 = 1 - \frac{SQR}{SQT} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde R^2 = coeficiente de determinação; SQR = soma de quadrado de resíduos do modelo; SQT = soma de quadrados total.

Já a porcentagem de convergência é utilizada para ajustes individuais, sendo utilizada para observar qual modelo possui maior convergência, representada pela porcentagem de ajustes que convergiram.

As curvas de crescimento foram feitas por ajustes individuais. Todas as análises foram realizadas utilizando o software RStudio, versão R 4.1.2 (R Core Team, 2022). As estimativas iniciais, necessárias para a obtenção das estimativas dos parâmetros, foram geradas por meio do método gráfico iterativo para valores iniciais de regressão não linear, utilizando o pacote *manipulate* e função *manipulate ()* para cada um dos quatro modelos de regressão não-linear utilizados no presente estudo. Para o ajuste

individual de cada animal realizado por cada modelo foi utilizado a função $rp.nls()$. Os avaliadores de qualidade de ajuste foram obtidos pelas estimativas da função $rp.nls()$.

Resultados e discussão

Na Tabela 3 estão dispostos os resultados referentes aos parâmetros dos modelos não lineares (a, b, k) e os

avaliadores de qualidade (R^2 , QME e % conv). O modelo Logístico foi o que melhor estimou o parâmetro a (48,09 kg), enquanto os demais superestimaram a realidade biológica do parâmetro. Da mesma forma, apresentou o maior valor referente ao parâmetro k (0,0219), indicando crescimento precoce dos cordeiros.

Tabela 3 – Estimativas dos parâmetros a, b e k, coeficiente de determinação (R^2), quadrado médio do erro (QME), percentagem de convergência (% conv) de cada modelo.

Modelos	a	b	k	R^2	QME	%conv
Brody	64,38	0,94	0,0048	0,96	3,36	10,00
Logístico	48,09	8,97	0,0219	0,97	2,76	87,14
Von Bertalanffy	59,67	0,64	0,0093	0,98	1,61	35,71
Gompertz	57,34	2,69	0,0119	0,97	2,27	71,43

a = valor assintótico; b = constante de integração; k = taxa de maturidade; R^2 = coeficiente de determinação; QME = quadrado médio do erro; %conv = percentagem de convergência.

É importante ressaltar que o fato de o modelo Logístico ter apresentado a maior taxa de crescimento (k) dos animais indica o potencial desses cordeiros de atingirem a maturidade mais rápido. Em sistemas de produções de ovinos, a precocidade é um item que se deve ser levado em consideração, tendo em vista que, quanto mais veloz for desenvolvimento desses indivíduos, mais rápido os mesmos serão comercializados. Assim, são abatidos em idade mais jovem e permanecem menos tempo no sistema de produção, ocasionando menor custo com insumos (Raineri et al., 2015).

Com relação aos avaliadores de qualidade, todos os modelos elaborados obtiveram coeficiente de determinação (R^2) superior a 96%. Esse resultado indica ótima capacidade dos mesmos para predição de resíduos e descrição dos dados. Tendo em vista o quadrado médio do erro (QME), o modelo de Von Bertalanffy apresentou o menor valor (1,61), seguido de Gompertz (2,27), Logístico (2,76) e Brody (3,36). Já o percentual de convergência (%conv) é um parâmetro importante em estudos de curvas individuais de crescimento, visto que se um modelo

apresenta qualidade de ajuste alta porém percentagem de convergência baixa, tem-se um número reduzido de animais ajustados por aquele modelo. O modelo Logístico obteve a maior percentagem de convergência de dados (87,14%), seguido de Gompertz (71,43%), Von Bertalanffy (35,71%) e Brody (10%). Portanto, o modelo logístico apresentou o melhor ajuste perante os demais, tendo em vista que teve R^2 adequado com baixo QME e alta percentagem de convergência. Essas informações vão de acordo com os resultados obtidos por Van der Merwe et al. (2019), Farhadian et al. (2022) e Weber et al. (2021), onde os autores também constataram melhor capacidade de predição pelo modelo Logístico.

Para exemplificar os ajustes dos modelos, foram estimados o peso ao nascer e aos 180 dias de idade pelos modelos de Gompertz, Von Bertalanffy e Logístico. O modelo de Brody não foi representado por sua baixa convergência. Para isso foi escolhido um animal que convergiu nesses três modelos, ou seja, as pesagens desse indivíduo condizem com valores preditos pelos modelos estudados (Tabela 4)

Tabela 4 – Médias estimadas e observadas de peso ao nascer e peso aos 180 dias referentes ao animal escolhido e assintota por modelo.

Modelo	Peso ao nascer (kg)		Peso aos 180 dias (kg)		Assíntota (kg)
	Estimado	Observado	Estimado	Observado	
Gompertz	3,88		41,80		57,35
Von Bertalanffy	2,69	4,63	40,56	50,40	59,68
Logístico	4,82		40,96		48,10

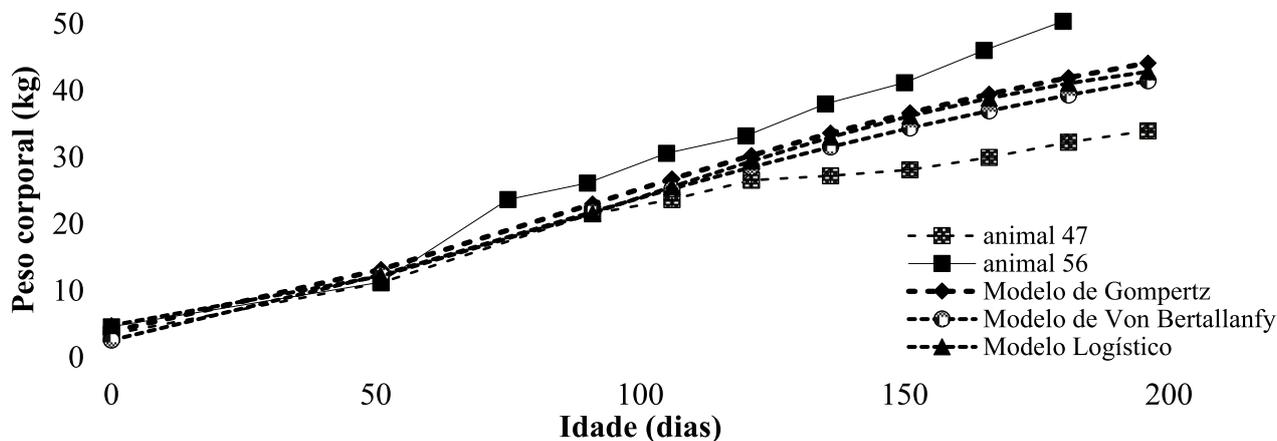
Observou-se que os três modelos obtiveram bons resultados. Porém, o Logístico teve uma maior aproximação do peso ao nascer estimado com o peso observado. Contudo, os valores estimados de peso aos 180 dias se

mostraram subestimados em relação ao valor observado para o cordeiro avaliado. Entretanto, é possível observar em relação ao peso assintótico que o modelo logístico foi que apresentou maior desaceleração do crescimento.

Para melhor visualização desses resultados foram elaborados dois gráficos representados pelas Figuras 1 e 2. Na Figura 1 é possível observar as curvas estimadas dos modelos Von Bertalanffy, Logístico e Gompertz, além

de dois animais, cordeiros 47 e 56, que apresentaram o menor (33,99 kg) e maior peso (50,40 kg), respectivamente.

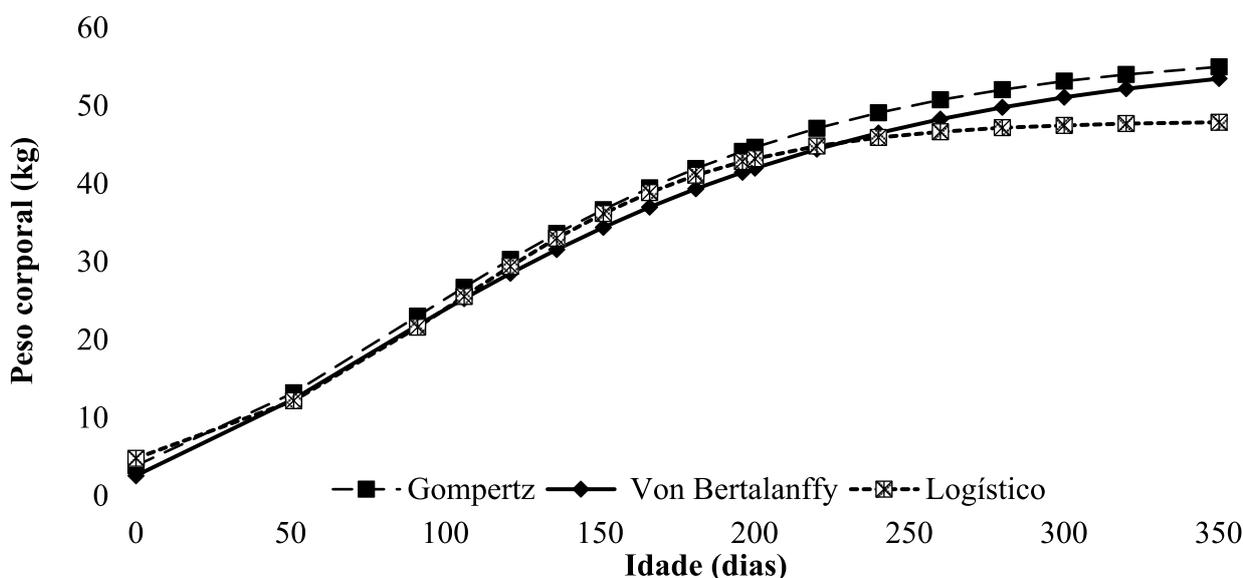
Figura 1 – Curvas de crescimento estimadas pelos modelos Gompertz, Von Bertalanffy e Logístico e crescimento dos animais 47 e 56.



Dessa forma, é possível afirmar que os três modelos demonstraram ajustes muito próximos e se aproximaram das curvas de crescimento dos animais observados, principalmente no início do crescimento. As estimativas começam a se distanciar dos dados observados por volta de 100 dias de vida, marcando o início da puberdade. Como a unidade mais velha tinha 199 dias em sua última pesagem, a figura 1 foi confeccionada até esse limite de idade, onde é possível visualizar o distanciamento dos animais observados em relação a curva estimada.

Contudo, no intuito de projetar estimativas de crescimento até a idade adulta, a figura 2 foi elaborada. Quando se compara a curva estimada de crescimento dos três modelos até um ano de idade (350 dias), observa-se que o modelo Logístico tende a se estabilizar por volta de 200 a 250 dias, mostrando uma tendência a uma curva sigmoide que é característica do crescimento. Já os modelos Von Bertalanffy e Gompertz, continuam a curva de maneira crescente, tendendo a uma superestimação do peso adulto dos animais.

Figura 2 – Curvas de crescimento com valores estimados pelos modelos Gompertz, Von Bertalanffy e Logístico.



É necessário ter cautela ao utilizar modelos que superestimem o crescimento dos animais em nível de campo, uma vez que podem ser criadas expectativas sobre

algo inviável de se acontecer. Modelos de crescimento são fundamentais para auxiliar criadores a selecionarem animais superiores por meio da taxa de crescimento e

peso adulto. Assim, haverá ampliação da produtividade do sistema por meio da prevalência de cordeiros com maior potencial de ganho de peso em um menor período de tempo.

Conclusão

Com base na análise conjunta dos avaliadores de qualidade e na interpretação biológica dos parâmetros do modelo, foi possível observar que o modelo logístico foi o mais apropriado para estimar a curva de crescimento dos animais avaliados. Esse modelo apresentou um alto coeficiente de determinação (R^2 ; 0,97), o que indica que ele explica adequadamente a variação nos dados observados. Além disso, o modelo apresentou uma alta porcentagem de convergência (%conv; 87,14%), o que indica que ele é robusto e confiável. Da mesma forma, o modelo logístico também apresentou um baixo quadrado médio do erro (QME; 2,76), o que significa representa um bom ajuste aos dados observados. O valor assintótico

co adequado (48,08 kg) e a maior taxa de maturidade (0,0219) também são indicativos de que esse modelo é capaz de estimar o peso adulto sem superestimá-lo.

A partir desses resultados, o modelo logístico pode ser útil para prever o crescimento futuro de ovinos e se tornar uma ferramenta valiosa para a tomada de decisões em criações de ovinos. No entanto, é importante ressaltar que outras pesquisas devem ser realizadas para verificar se o modelo logístico é adequado para outras raças de ovinos e em diferentes condições ambientais.

Contribuição dos autores

MCRB: autora do trabalho de conclusão de curso que originou o artigo, estudo estatístico dos dados. GRDR: Redação do artigo. CR: auxílio na orientação para direcionamento do objetivo do trabalho, discussão de resultados. GLMJ: Disponibilização de dados para pesquisa, redação do artigo. NAMS : orientação de todas as etapas do trabalho.

Referências

- Farhadian, M.; Rafat, S. A.; David, I. 2022. Determination of the best non-linear function and genetic parameters on early growth in Romane lambs. *Journal of Science and Technologies*, 10:1–9. doi: <https://doi.org/10.22103/JLST.2022.16350.1327>.
- Farrell, L. J.; Kenyon, P. R.; Tozer, P. R.; Ramilan, T.; Cranston, L. M. 2020. Quantifying sheep enterprise profitability with varying flock replacement rates, lambing rates, and breeding strategies in New Zealand. *Agricultural Systems*, 184:1–11. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102888>.
- Hossein-Zadeh, N. G. 2015. Modeling the growth curve of Iranian Shall sheep using non-linear growth models. *Small Ruminant Research*, 130:60–66. doi: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.07.014>.
- Kucukonder, H.; Demirelan, P. C.; Alkan, S.; Ozgur, B. B. 2020. Curve fitting with nonlinear regression and grey prediction model of broiler growth in chickens. *Pakistan Journal of Zoology*, 52:347–357. doi: <https://doi.org/10.17582/journal.pjz/2020.52.1.347.354>.
- National Research Council - NRC. 2007. Nutrient requirements of small ruminants. Washington, D. C.: National Academy Press., 362 p.
- R Core Team. 2022. R: A language and environment for statistical computing. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 12 de abril de 2023.
- Raineri, C.; Nunes, B. C. P.; Gameiro, A. H. 2015. Technological characterization of sheep production systems in Brazil. *Animal Science journal*, 86:476–485. Doi: <https://doi.org/10.1111/asj.12313>.
- Selvaggi, M.; Laudadio, V.; D'Alessandro, A. G.; Dario, C.; Tufarelli, V. 2017. Comparison on accuracy on diferente nonlinear models in predicting growth of Podolica bulls. *Journal of animal sciences*, 66:1126–1133. doi: <https://doi.org/10.1111/asj.12726>.
- Sharif, N.; Ali, A.; Mohsin, I.; Ahmad, N. 2021. Evaluation of nonlinear models to define growth curve in Lohi sheep. *Small Ruminant Research*, 205:1–9. doi: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2021.106564>.
- Van der Merwe, D. A.; Brand, T.S.; Hoffman, L.C. 2019. Application of growth models to diferente sheep breed types in South Africa. *Small Ruminant Research*, 178:70–78. doi: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2019.08.002>.
- Varanis, L. F.; Silva, N. A. M.; Teixeira, A. M. 2016. Seleção de modelos não lineares para estimação da curva de lactação de vacas mestiças pelo método de análise de agrupamento. *Caderno de Ciências Agrárias*, 8:28–37. doi:
- Weber, S. H.; Santos, S. K.; Heizen, B. C.; Viana, N. P.; Sotomaior, C. S. 2021. Comparison of nonlinear mathematical models for lamb growth analysis. *Tropical Animal Health and Production*, 53:1–9. doi: <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02597-3>.