

Ajuste de modelos de crescimento para frangos machos

Felipe A. Fernandes[†], Ariane R. Nogueira, Edilson M. Silva, Tales J. Fernandes, Antonio G. Bertechini

¹Doutorando em Estatística e Experimentação Agropecuária - UFLA.

²Mestranda em Zootecnia - UFLA. E-mail: arianernogueira@gmail.com.

³Doutorando em Estatística e Experimentação Agropecuária - UFLA.

E-mail: edilsonmg3@hotmail.com.

⁴Docente do programa de Pós Graduação em Estatística e Experimentação Agropecuária - UFLA.

E-mail: tales.jfernandes@ufla.br.

⁵Docente do programa de Pós Graduação em Zootecnia - UFLA. E-mail: bertechini@ufla.br.

Resumo: *Dentre os setores de animais criados para corte, o avícola tem apresentado grande ascensão, com ênfase na produção de frangos. No Brasil, este mercado movimentou milhões de reais, uma vez que, o país, além de grande consumidor, é o maior exportador desta proteína. Uma das linhagens mais utilizadas na atividade avícola de corte é a linhagem Cobb 500[®], pois apresenta altos índices de rentabilidade. Por esse motivo, compreender o crescimento desse animal auxilia na produção e manejo, e isso pode ser feito por meio de curvas de crescimento, utilizando modelos não lineares. O objetivo deste trabalho foi analisar os ajustes dos modelos não lineares de Brody, Gompertz, Logístico e von Bertalanffy na descrição do crescimento de frangos machos da linhagem Cobb 500[®]. Utilizou-se para as análises o software estatístico R. A qualidade de ajuste dos modelos foi comparada utilizando os seguintes avaliadores: coeficiente de determinação (R^2), o Critério de Informação de Akaike corrigido (AICc), o desvio padrão residual (DPR) e o erro de predição médio (EP_M). Os parâmetros dos modelos foram significativos, segundo o teste t, ao nível de 5%. Em seguida realizou-se os testes Shapiro-Wilk, Durbin-Watson e Breusch-Pagan, para a análise de resíduos. Não foi possível estimar os parâmetros do modelo Brody, pois não houve convergência dos algoritmos, no entanto, os demais modelos ajustaram bem aos dados e o de von Bertalanffy apresentou melhor qualidade de ajuste para o peso de frangos da linhagem Cobb 500[®], pois apresentou menores valores do AICc, DPR e EP_M , além de um maior R^2 .*

Palavras-chave: Curvas de Crescimento; Modelo von Bertalanffy; Regressão.

Abstract: *Among the animals raised for cutting, the poultry has shown a great rise, with emphasis on the production of chickens. In Brazil, this market moves millions of reais, since, besides being a major consumer, the country is the largest exporter of this protein. One of the most used lineages in the poultry cutting activity is the Cobb 500[®] line, because it has high rates of profitability. For this reason, understanding the growth of this animal helps in the production and management, and this can be done through growth curves using non-linear models. The objective of this work was to analyze the adjustments of the nonlinear models of Brody, Gompertz, Logístico and von Bertalanffy in the description of the growth of male chickens of Cobb 500[®]. R statistical software was used for the analyzes. The fit quality of the models was compared using the following evaluators: coefficient of determination (R^2), Corrected Akaike Information Criterion (AICc), deviation (DPR) and the mean prediction error (ME_M). The parameters of the models were significant, according to the t test, at the 5% level. Then the Shapiro-Wilk, Durbin-Watson and Breusch-Pagan tests were performed for residue analysis.*

[†]Autor correspondente: fernandesfelipepest@gmail.com.

It was not possible to estimate the parameters of the Brody model, since there was no convergence of the algorithms, however, the other models fitted well to the data and von Bertalanffy presented better adjustment quality for the chickens weight of the Cobb 500[®], as it presented lower values of AICc, DPR and MEM, in addition to a larger R².

Keywords: Growth Curves; Model von Bertalanffy; Regression.

Introdução

O setor avícola é um dos ramos do agronegócio brasileiro que tem apresentado um crescimento significativo nos últimos anos. Dentre as diversas atividades executadas dentro da avicultura, o grande destaque é a produção de frangos de corte, onde a mesma apresenta importante repercussão no mercado nacional e internacional. A atividade que antes era considerada artesanal se tornou um dos setores mais desenvolvidos em termos de tecnologia, produção e produtividade.

De acordo com dados da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2018), no ano de 2017 o Brasil produziu 13,056 milhões de toneladas de carne de frango, ocupando o segundo lugar do ranking mundial, e no quesito exportação o mesmo ocupou o primeiro lugar, exportando 4,320 milhões de toneladas. Com relação ao consumo per capita de carne de frango, o Brasil atingiu 42,07 kg/habitante no ano de 2017.

Existem diversas razões que justificam este crescente aumento no consumo de carne de frango, dentre elas podemos destacar que a carne de frango é considerada um alimento saudável, possui baixa quantidade de gordura, apresenta preço acessível e maior conveniência de preparo. Outro ponto está relacionado a criação desses animais, o Brasil apresenta inúmeras vantagens competitivas, como por exemplo: baixo custo de produção, flexibilidade para atender as exigências dos clientes, programas de biossegurança eficientes, dentre outros.

A linhagem Cobb 500[®] está dentre as mais utilizadas na atividade avícola de corte, e tem demonstrado lugar de destaque com altos índices de rentabilidade. O desenvolvimento dessa linhagem surgiu pela necessidade de um produto com conformação superior e melhor conversão alimentar, que através do cruzamento de fêmeas White Rock e machos Vantress iniciou-se a produção de aves da linhagem Cobb 500[®], cujos frangos após um rigoroso processo de seleção adquiriram características como rápido crescimento, eficiência alimentar, baixa mortalidade e alto rendimento de carcaça (Cobb Vantress Brasil 2002), tais características são imprimidas pelo melhoramento genético (SOUSA et al., 2015).

Para alcançar o sucesso em um sistema de criação de frangos de corte, é necessário adquirir uma linhagem de frangos de boa qualidade, fornecer uma dieta balanceada, proporcionar um ambiente favorável respeitando as diferentes fases de criação, realizar o manejo de forma adequada e se atentar as questões de biossegurança e bem-estar animal.

Segundo Freitas (2005) e Mazucheli et al., (2011), a descrição do crescimento animal por meio de modelos não lineares tem um papel fundamental para ajudar a maximizar o sistema, produzindo estimativas de alta precisão e parâmetros que possuem interpretação biológica.

O objetivo deste trabalho foi analisar os ajustes dos modelos não lineares de Brody, Gompertz, Logístico e von Bertalanffy na descrição do crescimento de frangos machos da linhagem Cobb 500[®].

Material e Métodos

Material

Foram utilizados dados peso-idade de 15 frangos de corte, machos, da linhagem Cobb 500[®]. Os dados foram coletados em gramas e obtidos no Centro de Pesquisa e Tecnologia Avícola (CPTA), localizado no município de Lavras, Minas Gerais, em convênio com a Universidade Federal de Lavras (UFLA). As pesagens foram realizadas a partir do 1º dia de nascimento até o 43º dia, em boas condições de manejo e nutrição, a partir do qual os frangos foram separados para o abate. As rações experimentais foram formuladas à base de milho e farelo de soja, segundo as recomendações do manual da linhagem.

Métodos

Os modelos não lineares mais utilizados em estudos de crescimento são: Logístico, Gompertz, Brody e von Bertalanffy, Richards (MISCHAN; PINHO, 2014). Neste trabalho foram comparados os modelos Brody, Gompertz, Logístico e de von Bertalanffy que são representados respectivamente pelas expressões a seguir:

$$Y_i = a \times (1 - \exp^{k(b-x_i)}) + \varepsilon_i. \quad (1)$$

$$Y_i = a \times \exp^{-\exp^{k(b-x_i)}} + \varepsilon_i. \quad (2)$$

$$Y_i = \frac{a}{1 + \exp^{k(b-x_i)}} + \varepsilon_i. \quad (3)$$

$$Y_i = a \times \left(1 - \frac{\exp(k(b-x_i))}{3}\right)^3 + \varepsilon_i. \quad (4)$$

em que para todos modelos Y_i representa os valores observados do peso para cada observação, a é a assíntota horizontal superior, ou seja, representa o peso adulto dos frangos, k representa o índice de crescimento (quanto maior for k , menos tempo os frangos levam para atingir o peso máximo), b é a abcissa do ponto de inflexão, a partir do qual passa de um crescimento acelerado para um crescimento desacelerado.

Os parâmetros de todos modelos para a descrição das curvas de crescimento dos frangos de corte, foram estimados pelo método dos mínimos quadrados. As estimativas destes parâmetros foram obtidas pelo método iterativo de Gauss-Newton implementado na função *nls()* do software *R* (R CORE TEAM, 2017) e são apresentados na Tabela 1. A significância dos parâmetros foi verificada por meio do teste t ao nível de 5%.

Inicialmente considerou-se que todos os pressupostos sobre os erros foram atendidos. A partir do vetor de erros deste ajuste, foi feita a análise de resíduos com base em testes estatísticos. Foram utilizados os testes estatísticos de Shapiro-Wilk (SW), Durbin-Watson (DW) e Breusch-Pagan (BP) para verificar a normalidade, independência e homocedasticidade residual respectivamente, ao nível de 5% de significância.

Para avaliar a qualidade de ajuste dos modelos utilizou-se Coeficiente de determinação ($R^2 = 1 - \frac{SQR}{SQT}$), o critério de informação de Akaike corrigido ($AICc = AIC + \frac{2p(p+1)}{(n-p-1)}$), em que: SQR é a soma de quadrado de resíduos; SQT é a soma de quadrado total; n é o tamanho da amostra; p é a número de parâmetros e AIC é o critério de informação de Akaike ($AIC = n \times \ln \frac{SQR}{N} + 2p$), sendo \ln o operador de logaritmo natural, o Desvio Padrão Residual ($DPR = \sqrt{\frac{QMR}{n-p}}$), e o Erro de Predição Médio ($EP_M = 100 \frac{po-pe}{po}$), sendo

po o peso observado e pe o peso estimado. O modelo mais adequado para descrever o crescimento é aquele que apresentar maior valor do R^2 e menores valores do $AICc$ e DPR e um EP_M mais próximo de zero. Estes avaliadores foram obtidos utilizando as seguintes funções $Rsq()$ e $AICc()$ do pacote $AICcmodavg$, respectivamente, no software R.

Resultados e Discussão

Foram realizados os testes SW, BP e DW para verificação de pressupostos dos resíduos. Os testes SW e BP mostraram-se que os resíduos seguem uma distribuição normal com variância constante. Já o teste de DW foi não significativo indicando que os resíduos não apresentaram dependência, exceto para o modelo Logístico, o qual foi incorporando um parâmetro autorregressivo (ϕ) de primeira e segunda ordem, no entanto, como as estimativas dos parâmetros foram não significativas optou-se em trabalhar com o modelo Logístico inicial. Na Tabela 1, pode ser visto os parâmetros estimados dos modelos Gompertz, Logístico e von Bertalanffy para a descrição das curvas de crescimento dos frangos corte.

Tabela 1: Parâmetros estimados para os modelos Logístico, Gompertz e von Bertalanffy, em estudo, para a descrição do crescimento do peso de frangos de corte.

Parâmetros	Modelos		
	Gompertz	Logístico	von Bertalanffy
a	8454,00	4076,00	27980,00
b	45,50	35,22	82,31
k	0,0350	0,1026	0,0119

Lopes et al. (2016), afirmam que para o crescimento de bovinos o modelo de Brody foi o que apresentou a estimativa do parâmetro a , mais próxima do peso adulto observado. No entanto, para os dados de crescimento da linhagem Cobb 500[®], o algoritmo de estimação dos parâmetros do modelo Brody não convergiu, o que pode ser explicado pelo comportamento exponencial do crescimento do animal no período em análise, uma vez que o modelo Brody é mais indicado para descrever o crescimento de características que já passaram pelo ponto de inflexão e estão desaceleração do crescimento.

O modelo de von Bertalanffy foi o que mais superestimou o parâmetro assintótico a , e o modelo de Logístico foi o que obteve o menor valor deste parâmetro. Nas parametrizações utilizadas o parâmetro b pode ser interpretado como abscissa do ponto de inflexão, ou seja, o momento estimado em que o crescimento desacelera.

De acordo com Jesus Junior (2007), a idade de abate das aves diminuiu de 105 dias, em 1930, para 49 dias em 1970, chegando, em 2005, a 42 dias. Nota-se que entre as estimativas do parâmetro b , o modelo Logístico foi o único que apresentou estimativa da abscissa do ponto de inflexão dentro do intervalo em estudo, que foi até o 43^o dia. Isto indica que, de acordo com os modelos Gompertz e von Bertalanffy o abate ocorreu em um momento que o crescimento ainda estava ascendente.

É de suma importância a relação da estimativa assintótica do modelo com os valores reais, uma vez que, modelos que superestimam o peso adulto são geralmente descartados na prática, por alguns pesquisadores. No entanto, descartar os modelos que superestimam a assíntota, quando o intuito é apenas avaliar um certo período, como até a idade de abate

por exemplo, pode ser inadequado. Pois, mesmo com problemas de superestimação da assíntota (que não vai mesmo ser atingida na prática uma vez que os animais são abatidos), o modelo pode apresentar boa qualidade de ajuste para as fases de desenvolvimento em estudo, conforme pode ser visto na Tabela 2 e Figura 1.

Tabela 2: Estimativas para os modelos Logístico, Gompertz e von Bertalanffy, em estudo, para a descrição do crescimento do peso de frangos de corte.

Idade (dias)	Peso	Estimativas		
		Gompertz	Logístico	von Bertalanffy
1	46,00	72,5940	118,2107	49,1519
4	80,50	116,7146	159,1537	97,4391
7	149,00	178,9644	213,5124	167,0262
10	250,00	262,9535	285,0859	259,8007
13	392,50	371,8020	378,3023	376,9714
16	525,25	507,8432	497,9944	519,1786
19	707,50	672,4059	648,9104	686,5895
22	904,25	865,6976	834,8894	878,9813
25	1070,25	1086,7967	1057,7196	1095,8134
28	1315,00	1333,7391	1315,8769	1336,2894
32	1661,25	1698,1806	1704,3799	1691,9543
34	1895,75	1893,1093	1910,6160	1884,0227
37	2232,75	2198,0683	2223,5824	2188,8535
40	2464,00	2514,3889	2527,9648	2512,5484
43	2869,25	2837,8905	2810,7905	2853,6976

O crescimento dos animais está relacionado com a capacidade de ganho de massa corporal, sendo influenciado pela alimentação, condições climáticas, sanidade e genética. O conhecimento desse processo é muito importante para os sistemas de produção de carne, pois é possível identificar fases de vida do animal que descrevem diferentes velocidades de crescimento (LOPES, 2016).

Neto, Carvalho e Mischan (2013) utilizaram os modelos não lineares Gompertz, Richards, Logístico, monomolecular e von Bertalanffy a dados de crescimento de peso em gado e ratos *Rattus norvegicus*. Para comparação dos modelos utilizaram os avaliadores de qualidade do ajuste: critério de informação de Akaike, critério de informação Bayesiano de Schwarz e erro de predição médio, concluindo que para os pesos dos *Rattus norvegicus*, os modelos von Bertalanffy, Richards e Gompertz se mostraram melhores, e para as vacas o modelo monomolecular foi o mais adequado, seguido do von Bertalanffy e Gompertz. Os avaliadores de qualidade de ajuste para os modelos em estudo são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Avaliadores da qualidade de ajuste dos modelos Logístico, Gompertz e von Bertalanffy, em estudo, para a descrição do crescimento do peso de frangos de corte.

Avaliadores	Modelos		
	Gompertz	Logístico	von Bertalanffy
R^2	0,9988	0,9968	0,9992
AIC_c	154,5104	169,4201	148,2818
DPR	33,23	54,63	27,00
EP_M	-7,6489	-19,3122	-2,5166

Os valores do coeficiente de determinação R^2 foram superiores a 0,99 indicando ajustes satisfatórios para todos os modelos analisados. Com base nos valores do EP_M , é possível afirmar que todas as funções tenderam a superestimar os pesos corporais dos animais. E como o EP_M do modelo de von Bertalanffy foi o mais próximo de zero indica-se que este modelo obteve os valores estimados mais próximos dos valores observados.

Quanto ao AIC_c e DPR o modelo de Logístico apresentou o maiores valores, e o de von Bertalanffy apresentou menores valores. Este resultado difere de Teleken et al. (2017), que no estudo de crescimento de frangos da linhagem Athens-Canadian, indicaram o modelo Gompertz como o mais apropriado para a descrição do crescimento. Já Demuner et al. (2017), afirma que o modelo Richards apresenta ótimas estimativas no estudo do crescimento de três linhagens diferentes de frangos machos e fêmeas. Confirmando assim a necessidade de estudos específicos que busquem identificar o modelo mais adequado para descrever o crescimento de frangos nas diferentes linhagens, uma vez que o padrão de crescimento de cada uma delas pode ser diferente.

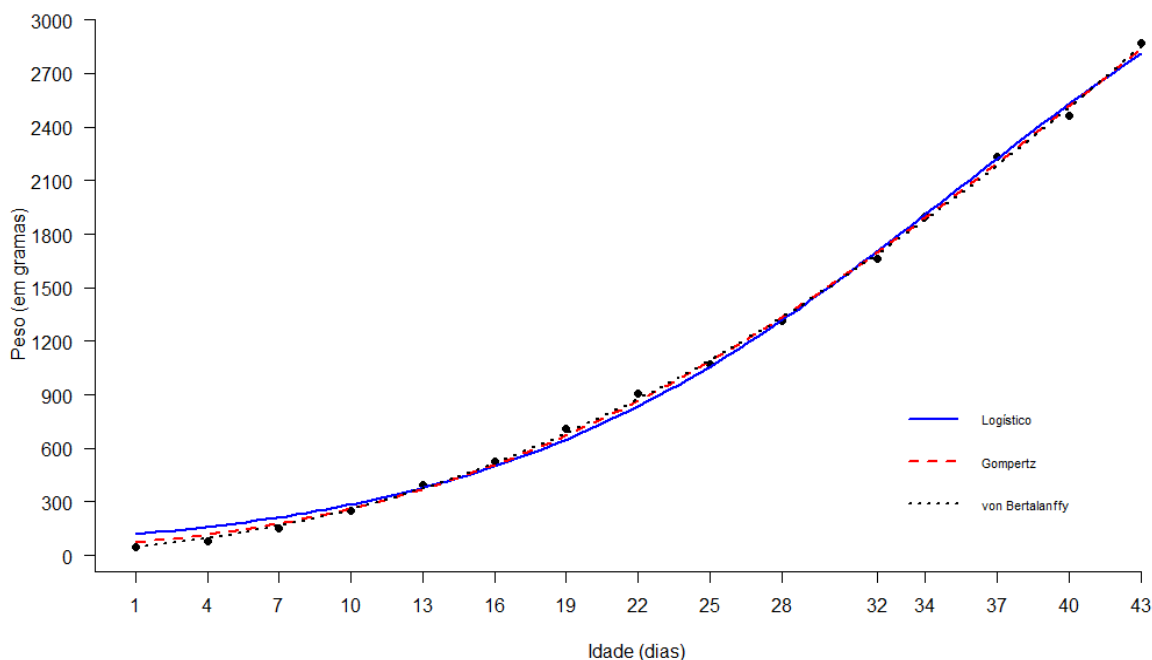


Figura 1: Ajuste dos modelos Gompertz, Logístico e von Bertalanffy na descrição do crescimento do peso de frangos da linhagem Cobb 500®.

Contudo, o resultado encontrado no presente trabalho corrobora com Louzada et al. (2014) que também no estudo com um conjunto de dados reais envolvendo pesos corpóreos

de frangos, encontrou como mais adequado o modelo multiplicativo heteroscedástico de von Bertalanffy.

O gráfico do ajuste dos modelos Logístico, Gompertz e von Bertalanffy para o peso de frangos d linhagem Cobb 500[®] está apresentado na Figura 1.

Com base na Figura 1, nota-se que as estimativas para o último valor observado, o modelo de von Bertalanffy foi o que mais se aproximou do valor amostrado, para as estimativas iniciais tem-se que o modelo Logístico superestimou os valores observados.

Conclusão

O modelo de von Bertalanffy foi o mais adequado para descrever o crescimento de frangos machos da linhagem Cobb 500[®] perante os avaliadores de qualidade de ajuste utilizados.

Descartar modelos baseando-se na superestimação da assíntota pode não ser um bom critério caso o objetivo do estudo seja modelar o crescimento em um período específico de tempo, antes da idade adulta.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

Referencias Bibliográficas

ABPA. (2018). *Relatório anual*. São Paulo: Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA). Retrieved from <http://abpa-br.com.br/storage/files/relatorio-anual-2018.pdf>

DEMUNER, L. F. et al. Adjustment of growth models in broiler chickens. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 52, n. 12, p. 1241-1252, 2017.

FREITAS, A. R. Curvas de crescimento na produção animal. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa MG, v. 34, n. 3, p. 786-795, 2005.

JESUS JUNIOR, C. A Cadeia da Carne de Frango: tensões, desafios e oportunidades. *BNDES Setorial*, n.26, p. 191-232, 2007.

LOPES, F. B. et al. Análises de dados longitudinais em bovinos Nelore Mocho por meio de modelos não lineares. *Archivos de zootecnia*, v.65, n.250, p. 123-129, 2016.

LOUZADA, F. et al. Skew-normal distribution for growth curve models in presence of a heteroscedasticity structure. *Journal of Applied Statistics*, v.41, n.8, p. 1785-1798, 2014.

MAZUCHELI, J.; SOUZA, R.M. de; PHILIPPSEN, A.S. Modelo de crescimento de Gompertz na presença de erros normais heterocedásticos: um estudo de caso. *Revista Brasileira de Biometria*, v.29, p. 91-101, 2011.

Sigmae, Alfenas, v.8, n,2, p. 788-795, 2019.

64^a Reunião da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS).
18^o Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agrônômica (SEAGRO).

- MISCHAN, M. M.; PINHO, S. Z. *Modelos não lineares: Funções assintóticas de crescimento*. 2014, 181 p.
- NETO, F. S.; CARVALHO, L. R. de; MISCHAN, M. M. Ajustes de modelos não lineares a dados de crescimento com estrutura de erros independentes e autoregressivos de primeira ordem-aplicações. *Revista Brasileira de Biometria*, p. 631-644, 2013.
- R CORE TEAM. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2012. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- SOUSA, D. C. et al. Caracterização morfológica do trato gastrointestinal de frangos de corte da linhagem Cobb 500[®]. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, v. 35, n. Supl 1, p. 61-68, 2015.
- TELEKEN, J. T. et al. Comparing non-linear mathematical models to describe growth of different animals. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v.39, n.1, p.73-81, 2017.