# MODELO VON BERTALANFFY COM RESPOSTA EM PLATÔ PARA DESCREVER CURVAS DE CRESCIMENTO DE BOVINOS DE CORTE

Tânia Jussara Silva SANTANA[1]
João Domingos SCALON[2]
Thereza Cristina Calmon BITTENCOURT[3]
Azly Santos Amorin de SANTANA[1]

- RESUMO: Modelos segmentados podem ser utilizados no estudo da curva de crescimento de animais sempre que existir alguma situação em que seja necessário usar uma função dada por leis diferentes para tentar captar alterações significativas ao longo do processo de crescimento. A primeira parte do modelo é dada por uma função linear, ou não linear, até um determinado. A partir desse o valor, a função é uma constante denominada platô de resposta. As funções mais utilizadas para a primeira parte do modelo são: linear, polinomial quadrática e exponencial. O objetivo deste trabalho foi propor o modelo não linear de Von Bertalanffy com resposta em platô para descrever curvas de crescimento de bovinos de corte. Este modelo foi ajustado em dados de pesos de vacas da raça nelore provenientes de diversas regiões do Brasil. Os dados foram coletados em oito tempos, entre 1 e 600 dias após o nascimento, pela Associação Brasileira de Criadores de Zebu (ABCZ). O modelo proposto foi comparado, estatisticamente, com os modelos com resposta em platô mais citados na literatura. Os resultados mostraram que o modelo de Von Bertalanffy com resposta em platô foi superior aos outros modelos com resposta em platô para o estudo das curvas de crescimento de vacas da raça Nelore.
- PALAVRAS-CHAVE: Modelos segmentados; regressão não linear; produção animal; melhoramento genético.

## 1 Introdução

O estudo do crescimento de animais é extremamente importante para a determinação de técnicas adequadas de manejo bem como para o melhoramento genético, uma vez que possibilita a identificação de indivíduos que crescem com maior eficiência, garantindo na maioria das vezes o sucesso da atividade. A tendência geral do crescimento para a maioria das espécies de animais de interesse econômico é uma curva na forma de *S* estendido, denominada curva de crescimento e esta representa o desenvolvimento do animal em todas as fases de sua vida.

[1] Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA, Campus de Salvador, Departamento de Matemática, CEP: 40301-015, Salvador, BA, Brasil. E-mail: *taniajussara@ifba.edu.br*; *azlly@hotmail.com*.
[2] Universidade Federal de Lavras - UFLA, Departamento de Estatística, CEP: 37200-000, Lavras, MG, Brasil. E-mail: *scalon@des.ufla.br*.
[3] Universidade Federal da Bahia - UFBA, Escola de Medicina Veterinária, Departamento de Produção Animal, CEP: 40170-110, Salvador, BA, Brasil. E-mail: *calmon@ufba.br*.

Em muitos desses estudos de crescimento pode ocorrer situações que é necessário usar uma função dada por leis diferentes no sentido de tentar captar alterações significativas ao longo do processo. Tais modelos são denominados modelos segmentados (SCHABENBERGER e PIERCE, 2002).

O modelo segmentado é uma ferramenta importante para modelar fenômenos que admitem mudança de comportamento funcional, isto é, o ponto que determina esta mudança na variável resposta, deve ser de algum interesse para o pesquisador, uma vez que representa uma alteração no padrão dos dados. Em estudos de crescimento de bovinos, esse ponto pode representar a idade em que o animal atinge a maturidade, pois, entende-se que neste momento ocorreu alguma mudança no comportamento do crescimento do animal.

Entre os modelos de regressão segmentada, destacam-se os modelos *splines* definidos por dois ou mais polinômios, um para cada intervalo de idade do animal, em que os pontos que unem esses segmentos são chamados nós (THOLON *et al*., 2012). Outro modelo do tipo segmentado que tem se destacado é o platô de resposta, o qual está definido por apenas dois segmentos: o primeiro determinado por uma curva crescente ou decrescente, que descreve o fenômeno biológico até um determinado ponto $P$ e a partir desse ponto o modelo assume esse valor $P$, constante, denominado platô, referindo à estabilização da resposta. O modelo platô de resposta é uma técnica de análise estatística que pode descrever níveis ótimos, máximos e mínimos de estudos de crescimento e decrescimento, respectivamente (SCHABENBERGER e PIERCE, 2002).

Pesquisadores têm utilizado, com sucesso, modelos segmentados em estudo de curvas crescimento de bovinos nos últimos anos. Scalez *et al*. (2011) mostram que polinômio *B*-spline quadrático com quatro intervalos se ajusta adequadamente à trajetória média de crescimento de tourinhos nelore. Tholon *et al*. (2012) afirmam que o uso de funções *splines* (segmentadas) é uma alternativa viável ao ajuste da curva de crescimento de bovinos da raça Santa Gertrudes.

Santana *et al.* (2012a) concluíram que o modelo polinomial quadrático e o modelo não linear exponencial, ambos com resposta em platô, mostraram-se adequados para o estudo de dados de crescimento de bovinos da raça nelore.

Os modelos segmentados com resposta em platô mais citados na literatura e utilizados no estudo de curvas de crescimento, tais como o linear, polinomial quadrático e exponencial, não representam todas as possibilidades dessa classe de modelos. Sempre existe a possibilidade de que um novo modelo possa apresentar um melhor desempenho em termos de convergência e interpretações biológicas dos parâmetros. Assim, o objetivo do presente artigo é propor um modelo segmentado com resposta em platô, em que o primeiro segmento do modelo é dado pela função não linear de Von Bertalanffy. O modelo proposto e os modelos segmentados com resposta em platô, mais citados na literatura, foram ajustados em dados de crescimento de vacas da raça nelore, comparados e avaliados quanto à descrição de curvas de crescimento de bovinos de corte.

## 2 Material e métodos

### 2.1 Obtenção dos dados

Foi utilizada uma base de dados de crescimento de bovinos fêmeas da raça nelore, de um conjunto de dados dos arquivos pertencentes à Associação Brasileira de Criadores de Zebu (ABCZ), situada em Uberaba, Minas Gerais. A base de dados apresentou informações sobre o peso de 1873 fêmeas criadas a pasto em rebanhos de diversas regiões brasileiras, nascidas entre os anos de 2006 e 2010. As variáveis analisadas foram os pesos médios (em kg) dos animais medidos em cada uma das seguintes idades: ao nascer, 60, 150, 240, 330, 420, 510 e 600 dias.

### 2.2 Modelos segmentados com resposta em platô

Os modelos platô de resposta avaliados no presente artigo foram: linear, quadrático, exponencial e Von Bertalanffy. Uma breve descrição desses modelos é apresentada a seguir.

O modelo linear com resposta em platô ou *Linear Response Plateau* (LRP) é definido por

$$y_i = \begin{cases} \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon_i; & x \leq x_0 \\ P + \varepsilon_i; & x_i > x_0 \end{cases} \qquad (1)$$

em que $x_0$ é a abscissa do ponto de junção da equação linear com o platô $P$, representando a idade ótima do animal, $P$ representa o peso máximo do animal, $y_i$ é a resposta (peso médio em kg), referente à idade em dias $x_i$, $\beta_0$ é o intercepto que representa o peso ao nascer e $\beta_1$ representa a inclinação ou a taxa de ganho de peso diário do animal e $\varepsilon_i \sim N(0, I\sigma^2)$ é o erro aleatório do modelo.

Para a estimação dos parâmetros do modelo LRP, o mesmo deve ser uma função contínua e diferenciável em $x = x_0$ e para ter continuidade em $x_0$, deve-se fazer $\beta_0 + \beta_1 x_0 = p$, ou seja, $x_0 = (p - \beta_0)/\beta_1$ e este valor representará a idade em que o animal atinge seu peso médio máximo, a partir do qual a resposta se estabiliza (platô), sendo $\beta_0$ e $\beta_1$ parâmetros do modelo a serem estimado. Neste caso temos um modelo com três parâmetros $\beta_0$, $\beta_1$ e $p$ .

O modelo polinomial quadrático com resposta em platô (MPQ) utilizado neste estudo é definido por

$$y_i = \begin{cases} \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x_i^2 \varepsilon_i; & x \leq x_0 \\ P + \varepsilon_i; & x_i > x_0 \end{cases} \qquad (2)$$

em que $x_0$ é a abscissa do ponto de junção da equação linear com o platô $P$, representando a idade ótima do animal, $P$ representa o peso máximo do animal, $y_i$ é a resposta (peso médio em kg) referente à idade $x_i$ em dias. $\beta_0$, $\beta_1$ e $\beta_2$ são os parâmetros do modelo a serem estimados e $\varepsilon_i \sim N(0, I\sigma^2)$ é o erro aleatório do modelo.

Pode-se observar neste modelo que para valores de $x \le x_0$, o fenômeno biológico é explicado por um modelo quadrático (parábola) e para valores de $x > x_0$, a equação explicativa é uma constante. O ponto $x_0$ é desconhecido e deve ser estimado com os demais parâmetros do modelo.

O modelo MPQ deve ser contínuo $\forall x \ge 0$, e a sua primeira derivada é dada por $\frac{\partial y_i}{\partial x_i} = \beta_1 + 2\beta_2 x_i$. Se fizermos $x = x_0$ e $\beta_1 + 2\beta_2 x_i = 0$, obteremos $x_0 = -\frac{\beta_1}{2\beta_2}$, valor que vai representar a idade em que o animal atinge seu peso médio máximo, a partir do qual a resposta se estabiliza (platô). Substituindo este valor na equação quadrática obteremos o valor máximo do modelo, que corresponde ao importante valor procurado de $P = \beta_0 - \frac{\beta_1^2}{4\beta_2}$ (platô).

O modelo não linear exponencial com resposta em platô (MNLE) foi proposto por Rezende *et al.* (2007) para estudar a exigência de zinco em frango de corte. Neste modelo tem-se que para valores de $x < x_0$ um modelo não linear exponencial que explica o fenômeno biológico e, para $x \ge x_0$, tem-se uma constante *P*, denominada platô, estabelecendo, a partir deste, a invariabilidade da resposta.

O modelo não linear exponencial com resposta em platô trabalhado neste artigo é dado por

$$y_i = \begin{cases} a \times exp\,(bx_i + cx_i^2) + \varepsilon_i; & x \le x_0 \\ P + \varepsilon_i; \; x_i > x_0 \end{cases} \quad (3)$$

em que $x_0$ é o ponto de junção da equação quadrática com o platô *P*, representando o peso máximo do animal, $Y_i$ é o peso médio dos animais em kg referente à idade $x_i$ (em dias) e $\varepsilon_i \sim N(0, I\sigma^2)$ é o erro aleatório do modelo. Então, para valores de $x_i \le x_0$, o modelo que descreve a resposta $Y_i$ é uma função não linear exponencial e para valores de $x_i > x_0$ tem-se uma constante referindo-se à estabilização da resposta (platô).

Para a estimação dos parâmetros do modelo, este deve ser contínuo e diferenciável em $x_i = x_0$. Para determinarmos o valor de $x_0$, que representa a idade ótima do animal, deve-se encontrar a primeira derivada $\frac{\partial y}{\partial x} = a(b - 2cx_i)\exp(bx - cx_i^2)$. Fazendo $x_i = x_0$ e igualando este resultado a zero teremos $x_0 = \frac{b}{2c}$ valor que vai representar a idade que corresponde ao peso ótimo do animal, a partir da qual a resposta se estabiliza (platô). Se for substituído $x_i$ por $x_0$ na equação inicial, tem-se o platô $P = a\ \exp\left(\frac{b^2}{4c}\right)$, sendo *a*, *b* e *c* os parâmetros do modelo a serem estimados.

O modelo proposto no presente artigo é o modelo de Von Bertalanfy com resposta em platô (VBRP) definido por

$$y_i = \begin{cases} A\{1 - exp[-k(x_i - b)]\} + \varepsilon_i; & x \le x_0 \\ P + \varepsilon_i; \ x_i > x_0 \end{cases} \quad (4)$$

em que $x_0$ é o ponto de junção da equação não linear com o platô $P$, representando a idade máxima do animal, $P$ é o ponto inicial do platô, representa o peso médio ótimo do animal e $y_i$ é o peso médio dos animais em kg, referente à idade $x_i$ em dias e $\varepsilon_i \sim N(0, I\sigma^2)$ é o erro aleatório do modelo. O modelo é contínuo em $x_i = x_0$ e para valores de $x_i \le x_0$, o modelo que descreve o fenômeno biológico, ou seja, a resposta $y_{i,}$ é o modelo de Von Bertalanffy e para valores de $x_i > x_0$, tem-se uma constante $p$ (platô), referindo a estabilização da resposta. Para garantir a continuidade em $x_i = x_0$, deve-se igualar as equação (07) e (08), isto é, deve-se fazer $A\{1 - \exp[-k(x_i - b)]\}$ = $p$, então fazendo $x_i = x_0$, tem-se $x_0 = \frac{kb - \log\left(1 - \frac{p}{A}\right)}{k}$ e este valor representará a idade máxima do animal, na qual o animal atinge seu peso médio ótimo e a partir desta a resposta se estabiliza (platô). Sendo $A$, $k$ e $b$, parâmetros do modelo a serem estimados. A taxa de maturidade ou velocidade com que o animal atinge a idade adulta é expressa por $k$. Os parâmetros $A$ e $b$, não possuem interpretação biológica para o modelo proposto.

As estimativas dos parâmetros dos modelos platô de resposta descritos neste trabalho foram obtidas por meio do método de mínimos quadrados, usando o método iterativo de Gauss-Newton, em que os valores iniciais dos parâmetros foram obtidos utilizando tanto a observação do diagrama de dispersão dos dados como a linearização condicional descrita em Bates e Watts (1988).

## 2.3 Avaliação da qualidade dos modelos ajustados

Para a avaliação da qualidade de ajuste dos modelos foram utilizados o quadrado médio do erro, o coeficiente de determinação e o critério de informação de Akaike (1974). O quadrado médio do erro ($QME$) é obtido por $QME = \frac{SQE(\hat{\theta})}{n-p}$, em que $SQE(\hat{\theta})$ é a soma de quadrados do erro, $n$ é o número de observações, $p$ é o número de parâmetros do modelo e $\hat{\theta}$ é o vetor das estimativas dos parâmetros dos modelos. O $QME$ expressa a variância residual proveniente do ajuste do modelo considerado e ao comparar vários modelos, quanto menor o seu valor mais adequado é o modelo. O coeficiente de determinação ($R^2$) é dado por $R^2 = 1 - \frac{SQE(\hat{\theta})}{SQT}$ em que $SQT$ é a soma de quadrados total corrigida pela média, isto é,

$$SQT = \sum_{i=1}^{n} (y_i - \bar{y})^2$$

O $R^2$ expressa a proporção da variação total observada nos dados amostrais que foi explicada pelo modelo ajustado. Assim, quanto mais próximo da unidade for o valor do $R^2$, melhor o ajuste do modelo. O critério de informação de Akaike (*AIC*) é dado por $AIC = -2\log L(\hat{\theta}) + 2(p)$, em que $p$ é o número de parâmetros do modelo a serem estimados e $L(\hat{\theta})$ é o valor máximo da função de verossimilhança do modelo no ponto $\hat{\theta}$ (AKAIKE, 1974). O AIC pode ser calculado, aproximadamente, utilizando-se a *SQE* e o comprimento do vetor de dados (*N*) que, neste trabalho, é igual o número de pesagens no tempo, ou seja, igual a 8. Assim, neste artigo, foi utilizada a seguinte equação: $AIC = -2\log(SQE/N) + 2p$. Quanto menor o valor de *AIC*, melhor o modelo ajustado (BATTES e WATTS, 1988).

Todos os cálculos foram realizados utilizando funções disponíveis e/ou construídas utilizando o *software* R (R CORE TEAM, 2015).

## 3 Resultados e discussão

O interesse pelas curvas de crescimento de bovinos de corte por meio da utilização dos modelos não lineares tem sido crescente nos últimos anos. Em geral, são utilizados modelos não lineares clássicos para descrever essas curvas tais como Brody, Von Bertalanffy, Logístico, Gompertz e Richards (FREITAS, 2007; OLIVEIRA *et al*., 2000).

Apesar da comprovada utilidade dos modelos não lineares para descrever curvas de crescimento de bovinos, sempre existe a possibilidade de que um novo modelo possa apresentar um melhor desempenho em termos de convergência e interpretações biológicas dos parâmetros. Uma tendência é utilizar modelos segmentados do tipo platô, pois os mesmos são capazes de representar a idade em que o animal atinge a maturidade, pois, entende-se que neste momento ocorreu alguma mudança no comportamento do crescimento do animal (SCHABENBERGER e PIERCE, 2002). Os modelos linear, polinomial quadrático e exponencial com resposta em platô já foram utilizados com sucesso para descrever curvas de crescimento de gado Nelore (SANTANA *et al*., 2012a). Uma extensão natural desses modelos com resposta platô é utilizar o modelo de Von Bertalanffy que tem apresentado qualidade elevada de ajuste e estimativas condizentes com a realidade quando comparado a outros modelos (FREITAS, 2007). Assim, no presente artigo ajusta-se o modelo não linear de Von Bertalanffy com resposta em platô, comparando-o com os modelos platô de resposta atualmente em uso: linear, polinomial quadrático e exponencial.

Nas Figuras de 1 a 4 são apresentados os modelos ajustados (linha contínua) aos dados de pesos médios (pontos) de fêmeas da raça nelore de diversas regiões do Brasil.

Todos os modelos convergiram, sendo que o modelo proposto de Von Bertalanffy com resposta em platô convergiu na quarta iteração. O platô de resposta linear convergiu na segunda iteração, o polinomial quadrático convergiu na segunda iteração e o não linear exponencial, convergiu na iteração de número 12.

Na Tabela 1 são apresentados os modelos ajustados, as estimativas dos parâmetros $x_0$ e $p$ desses modelos e os valores do quadrado médio do erro (QME), do coeficiente de determinação ($R^2$) e do critério de informação de Akaike (AIC).

Analisando os indicadores de adequabilidade de ajuste, cujos valores estão apresentados na tabela 1, observa-se que o $R^2$ foi muito próximo para todos os modelos.

No entanto,o modelo de Von Bertalanffy com resposta em platô apresenta os menores valores do QME e do AIC e, portanto, pode ser considerado o melhor modelo, entre os quatro analisados, para esse conjunto de dados.

Pode-se observar que nos modelos platô de resposta, os valores dos pesos ótimos estimados, indicados pelo platô *(p)*, não expressam diferenças significativas, mas, o mesmo não ocorre com relação à idade ($x_0$)do animal correspondente àquele ponto, o que sugere cautela no momento da escolha do modelo.

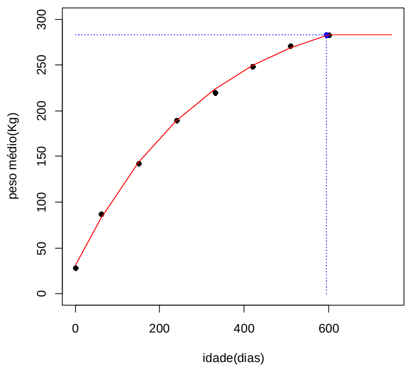


Figura 1 - Modelo de Von Bertalanffy com resposta em platô.

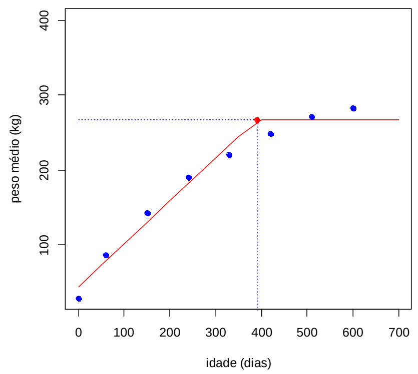


Figura 2 - Modelo linear com resposta em platô.

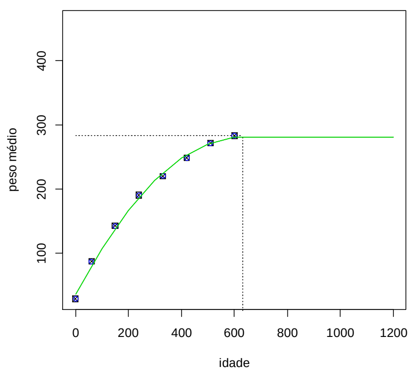


Figura 3 - Modelo polinomial quadrático com resposta em platô.

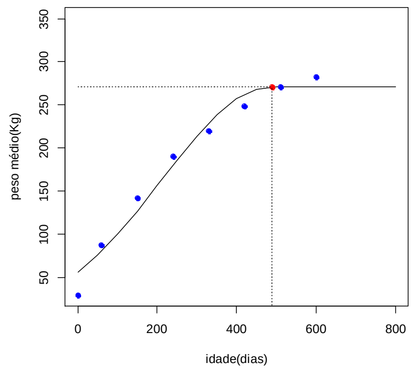


Figura 4 - Modelo não linear exponencial com resposta em platô.

Tabela 1 - Equações estimadas para os modelos estudados e ajustados em dados de crescimento de bovinos fêmeas da raça nelore das diversas regiões do Brasil

| ***Modelos*** | ***Equações*** | $R^2$ | ***QME*** | ***AIC*** | $x_0$ | $p$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **VBRP** | $y = 328,4\{1- exp[-0,0031(x + 32,16)]\}$ | 0,99 | 11,85 | 22,23 | 594,70 | 282,78 |
| ***LRP*** | $y=44,62+0,57x$ | 0,98 | 263,91 | 75,15 | 390,00 | 267,42 |
| ***MPQ*** | $y= 36,41 + 0,77x - 0,006x^2$ | 0,99 | 36,20 | 42,24 | 631,69 | 283,39 |
| ***MNLE*** | $y = 56,11exp(0,0064x-0,0000065x^2)$ | 0,97 | 309,49 | 84,69 | 490,06 | 271,27 |

VBRP: modelo proposto de Von Bertalanffy com resposta em platô; LRP: modelo linear com resposta em platô; MPQ: modelo quadrático com resposta em platô; MNLE: modelo exponencial com resposta em platô; $R^2$: coeficientes de determinação, *QME*: quadrado médio do erro, *AIC*: critério de informação de Akaike, $x_0$: idade ótima dos animais, p: peso o máximo dos animais.

Os resultados encontrados neste artigo, corroboram com os achados por Santana *et al*. (2012a, 2012b) para os modelos polinomial quadrático e não linear exponencial, ambos com resposta em platô, para descrever curvas de crescimento de gado de corte da raça nelore dos estados do Paraná e São Paulo, respectivamente. Entretanto, o modelo de Von Bertalanffy com resposta em platô, ajustado no presente trabalho, indicando que o peso médio das fêmeas da raça Nelore se estabiliza em torno próximo de 600 dias com peso, aproximado, de 300 quilos pode parecer absurdo. Afinal, diversos autores afirmam que o peso adulto na raça Nelore está entre 465 e 475 quilos (PEDROSA *et al*., 2010; ROSA *et al*., 2000). Além disso, Rosa *et al*. (2000) afirmam que a análise de peso de gado da raça Nelore seria melhor avaliada dentro do limite de quatro a doze anos. A base de dados utilizada neste trabalho consta de medidas de fêmeas jovens (menos de dois anos de idade). Isso pode explicar porque todos os modelos ajustados apresentam idade ótima para o abate e respectivo peso fora do que seria esperado para gados adulto da raça Nelore.

Assim, os modelos com resposta em platô, avaliados neste artigo, mostram-se promissores para o estudo de dados de crescimento de bovinos fêmeas da raça nelore, por possuírem características de utilização prática, uma vez que podem indicar a idade ótima do animal para o abate, representada por $x_0$, e o seu respectivo peso máximo $p$. No entanto, para a escolha do modelo, deve-se levar em conta um maior período de pesagens em um período maior de tempo.

Finalmente, entende-se que ainda são necessários mais estudos sobre curvas de crescimento em zebuinos e que existe espaço para novos modelos que possam trazer resultados mais esclarecedores e significativos para a área.

## Conclusões

Tendo como base os resultados obtidos pode-se concluir que o modelo de Von Bertalanffy com resposta em platô, foi superior aos outros modelos com resposta em platô para descrever curvas de crescimento de bovinos fêmeas da raça nelore provenientes de diversas regiões brasileiras.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES pelas bolsas concedidas a primeira e quarta autora, a Associação Brasileira de Criadores de Zebu (ABCZ) pelos dados fornecidos e aos dois revisores pelas sugestões que propiciaram uma melhora considerável no trabalho.

SANTANA, T. J. S.; SCALON, J. D.; BITTENCOURT, T. C. C.; SANTANA, A. S. A. A von Bertalanffy model with response plateau to describe growth curves of beef cattle. *Rev. Bras. Biom*., Lavras, v.34, n.4, p.646-655, 2016.

- *ABSTRACT: Segmented models can be used to study the growth curve of animals whenever there is a situation where you need to use a function given by different laws in order to capture significant changes during the growth process. The first part of the model is given by a linear or non-linear function up to a given value. From that value, the function is a constant called plateau response. The most commonly used functions for the first part of the model are: linear, quadratic polynomial and exponential. The aim of this work was to propose the non-linear Von Bertalanffy's model with response plateau to describe growth curves of beef cattle. This model was fit in weight data of Nelore cows from different regions of Brazil. The data was collected in eight times, between 1 and 600 days from birth, by the Brazilian Association of Zebu Breeders (ABCZ). The proposed model was compared, statistically, to the models most cited in the literature. The results showed that the von Bertalanffy's model with response plateau provided better fit than the other response plateau models for the study of growth curves of Nellore cows.*
- *KEYWORDS: Segmented models; nonlinear regression; animal production; breeding.*

## Referências

AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions Automomatic Control*, v.19, n.6, p.716-723, 1974.

BATES, D. M.; WATTS, D. G. *Nonlinear regression analysis and its applications*. New York: Wiley, 1988. 334p.

FREITAS, A. R. *Curvas de crescimento na produção animal*. São Carlos: EMBRAPA Pecuária Sudeste, 2007. 30p. (Documentos, 68).

OLIVEIRA, H. N.; LÔBO, R. B.; PEREIRA, C. S. Comparação de modelos não-lineares para descrever o crescimento de fêmeas da raça Guzerá. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, n.9, p.1843-1851, set. 2000.

PEDROSA, V. B. *et al*. Parâmetros genéticos do peso adulto e características de desenvolvimento ponderal na raça Nelore. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v.11, n.1, p 104-113, 2010.

R CORE TEAM. *R: a language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2015. Disponível em: <http://www.r-project.org>. Acesso em: 10 dez. 2015.

REZENDE, D. M. L. C. *et al*. Ajuste de modelos de platô de resposta para a exigência de zinco em frangos de corte. *Ciência e Agrotecnologia*, v.31, n.2, p.468-478, mar./abr. 2007.

ROSA, A. N. *et al*. Variabilidade genética do peso adulto de matrizes em um rebanho Nelore do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.29, n.6, p.1706-1711, 2000.

SANTANA, T. J. S. *et al*. Ajuste de modelos platô de resposta em dados de crescimento de bovinos da raça nelore do Estado de São Paulo. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 57., 2012, Piracicaba. Anais... Piracicaba: RBRAS, 2012a.p.108.

SANTANA, T. J. S. *et al*. Ajuste de modelos platô de resposta em dados de crescimento de bovinos da raça nelore do Estado do Paraná. *Revista de Estatística da UFOP*, v.2, p.74, 2012b.

SCALEZ, D. C. B. *et al*. O desenvolvimento da produção animal e a responsabilidade a novos desafios. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 48., 2011, Viçosa, MG. Anais... Viçosa, MG: UFV, 2011. 1 CD-ROM.

SCHABENBERGER, O.; PIERCE, F. J. *Contemporary statistical models for the plant and soil sciences*. 2.ed., Boca Raton: CRC, 2002. 738p.

THOLON, P. *et al*. Utilização de funções lineares e não lineares para ajuste do crescimento de bovinos Santa Gertrudes, criados a pasto. *ARS Veterinária*, v.28, n.4, p.234-239, 2012.

Recebido em 15.05.2015

Aprovado após revisão em 05.06.2016