

UTILIZAÇÃO DE FUNÇÕES LINEARES E NÃO LINEARES PARA AJUSTE DO CRESCIMENTO DE BOVINOS SANTA GERTRUDIS, CRIADOS A PASTO

USE OF LINEAR AND NONLINEAR FUNCTIONS TO FIT THE GROWTH OF SANTA GERTRUDIS CATTLE RAISED UNDER GRAZING

P. THOLON¹, R. D. M. PAIVA², A. R. A. MENDES³, D. BARROZO⁴

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho ajustar a curva de crescimento de bovinos da raça Santa Gertrudis utilizando funções *spline* e não lineares derivadas do modelo Richards e verificar a qualidade do ajuste dos modelos testados, a partir de registros de pedigree provenientes do banco de dados da Associação Brasileira de Santa Gertrudis (ABSG). O melhor modelo para ajustes em fases determinadas foi obtido a partir do modelo linear com cinco segmentos, com pontos de junção aos 179, 264, 421 e 850 dias de idade. Os valores obtidos dos coeficientes de determinação (R^2), Quadrado Médio do Resíduo (QMRes) e Erro de predição Médio (EPM) foram de 0,76 a 0,95; 6201,18 a 6840,5 e - 0,0005 a - 0,0493, este último indicando uma pequena superestimação do peso médio observado. Os animais atingiram, em média, 542,8 kg de peso adulto e 9,7 meses no ponto de inflexão. O uso de funções *splines* é uma alternativa viável ao ajuste de curvas de crescimento e para a correta determinação do desempenho do animal em idades iniciais e tardias. Os valores de peso assintótico e taxa de maturidade obtidos pelas funções não lineares fornecem uma estimativa prática sobre o desempenho final no desenvolvimento dos animais e espera-se que animais maiores sejam menos precoces. Além disso, pesagens mais frequentes deverão proporcionar melhores qualidades de ajuste.

PALAVRAS-CHAVE: Bovinocultura de corte. Desenvolvimento ponderal. Funções splines. Polinômio segmentado.

SUMMARY

This research aimed at to adjust the growth curve of Santa Gertrudis cattle using spline functions and nonlinear functions, derivated from Richards model, and to verify the quality of the fitted models, using pedigree records from the Brazilian Association of Santa Gertrudis (ABSG) datafiles. The best model to fit in certain phases was obtained using the linear model with five segments, with the junction points at 179, 264, 421 and 850 days of age. The values of R^2 , EMS and PEM ranged from 0.76 to 0.95; 6201.18 to 6840.5 and - 0.000507 to - 0.049348, the latter indicating the slightly overestimation of average weight observed. Spline functions provide a feasible alternative for the adjustment of growth curves, and accurately predict the performance of the animals in early and late ages. Asymptotic weight and mature rate obtained from nonlinear functions provide a practical estimate on final performance of animal growth and it is expected that larger animals will be worse in early finishing. In order to have better goodness of fit, more frequent records of weight should be provided.

KEY-WORDS: Beef cattle, Animal growth, Segmented polynomial, Spline functions

¹ * Embrapa Pecuária Sudeste – rodovia Washington Luiz, Km 234 - cep 13560-970, São Carlos, SP, Brasil. E-mail: patricia.tholon@embrapa.br

² UFERSA - Departamento de Ciências Animais – Campus de Mossoró

³ UFERSA - Departamento de Ciências Animais – Campus de Mossoró – Bolsista PIBIC

⁴ Secretaria de Agricultura e Abastecimento, CATI – Guaraci - SP

INTRODUÇÃO

A Santa Gertrudis é considerada a primeira raça bovina sintética formada nas Américas com base no cruzamento entre taurinos e zebuínos com a composição racial de 5/8 Shorthorn e 3/8 Brahman visando a produção econômica de carne. Essa composição genética busca a rusticidade e ganho de peso, que são importantes critérios de seleção aplicados ao melhoramento genético de bovinos de corte (ALENCAR & BARBOSA, 2010).

Os genes que influenciam o peso do animal em determinada idade, geralmente, também o afetam nas demais idades, e isso pode ser verificado pelas correlações genéticas fortemente estruturadas entre os pesos obtidos ao longo da vida do indivíduo. Este efeito pleiotrópico foi descrito por Paz & Freitas (2004) em animais cruzados entre as raças Canchim, Angus, Nelore e Simental e por Boligon et al. (2008) em bovinos da raça Nelore, dentre outros.

As características de crescimento (pesos) quando são coletadas em um mesmo animal desde o nascimento até a maturidade, permitem construir uma curva de crescimento, geralmente de formato sigmóide, a qual pode ser ajustada ou descrita por meio de funções lineares dos dados (FITZHUGH, 1976).

Alguns pesquisadores utilizam modelos lineares para o ajuste da curva média de crescimento em bovinos feitas por meio de regressões, principalmente, de quarta ordem (cúbicas), sendo estimados o intercepto, e os coeficientes de regressão linear, quadrático e cúbico. Hassen et al. (2004) utilizaram modelos cúbicos para ao ajuste da curva de crescimento em bovinos da raça Angus. Contudo, a interpretação biológica dos parâmetros da regressão não é clara, restringindo seu uso ao ajuste dos pesos dentro de modelos de desenvolvimento ponderal.

Um modelo linear alternativo que pode ser utilizado na predição e ajuste do crescimento animal é de polinômios segmentados, ou as chamadas funções *splines*, que constam de vários segmentos de polinômios de baixo grau unidos entre si em posições determinadas, chamadas nós, para formar uma curva contínua (HUISMAN et al., 2002).

As funções *splines* permitem a utilização de vários segmentos na modelagem da curva média além de proporcionar redução da multicolinearidade, problema comum em regressões com características fortemente relacionadas, facilmente verificado por meio da obtenção de valores elevados de correlação ou de coeficiente de determinação (R^2) próximos a um ou 100%, sendo que neste caso os coeficientes da regressão não apresentam significância, segundo o teste *t* convencional (JOHNSON & WICHERN, 1984).

Utilizando funções *splines*, seria possível ajustar polinômios de baixo grau em segmentos curtos da trajetória de crescimento e, desta forma, ser mais flexível no ajuste das flutuações estacionais do crescimento em bovinos (MEYER, 2000). Segundo Meyer (1999), problemas nas estimativas dos parâmetros obtidas nas extremidades do período estudado podem ser causados pela utilização de

polinômios com ordens de ajuste insuficientes ou inadequadas. Assim, espera-se que a utilização destes modelos permita ajustes refinados sobre a curva média na população, reduzindo interferências sazonais de crescimento.

A utilização das funções Logística, Brody, Von Bertalanfy e Gompertz possibilita o estudo do crescimento animal em idades adultas e o uso de modelos não lineares permite verificar a correlação existente entre os pesos em diferentes idades e a obtenção de indivíduos adultos com menor tamanho corporal (parâmetro A), maior velocidade de ganho de peso (parâmetro k), associados à diminuição da maturidade sexual e menor porcentagem de gordura na carcaça (THOLON & QUEIROZ, 2007).

Objetivou-se com este trabalho modelar a curva de crescimento de bovinos da raça Santa Gertrudis, utilizando-se funções *spline* e não-lineares, derivadas do modelo Richards, e verificar as regiões mais críticas para o ajuste da curva de crescimento média dos animais.

MATERIAL E MÉTODOS

As informações foram provenientes do banco de dados da Associação Brasileira de Santa Gertrudis (ABSG). Foram feitas as consistências do arquivo, sendo excluídas as informações anormais de pesos, considerando três desvios padrões para mais ou para menos em função da média para cada idade considerada. Também foram excluídos dados de animais que possuíam menos de três informações de pesagem. Após as consistências, o arquivo de dados constava com de 87264 informações de peso de animais de idade até 5 anos (1825 dias).

Para a estimativa dos nós ou pontos de junção das funções *splines*, foram feitas a princípio, inspeção visual, utilizando a plotagem das médias do peso. Essa análise é importante, visto que auxilia a visualização de quantos segmentos poderão compor a curva, além dos prováveis pontos onde ocorrem mudanças na curvatura. Assim, os locais de mudança na forma da curva parecem indicar regiões mais acuradas para os prováveis nós (MEYER, 2005).

Foram testados modelos, com dois, três e quatro nós (K) e, portanto, com três, quatro e cinco segmentos, respectivamente, utilizando o software estatístico SAS[®] (SAS 9.3, SAS Institute, Cary, North Carolina, USA). O modelo geral do polinômio está descrito a seguir:

$$y = a_0 + a_1X + a_2X^2 + b_1Z_1 + b_2Z_2 + b_3Z_3 + b_4Z_4$$

Em que:

$$Z_1 = (X - K_1)^2, \text{ se } X > K_1;$$

$$Z_2 = (X - K_2)^2, \text{ se } X > K_2;$$

$$Z_3 = (X - K_3)^2, \text{ se } X > K_3;$$

$$Z_4 = (X - K_4)^2, \text{ se } X > K_4.$$

No modelo descrito, y é o peso, X é a idade, a_0 é o intercepto, a_1 , a_2 , são os parâmetros linear e

quadrático, b_1 , b_2 , b_3 e b_4 são os coeficientes de regressão dos polinômios e K_1 , K_2 , K_3 e K_4 são os nós aos 179, 264, 421 e 850 dias de idade, respectivamente.

A qualidade do ajuste foi obtida de maneira a encontrar o ponto onde o quadrado médio do resíduo (QMRes) foi menor, e o coeficiente de determinação ajustado (R_a^2) maior, sendo:

$$R_a^2 = \frac{(n-1)R^2 - p}{n - p - 1}$$

Em que: p = número de parâmetros da função; n = número de observações; R^2 = coeficiente de determinação; R_a^2 = coeficiente de determinação ajustado (MAZZINI et al., 2003).

Para auxiliar na análise de precisão foi estimado o erro de predição médio (EPM), que corresponde à média de todos os erros de predição (EP), considerando-se cada observação como um desvio entre o peso observado e o peso estimado, dividido pelo peso observado e multiplicado por 100, quando expresso em porcentagem. Este valor leva um sinal (+) ou (-), designando se a função subestimou ou superestimou em média, respectivamente, o peso observado (GOONEWARDENE et al., 1981).

Foram testados também os modelos não lineares Brody, von Bertalanffy, Logístico e Gompertz através do procedimento NLIN do citado programa, utilizando-se o método modificado de Gauss-Newton sumariado por Silveira Jr. et al. (1992).

O critério de convergência utilizado foi 10 exp-9, e as equações dos modelos não lineares das curvas de crescimento estão apresentadas a seguir.

$$\text{Modelo Logístico } Y = A * (1 + b * \exp(-k * x))^{-1}$$

$$\text{Modelo Brody } Y = A * (1 - b * \exp(-k * x))$$

$$\text{Modelo von Bertalanffy } Y = A * (1 - b * \exp(-k * x))^3$$

$$\text{Modelo Gompertz } Y = A * \exp(-b * \exp(-k * x))$$

Em que:

Y = Peso estimado;

A = Peso assintótico;

b = Parâmetro escala;

k = Índice de maturidade;

x = idade.

Para a determinação do melhor qualidade de ajuste das funções não lineares foram utilizados além dos R^2 e QMRes, os erros de predição médios (EPM), além da verificação dos pontos críticos por meio da plotagem dos Erros de Predição (EP). A estimativa do EPM foi obtida calculando-se a média de todos os desvios obtidos entre os valores observados e estimados (EP), a partir de cada observação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 pode-se verificar as médias dos pesos e respectivos desvios padrão em diferentes idades. Os bezerros Santa Gertrudis nascem com peso médio ajustado pelo polinômio segmentado quadrático, quadrático, quadrático, quadrático, quadrático (PSQQQQ) de 37,454 kg e são desmamados aos sete meses, com 210,649 kg. Ao ano, pesam 299,149 kg, ao sobreano 388,960 kg, atingindo o peso mínimo de abate de 450 kg aos 24,40 meses de idade, considerando o rendimento de carcaça de 50,00%, uma vez que Henrique et al. (2004) verificaram rendimentos de carcaça de 53,17 a 54,34% em animais da raça Santa Gertrudis terminados em confinamento, enquanto que a ABSG (2011) relatou rendimento de 56,00 e 52,70% em machos e fêmeas, respectivamente.

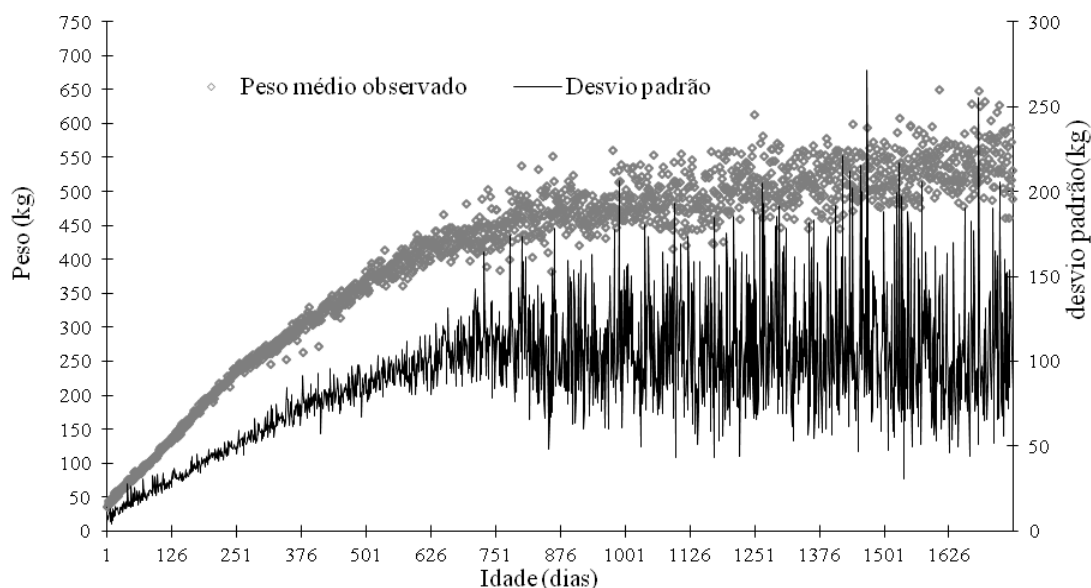


Figura 1 – Valores médios e desvios padrões dos pesos observados em relação a idade de bovinos da raça Santa Gertrudis.

Na fase inicial do crescimento, observa-se menor variação, expressa pelo desvio padrão, porém, com o avanço da idade as variâncias tornam-se mais amplas, dificultando a qualidade do ajuste. Essa diferença na variação é, geralmente, atribuída a fatores decorrentes do menor número de dados e ao efeito acumulativo dos efeitos que a promovem durante o desenvolvimento dos animais, bem como a dependência dos valores de desvio padrão em relação à magnitude dos dados. Assim, maiores valores de peso apresentariam maiores valores de desvios-padrão.

O melhor ajuste da curva média de crescimento foi obtido com a utilização do modelo Brody (Tabela 1). Contudo, entre as funções *splines*, o menor valor de QMRes foi obtido utilizando os polinômios quadráticos, segmentados nas posições 179, 264, 421 e

850 dias de idade, sendo os valores do intercepto (a_0) e coeficientes de regressão (a_1 , a_2 , b_1 , b_2 , b_3 e b_4), correspondentes a 37,45397; 0,76481; 0,0003389; -0,00242; 0,00208; -0,00048392 e 0,00046703, respectivamente.

Os modelos lineares e não lineares testados representaram adequadamente os pesos, apresentando baixos erros de predição médios, indicando pequena superestimação do peso médio observado (Tabela 1 e Figuras 2 e 3). As estimativas residuais foram muitos próximas (Tabela 1), sugerindo a adequação dos modelos (Glasbey, 1988). Observa-se, contudo, maiores dificuldades no ajuste dos pesos em idades tardias (Figuras 2 e 3), sendo o mesmo relatado por Meyer (1999).

Tabela 1 - Valores obtidos de peso assintótico (A), constante de integração (B), taxa de maturidade (K), coeficientes de determinação (R^2), quadrado médio do resíduo (QMRes), erro de predição médio (EPM) dos modelos: polinômio segmentado com cinco segmentos quadráticos (PS QQQQQ), Logístico, Brody, Gompertz e von Bertalanffy, sobre a curva de crescimento de bovinos da raça Santa Gertrudis.

MODELO	A	B	K	R^2	QMRes	EPM
PS QQQQQ	-	-	-	0,76	6201,2	-0,012320
Logístico	527,5	4,3148	0,00452	0,95	6840,5	-0,049348
Brody	561,8	0,9614	0,00198	0,95	6638,4	-0,000507
Gompertz	538,2	1,9574	0,00322	0,95	6706,8	-0,032533
von Bertalanffy	543,7	0,5105	0,00280	0,95	6669,9	-0,023571

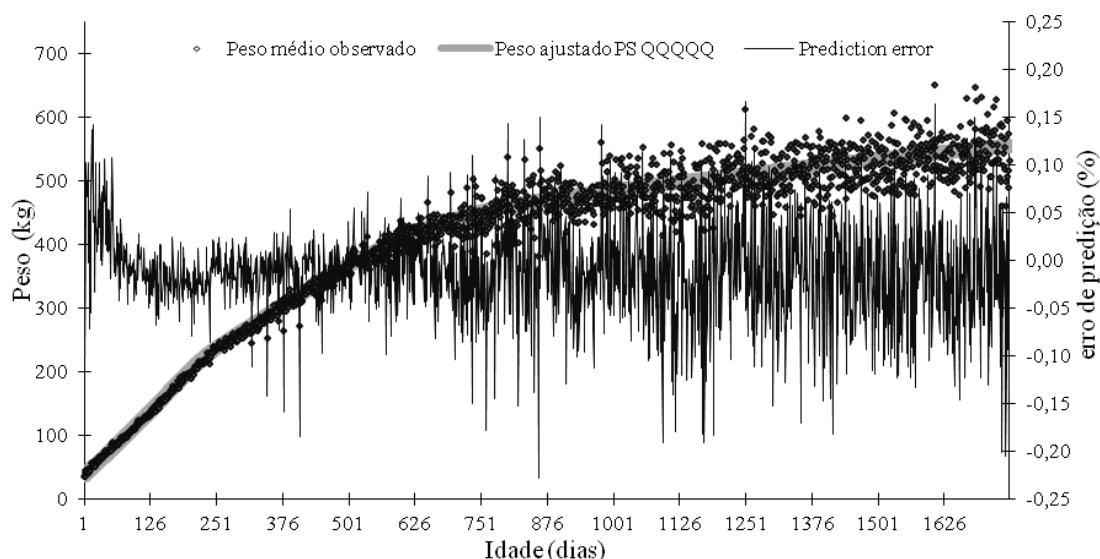


Figura 2 – Pesos ajustados e Erros de Predição (EP) de bovinos da raça Santa Gertrudis, em função da idade, utilizando o modelo de polinômio segmentado com cinco segmentos (PS QQQQQ) com nós aos 179, 264, 421 e 850 dias de idade.

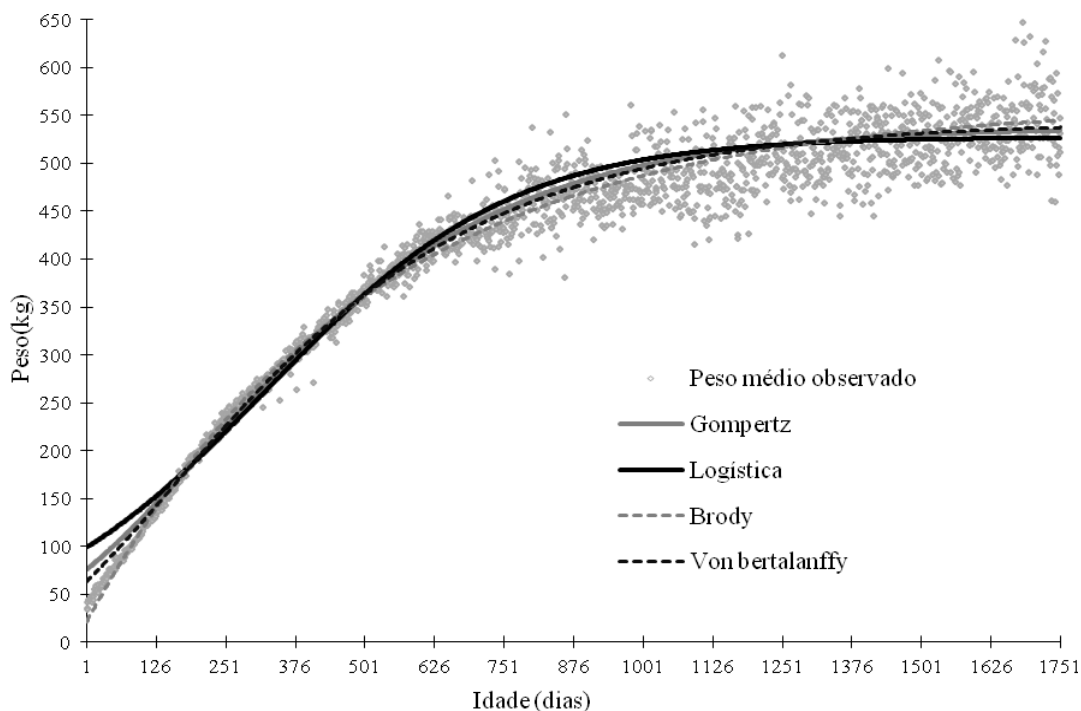


Figura 3 – Pesos ajustados de bovinos da raça Santa Gertrudis, em função da idade, utilizando os modelos de Gompertz, Logístico, Brody e von Bertalanffy.

Segundo o modelo de polinômio com 5 segmentos, as diferenças nos padrões de crescimento das fases compreendidas entre as idades delimitadas pelos nós, correspondentes às fases de desmame, início da puberdade, terminação e maturidade dos animais foram bem nítidas (Figura 2). Na pecuária tradicional essas fases são delimitadas em classes, pré-ajustadas para os pesos ao nascimento, à desmama (205 dias), ao ano, aos 452 e 550 dias de idade (BIF, 2010), contudo o crescimento é contínuo e o ajuste para as idades não compreendidas nas classes é importante para a correta estimativa de desempenho e possibilita prever a idade média de terminação dos animais, permitindo a adequação do manejo dos bovinos.

Teixeira & Albuquerque (2003) verificaram efeitos significativos da regressão da idade sobre o peso médio ao desmame de bovinos na fase pré-desmama. Laureano et al. (2011) observaram o mesmo efeito em animais da raça Nelore na desmama e sobreano.

A utilização dos modelos não lineares permite inferir sobre o desempenho dos animais sobre uma perspectiva ampla, assim, os animais no presente estudo apresentaram os valores médios obtidos nos modelos de, 542,8 kg de peso quando alcançaram a maturidade e, aos 9,7 meses atingiram o ponto de inflexão, obtido pelo inverso de k . A correlação entre A e k variou, de acordo com os modelos, de -0,67 à -0,83, assim, espera-se que animais maiores sejam menos precoces.

A possibilidade de interpretação biológica sobre os parâmetros dos modelos não lineares é um importante fator a ser considerado durante o processo

de decisão na escolha do modelo. Os valores estimados de A e k possibilitam prever o peso adulto do animal, a velocidade de ganho de peso e determinar um padrão de crescimento, permitindo efetuar ajustes no manejo nutricional. No entanto, as funções *splines*, parecem ser mais precisas para a modelagem do efeito de idade sobre o peso dos animais, principalmente, nos períodos pré e pós-desmama quando verifica-se grandes alterações no padrão de crescimento (Figura 2).

CONCLUSÃO

1. O uso de funções *splines* mostrou-se uma alternativa viável ao ajuste da curva de crescimento de bovinos Santa Gertrudis.

2. Os modelos não lineares permitiram prever a taxa de crescimento e o peso maduro dos indivíduos, fornecendo estimativas práticas sobre o desempenho dos animais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Associação Brasileira de Santa Gertrudis, pela concessão dos dados.

REFERÊNCIAS

ABSG – Associação Brasileira de Santa Gertrudis - 2011. Disponível em:

<http://www.santagertrudis.com.br>. Acesso em: 27 mar. 2011.

ALENCAR, M. M.; BARBOSA, P. F. Melhoramento genético de gado de corte no Brasil, In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE MELHORAMENTO ANIMAL, 8, 2010, Maringá. **Anais**. Maringá: SBMA, 2010. (CD-ROM).

BEEF IMPROVEMENT FEDERATION. **For Uniform Beef Improvement Programs**. 9 ed. Animal & Dairy Science Department, The University of Georgia, 2010. 183p.

BOLIGON, A. A.; ALBUQUERQUE, L. G.; RORATO, P. R. N. Associações genéticas entre pesos e características reprodutivas em rebanhos da raça Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.4, p.596-601, 2008.

FITZHUGH Jr, H. A. Analysis of growth curves and strategies for altering their shapes. **Journal of Animal Science**, v.42, n.4, p.1036-1051, 1976.

GLASBEY, C. A. Examples of Regression with serially correlated errors. **The Statistician**, v.37, p.277-291, 1988.

GOONEWARDENE, L. A.; BERG, R. T.; HARDIN, R. T. A growth study of beef cattle. **Canadian Journal of Science**, v.61, n.4, p.1041-1048, 1981.

HASSEN, A.; WILSON, D. E.; ROUSE, G. H.; TAIT JR., R. G. **Use of Linear and Non-linear Growth Curves to Describe Body Weight Changes of Young Angus Bulls and Heifers**. Iowa State University Animal Industry Report. 2004. 5p. Disponível em <http://www.ans.iastate.edu/report/air/2004pdf/AS1869.pdf>. Acesso em 04 fev. 2011.

HENRIQUE, W.; SAMPAIO, A. A. M.; LEME, P. R.; LANNA, D. P. D.; ALLEONI, G. F.; COUTINHO FILHO, J. L. V. Desempenho e características da carcaça de tourinhos Santa Gertrudes confinados, recebendo dietas com alto concentrado e níveis crescentes de polpa cítrica peletizada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.2, p.463-470, 2004.

HUISMAN A. E.; VEERKAMP R. F.; VAN ARENDONK J. A. Genetic parameters for various random regression models to describe the weight data of pigs. **Journal of Animal Science**, v.80, n.3, p.575-582, 2002.

JOHNSON, R.; WICHERN, D. W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. New Jersey: Prentice Hall International, Inc. 1988. 642p.

LAUREANO, M. M.; BOLIGON, A. A.; COSTA, R. B.; FORNI, S.; SEVERO, J. L. P.; ALBUQUERQUE, L. G. Estimativas de herdabilidade e tendências genéticas para características de crescimento e reprodutivas em bovinos da raça Nelore. **Arquivo**

Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v.63, n.1, p.143-152, 2011.

MAZZINI, A. R. A.; MUNIZ, J. A.; AQUINO, L. H.; SILVA, F. F. Análise da curva de crescimento de machos Hereford. **Ciência Agrotécnica**, v.27, n.5, p.1105-1112, 2003.

MEYER, K. Estimates of genetic and phenotypic covariance functions for post weaning growth and mature weight of beef cows. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v.116, p.181-205, 1999.

MEYER, K. Random regressions to model phenotypic variation in monthly weights of Australian beef cows. **Livestock Production Science**, v.65, p.19-38, 2000.

MEYER, K. Random regression analyses using B-splines to model growth of Australian Angus cattle. **Genetics Selection Evolution**, v.37, p.473-500, 2005.

PAZ, C. C. P.; FREITAS, A. R. Ajuste de Modelos Não-Lineares em Estudos de Associação entre Polimorfismos Genéticos e Crescimento em Bovinos de Corte, **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.6, p.1416-1425, 2004.

SILVEIRA JR., P.; ZONTA, E. P.; MACHADO, A. A.; SOFFIONI, E. S. Método de obtenção de estimativas preliminares de parâmetros de modelos não-lineares de crescimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27, n.12, p.1607-1613, 1992.

TEIXEIRA, R. A.; ALBUQUERQUE, L. G. Efeitos Ambientais que Afetam o Ganho de Peso Pré-Desmama em Animais Angus, Hereford, Nelore e Mestiços Angus-Nelore e Hereford-Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, p.887-890, 2003.

THOLON, P.; QUEIROZ, S. A. Models for the analysis of growth curves for rearing tinamous (*Rhynchotus rufescens*) in captivity. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v.9, n.1, p.23-31, 2007.