

INFLUÊNCIA DE FATORES GENÉTICOS E AMBIENTAIS SOBRE AS ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS DAS FUNÇÕES DE CRESCIMENTO EM GADO NELORE

FABYANO FONSECA E SILVA¹
LUIZ HENRIQUE DE AQUINO²
ANTÔNIO ILSON GOMES OLIVEIRA³

RESUMO - As funções de crescimento de Brody, Logística, Gompertz, Richards e Bertalanffy foram utilizadas para descrever o crescimento de 542 animais da raça Nelore, sendo 183 machos e 359 fêmeas, pesados bimestralmente do nascimento aos 550 dias de idade. As funções foram ajustadas pela metodologia dos mínimos quadrados generalizados para modelos de regressão não-linear com erros auto-regressivos de primeira ordem, AR(1). Elas apresentaram coeficientes de determinação próximos de 98% e 99%. A função de Brody foi

selecionada por apresentar um bom ajuste e também uma maior velocidade de convergência. Os parâmetros A e K da função de Brody foram submetidos à análise de variância, em que se verificou o efeito significativo de sexo ($P < 0.01$), touro ($P < 0.01$) e ano de nascimento ($P < 0.01$) sobre o parâmetro A e de sexo ($P < 0.05$) e touro ($P < 0.01$) sobre K. A idade da vaca ao parto não influenciou nenhum dos parâmetros considerados nas análises.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: Curvas de crescimento, modelo não-linear, Nelore.

GENETIC AND ENVIRONMENTAL EFFECTS ON ESTIMATES OF GROWTH FUNCTION PARAMETERS IN NELORE CATTLE

ABSTRACT- Brody, Logistic, Gompertz, Richards and Bertalanffy growth functions were used to describe growth curves of 542 Nelore animals, 183 male and 359 female animals weighed bimonthly from birth to 550 days of age. Models were adjusted using generalized least square method for nonlinear regression models with autoregressive residuals, AR(1). They showed adjusted determination coefficient near 98% and 99%. Brody's function which presented a good adjustment and a

larger velocity of convergence, was selected to describe these data. Estimates of asymptotic weight (A) and maturing rate (K) of Brody's functions were analyzed by least squares, and it was observed for the parameter A a significant influence of sex ($P < 0.01$), sire ($P < 0.01$) and year of birth ($P < 0.01$) while the K parameter was affected by sex ($P < 0.05$) and sire ($P < 0.01$). The age of dam at calving did not influence any parameter of the growth function.

INDEX TERMS: Growth curves, nonlinear model, Nelore.

INTRODUÇÃO

O interesse por curvas de crescimento que relacionam o peso de um animal com a sua idade tem aumentado muito nos últimos anos, em consequência do desenvolvimento de novas técnicas computacionais que permitem maior rapidez e precisão das análises e também de uma maior necessidade de se prever informações sobre um rebanho.

Uma função de crescimento condensa informações de dados de peso-idade de todo o período de vida

do animal em um conjunto de parâmetros interpretáveis biologicamente (Laird & Howard, 1967). O conhecimento desses parâmetros, associado às características reprodutivas dos animais, pode ser uma alternativa para programas de seleção (Ludwig, 1977). Quando o crescimento é encarado sob esse aspecto, torna-se possível obter previsões do tamanho das matrizes e touros que serão mantidos no plantel de reprodução, e isso representa, em rebanhos mais especializados, um alto valor na produção (Ludwig et al., 1981).

1. Acadêmico do 7^o período de Zootecnia-UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS(UFLA), Bolsista do CNPq.
2. Professor Titular do Departamento de Ciências Exatas, DEX-UFLA. E.mail: lhaquino@.ufla.br
3. Professor Titular aposentado do Departamento de Zootecnia-UFLA

Geralmente as funções de crescimento apresentam três parâmetros interpretáveis biologicamente e um outro que se identifica como uma constante matemática. O parâmetro A, definido como peso assintótico ou peso adulto, representa a estimativa de peso à maturidade, independente de flutuações de pesos devidas a efeitos genéticos e ambientais (Nobre et al., 1987). Um outro parâmetro, K, corresponde ao índice de maturidade ou à estimativa de precocidade de maturidade e determina a eficiência do crescimento de um animal. Quanto maior for o valor desse parâmetro, mais precoce é o animal e vice-versa (Brown et al., 1976). O parâmetro M é denominado parâmetro de inflexão. Ele refere-se ao ponto em que o animal passa de uma fase de crescimento acelerado para uma fase de crescimento inibitório e indica o ponto a partir do qual o animal passa a crescer com menor eficiência (Brody, 1945). Na função de Richards, ele é variável e assume valores fixos nas demais funções, fazendo com que essas apresentem formas definidas. Considera-se $M = 1$ na função de Brody, $M = -1$ na Logística, $M = 3$ na de Bertalanffy e $M \rightarrow \infty$ na de Gompertz. A função de Richards pode assumir a forma das funções com ponto de inflexão fixo, visto que ela apresenta o parâmetro M relativo à forma da curva obtida no ajuste (Elias, 1998). O parâmetro b é denominado de parâmetro de integração ou interceptação com o eixo-y, não possui significado biológico e é utilizado apenas para adequar o valor inicial do peso vivo, fazendo com que a curva passe pela origem quando $y \neq 0$ e/ou $t \neq 0$ (Duarte, 1975).

Segundo Fitzhugh Junior (1976), alguns requisitos devem ser seguidos para que uma função de crescimento seja aceita como descritiva de uma relação peso-idade. Entre esses requisitos, destacam-se a interpretação biológica dos parâmetros, um ajuste com pequenos desvios, e também a dificuldade de convergência, que deve ser considerada. Há casos em que as funções, embora possam ser ajustadas matematicamente, não apresentam uma interpretação biológica de seus parâmetros.

Segundo Taylor (1985), o crescimento do gado pode ser reprimido por restrições do meio; quando essas restrições são removidas, o crescimento resume-se a uma taxa normal, sugerindo que os animais são capazes

de utilizar um mecanismo biológico compensatório para se adaptar a diferentes condições ambientais. Em respeito a essa informação, Duarte (1975) descreve que se um organismo tende a compensar biologicamente os efeitos do meio, os valores estimados para os parâmetros de crescimento são afetados, e acrescenta que só é possível determinar o potencial genético dos parâmetros com a redução ou remoção dos efeitos fixos de ambiente.

Com este trabalho objetivou-se avaliar os efeitos de touro, ano e mês de nascimento e idade da vaca ao parto sobre as estimativas dos parâmetros da função de crescimento que melhor se ajustou a dados de peso-idade de animais da raça Nelore.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados neste trabalho foram fornecidos pela ABCZ (Associação Brasileira de Criadores de Zebu) localizada em Uberaba, Minas Gerais. Eles constam de dez pesagens teoricamente bimestrais, uma vez que elas não se realizavam exatamente a cada sessenta dias, do nascimento aos 550 dias de idade de 542 animais da raça Nelore, sendo 183 machos e 359 fêmeas. Para se ter maior representatividade e confiança no ajuste das funções de crescimento, os animais que apresentavam menos que dez pesagens foram eliminados deste estudo. Nobre et al. (1987) compararam os intervalos entre as pesagens dos animais em relação ao ajuste das funções de crescimento e observaram não haver diferenças significativas no ajuste quando foram utilizadas pesagens mensais, bimestrais e trimestrais.

As curvas de crescimento foram obtidas baseando-se nas médias das idades e dos pesos dos animais, utilizando as cinco funções de crescimentos não-lineares, com as seguintes expressões matemáticas (Tedeschi, 1996):

$$\text{Função de Brody: } Y = A (1 - b e^{-Kt})$$

$$\text{Função Logística: } Y = A (1 + b e^{-Kt})^{-1}$$

$$\text{Função de Gompertz: } Y = A \exp(-b e^{-Kt})$$

$$\text{Função de Richards: } Y = A (1 - b e^{-Kt})^M$$

$$\text{Função de Bertalanffy: } Y = A (1 - b e^{-Kt})^3$$

Os parâmetros das funções de crescimento foram inicialmente estimados pelo procedimento de regressão não-linear, PROC NLIN, do programa Statistical Analysis Systems (SAS Institute, 1990), utilizando-se o método de Gauss-Newton com valores iniciais para estabelecer a convergência fornecidos pela literatura especializada, Duarte (1975), Tedeschi (1996) e Elias (1998). Esses valores foram sucessivamente modificados até conseguir uma convergência com um baixo (8 a 10) número de iterações. Após a definição desses valores, os mesmos foram alterados e foi observado que os novos valores conduziam à mesma solução obtida anteriormente. Esse método sugerido por Souza (1998) foi adotado para verificar a precisão da solução numérica em relação à escolha dos melhores valores iniciais. O ajuste das funções de crescimento foi realizado pelo

procedimento MODEL do programa SAS® (SAS Institute, 1990), utilizando como valores iniciais estimativas geradas pelo PROC NLIN. O intervalo de confiança assintótico de 95% foi calculado para as estimativas dos parâmetros das funções de crescimento utilizando a distribuição t de Student com 6 graus de liberdade para o erro.

O quadrado médio dos resíduos, o coeficiente de determinação corrigido e também a estimativa do parâmetro de autocorrelação residual, que é utilizada para analisar o comportamento dos resíduos do ajuste, foram usados como indicadores da qualidade de ajustamento do modelo.

Os resíduos obtidos foram padronizados e analisados graficamente para verificar se as variâncias eram homogêneas, e se a distribuição dos mesmos era normal. O teste de Durbin-Watson (Neter et al., 1985) foi utilizado para verificar se havia autocorrelação entre os resíduos. Se a correlação fosse constatada, o PROC MODEL, então, determinava as estimativas dos parâmetros das funções de crescimento pelo método dos mínimos quadrados generalizados para modelos de regressão não-linear com erros auto-regressivos de primeira ordem, AR(1).

A influência de fatores genéticos e ambientais sobre as estimativas dos parâmetros das funções de crescimento foi estudada por meio do modelo estatístico contendo o efeito aleatório de touro dentro de ano e os efeitos fixos de sexo, ano e mês de nascimento e idade da vaca ao parto. Esse último efeito foi considerado

como uma covariável analisada nas formas linear e quadrática. A análise de variância envolvendo as variáveis desse modelo foi realizada pelo procedimento GLM (General Linear Models) do SAS® (SAS Institute, 1990), que foi expresso por:

$$Y_{ijklm} = \mathbf{m} + S_i + A_j + M_k + T_{l(j)} + b_1 (I_{ijklm} - \hat{I}) + b_2 (I_{ijklm} - \hat{I})^2 + \varepsilon_{ijklm}$$

em que:

- Y_{ijklm} : estimativas dos parâmetros A e K da função de crescimento selecionada para representar o crescimento do animal m, do sexo i, nascido no ano j, no mês k e filho do touro l dentro do ano j;
- \mathbf{m} : média geral das estimativas;
- S_i : efeito do sexo i, sendo i : 1 e 2;
- A_j : efeito do ano de nascimento j, sendo j : 1976 a 1992;
- M_k : efeito do mês de nascimento k, sendo k : 1,2,...,12;
- $T_{l(j)}$: efeito do touro l dentro do ano j, ~ NID (0, $\sigma_{T:A}^2$)
- I_{ijklm} : idade da mãe do animal m, do sexo i, nascido no ano j, no mês k e filho do touro l dentro do ano j;
- \hat{I} : média das idades das mães;
- b_1 : coeficiente de regressão linear de Y em função da idade da mãe;
- b_2 : coeficiente de regressão quadrática de Y em função da idade da mãe;
- ε_{ijklm} : erro associado a cada observação, ~ NID (0, $\sigma_{T:A}^2$)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estimativas dos parâmetros das funções de crescimento podem ser observadas na Tabela 1, e os indicadores de qualidade do ajuste estão apresentados na Tabela 2.

Os gráficos indicativos do ajuste das funções de crescimento de Brody, Logística, Gompertz, Richards

e Bertalanffy são mostrados nas Figuras 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente.

TABELA 1 - Estimativas dos parâmetros das funções de crescimento Brody, Logística, Gompertz, Richards e Bertalanffy, com seus respectivos erros-padrão e intervalos de confiança assintóticos de 95%.

Função	Parâmetro	Estimativas	Erro-Padrão	Intervalos de confiança ¹	
				LI	LS
Brody	A(kg)	370	41	270	470
	b	0,9205	0,0116	0,8921	0,9488
	K(kg/kg dia)	0,0020	0,0003	0,0013	0,0027
Logística	A(kg)	259	22	205	313
	b	5,1491	1,1936	2,2285	8,0697
	K(kg/kg dia)	0,0087	0,0017	0,0046	0,0128
Gompertz	A(kg)	279	26	215	343
	b	2,0736	0,1724	1,6518	2,4954
	K(kg/kg dia)	0,0054	0,0009	0,0032	0,0076
Richards	A(kg)	451	128	138	764
	b	0,9602	0,0370	0,8697	1,0507
	K(kg/kg dia)	0,0011	0,0004	0,0002	0,0020
	M	0,7993	0,1984	0,3138	1,2848
Bertalanffy	A(kg)	295	29	224	366
	b	0,5193	0,0262	0,4552	0,5834
	K(kg/kg dia)	0,0043	0,0007	0,0026	0,0060

¹LI = limite inferior; LS = limite superior.

TABELA 2 - Indicadores de qualidade de ajuste das funções de crescimento, representados pelo quadrado médio do resíduo, coeficiente de determinação ajustado e autocorrelação residual.

Função	QME	R_a^2	Autocorrelação
Brody	91,1358	99,74	0,4329
Logística	727,0412	97,93	0,4532
Gompertz	331,0137	99,06	0,5154
Richards	79,4270	99,73	0,3948
Bertalanffy	223,2272	99,36	0,5462

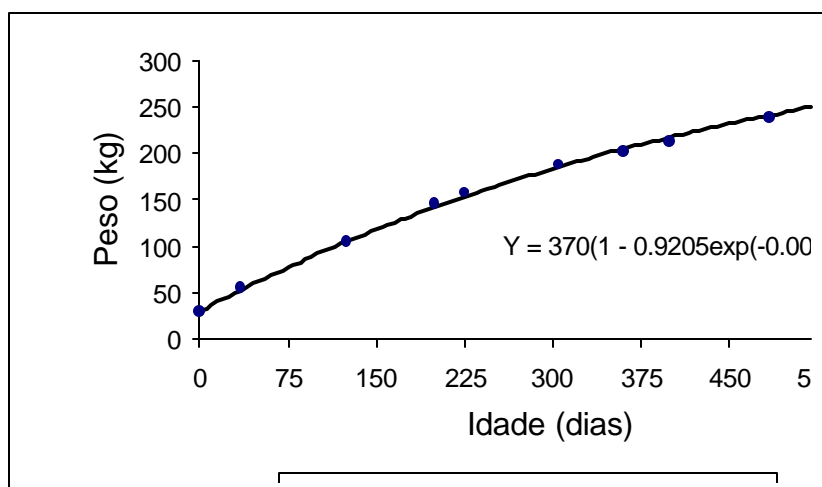


FIGURA 1 - Curva de crescimento de machos e fêmeas Nelore. Função de Brody, $R_c^2 = 99,74\%$.

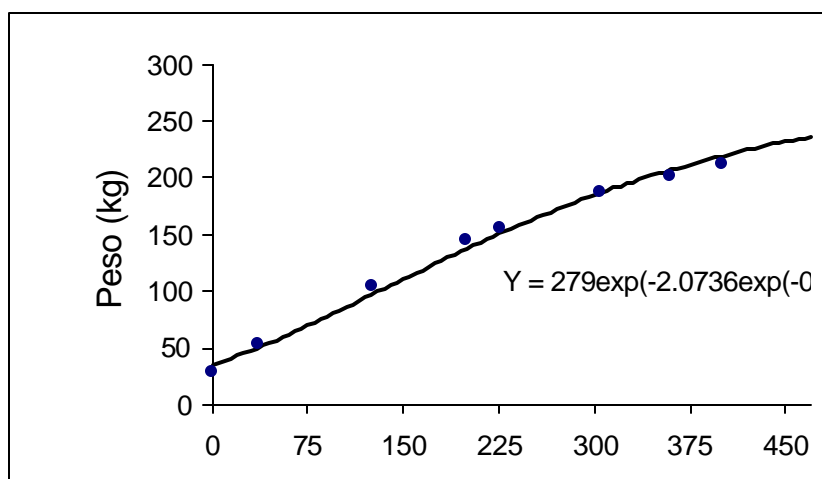


FIGURA 2 - Curva de crescimento de machos e fêmeas Nelore. Função de Gompertz, $R_c^2 = 97,93 \%$.

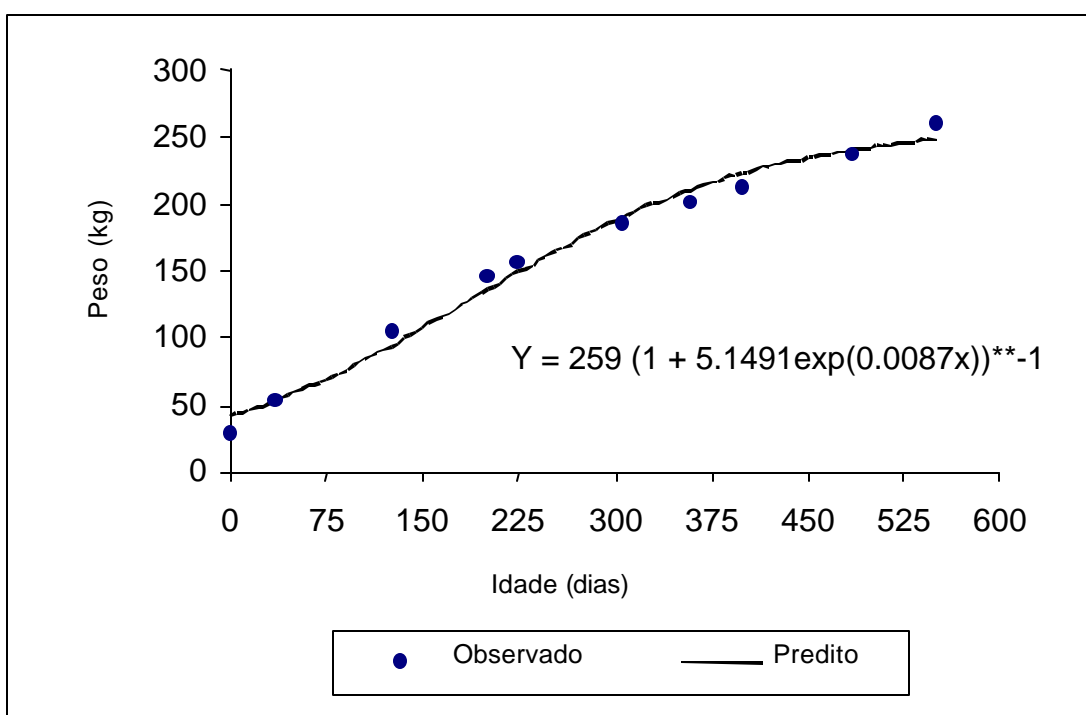


FIGURA 3 - Curva de crescimento de machos e fêmeas Nelore. Função Logística, $R_c^2 = 99,06 \%$.

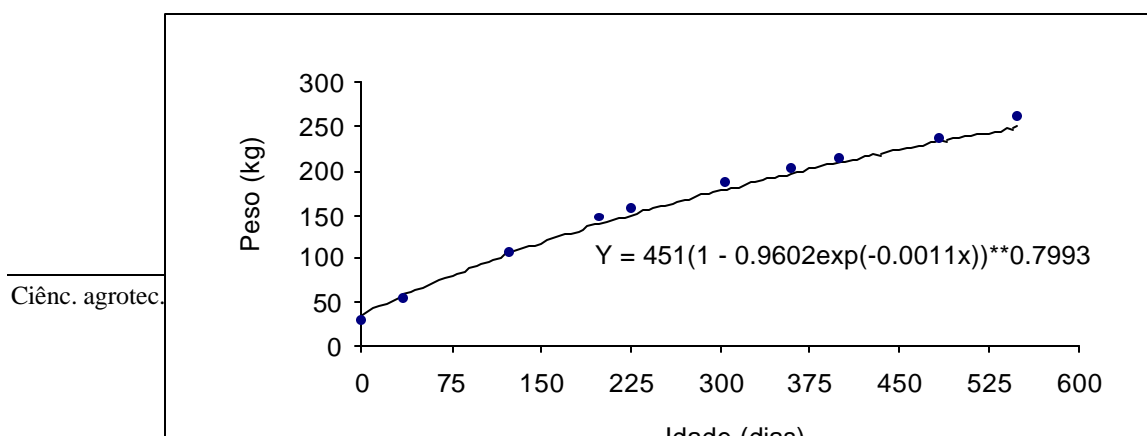


FIGURA 4- Curva de crescimento de machos e fêmeas Nelore. Função de Richards, $R_c^2 = 99,73 \%$.

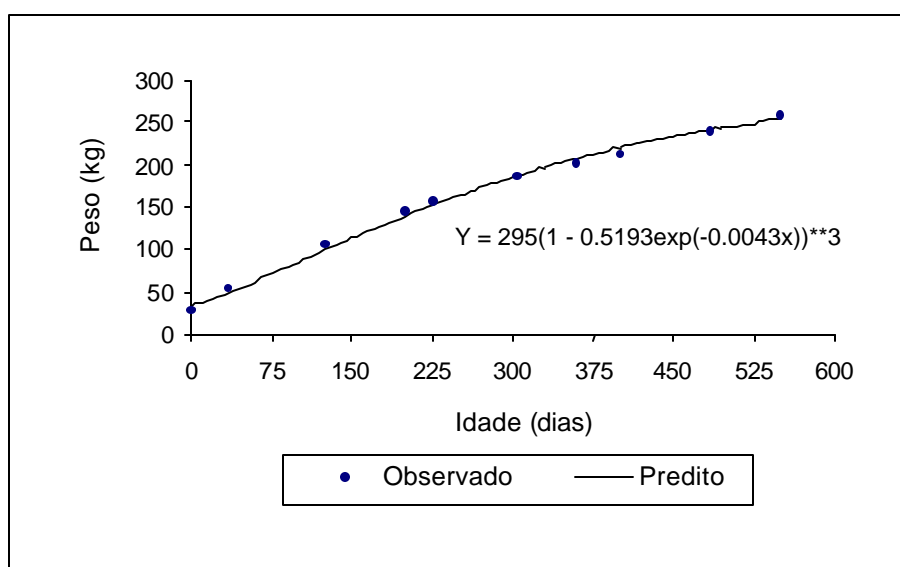


FIGURA 5 - Curva de crescimento de machos e fêmeas Nelore. Função de Bertalanffy, $R_c^2 = 99,36 \%$.

As Figuras de 1 a 5 e as estimativas dos parâmetros observadas na Tabela 1 indicam que as funções de Bertalanffy, Gompertz e Logística superestimaram o peso inicial e subestimaram o peso adulto dos animais, e que as funções de Brody e Richards apresentaram um melhor comportamento em relação às demais funções estudadas. Brown et al. (1976) ajustaram cinco funções de crescimento a dados de vacas Hereford e seus cruzamentos com Brahman, e observaram que as funções de Bertalanffy, Gompertz e Logística superestimaram o peso nas idades iniciais e a Logística subestimou o peso adulto.

Tedeschi (1996) cita trabalhos de Goonewardene et al. (1991), os quais estudaram o crescimento de fêmeas da raça Hereford e seus cruzamentos, mostrando que as

funções de Richards e Brody apresentaram melhor ajuste em relação às funções de Bertalanffy e Logística, que superestimaram o peso ao nascer e subestimaram os pesos finais. A subestimação do peso adulto nas funções de Bertalanffy, Gompertz e Logística possivelmente está relacionada à pouca habilidade dessas funções em ajustar o peso inicial, comprometendo o processo de estimação da taxa de maturidade e conseqüentemente do peso adulto.

Segundo Owens et al. (1995), animais de menor peso adulto tendem a apresentar menor proporção de gordura, melhorando assim o rendimento de carcaça do animal. Um menor peso adulto também ocasiona uma menor demanda energética, o que proporciona um menor gasto com alimentação para a manutenção do animal.

As estimativas da taxa de maturidade (K) das funções de Brody e Richards não apresentaram grandes variações se comparadas a outros estudos com gado Nelore, como o trabalho de Nobre et al. (1987) que, estudando a função de Brody, encontraram o valor de 0,0014, e o de Duarte (1975), que determinou o valor de 0,0016 para K dessa mesma função de crescimento. A taxa de maturidade é interpretada como um indicativo de eficiência de crescimento; sendo assim, é importante no melhoramento selecionar animais de maior K para que se tenha no rebanho animais mais precoces.

Constata-se pela Tabela 2 que as funções de Richards e a de Brody, respectivamente, foram as que melhor descreveram o crescimento dos animais (menores somas de quadrados dos resíduos, maiores coeficientes de determinação ajustados e menores valores de autocorrelação residual). Brown et al. (1976) e DeNise & Brinks (1985) não obtiveram diferença significativa entre as funções de Richards e Brody para descrever o crescimento de gado de corte das raças Hereford, Jersey e Red Angus. Segundo Duarte (1975), para estudos biológicos do ciclo de crescimento, sugere-se a função de Richards como a mais informativa e a que proporciona o melhor ajuste; portanto, se o estudo de crescimento não inclui os primeiros anos de desenvolvimento ou somente um pequeno número de pesagens, a função de Brody é mais desejável pela facilidade de interpretação biológica e estimação dos parâmetros.

No presente trabalho, em razão de um grande número de curvas que não conseguiram atingir a convergência no ajuste individual, a função de Richards, mesmo apresentando o melhor ajuste dos dados, não foi

selecionada para avaliar a influência de fatores genéticos e de meio sobre os parâmetros de crescimento, sendo, então, indicada a função de Brody para analisar o efeito desses fatores. Vários autores alertam sobre a dificuldade de convergência da função de Richards, entre eles se destacam Brown et al. (1976), Fitzhugh Junior (1976), DeNise & Brinks (1985), Doren et al. (1989) e Perotto et al. (1992). Em relação à dificuldade de ajuste, Tedeschi (1996) comenta que embora essa não represente um indicativo de melhor ajuste, também deve ser considerada, uma vez que quanto mais difícil o ajuste da função, menor é o número de curvas a serem obtidas. De acordo com Richards (1959), citado por Tedeschi (1996), essa dificuldade de ajuste se deve à falta de dados em períodos críticos da curva que estão ao redor do ponto de inflexão, e também à pequena longevidade dos dados de peso-idade dos animais, ou seja, animais jovens para convergência de peso adulto. A função de Richards apresenta maior dificuldade de convergência por apresentar o parâmetro M variável e, em geral, os autores têm usado mais a curva de Brody em relação à de Richards, pois os resultados são mais fáceis de serem obtidos e interpretados, porém são menos sensíveis a flutuações no peso (Elias, 1998).

Em relação ao estudo dos resíduos provenientes do ajuste da função de Brody, podemos observar que a utilização do teste de Durbin-Watson, o qual testa a hipótese da autocorrelação residual ser igual a zero, foi comprometida pelo pequeno número de pesagens, não sendo possível constatar a significância, levando, à maioria das vezes, a resultados inconclusivos. Portanto, a inexistência da autocorrelação residual foi constatada graficamente pelas Figuras 6 e 7.

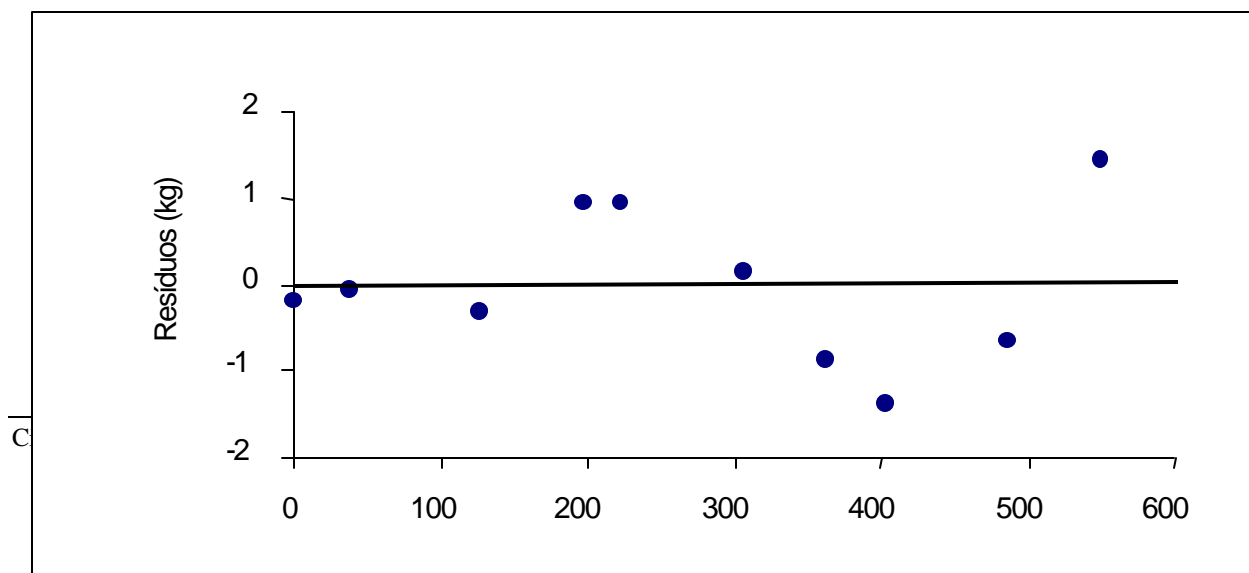


FIGURA 6 - Distribuição dos resíduos padronizados do ajuste da função de Brody em relação a idade dos animais.

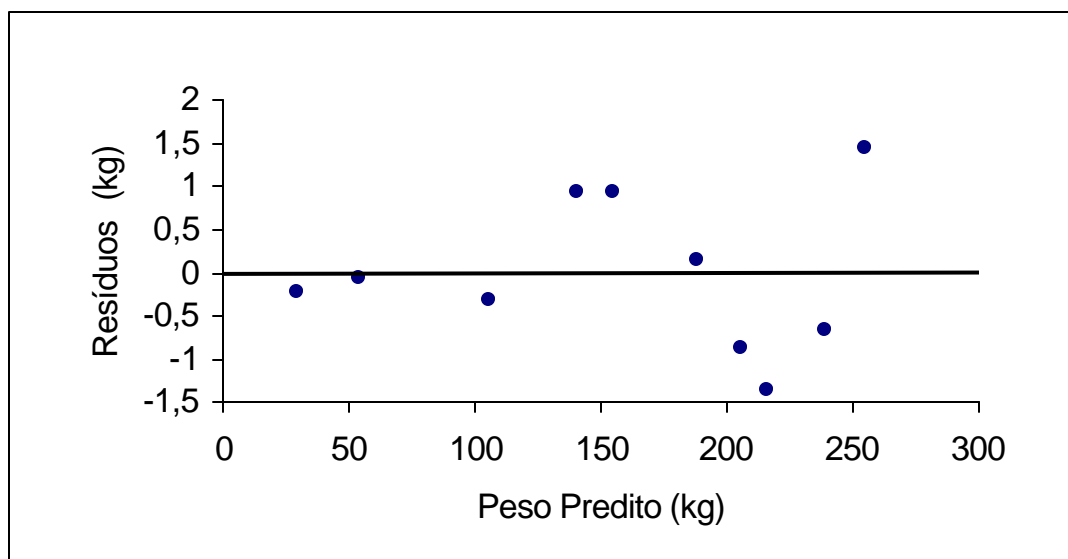


FIGURA 7 - Distribuição dos resíduos padronizados do ajuste da função de Brody em relação aos pesos preditos dos animais.

Essas figuras mostram que a função selecionada para descrever o crescimento dos animais não apresentou “outliers” (observações discrepantes) em sua distribuição residual, o que caracteriza uma homogeneidade de variância no ajuste. Como descrito por Neter et al. (1985), para que os resíduos sejam considerados independentes é preciso que os mesmos sejam distribuídos aleatoriamente ao redor da linha zero dos gráficos, o que foi obtido no presente trabalho com a função de Brody.

As estimativas dos parâmetros A e K da função de Brody foram submetidos à análise estatística, sendo os resultados apresentados na Tabela 3.

Observou-se efeito do sexo do animal sobre os parâmetros A ($P < 0,01$) e K ($P < 0,05$), concordando com Tedeschi (1996) que, estudando o crescimento de animais da raça Guzerá, encontrou efeito significativo sobre esses parâmetros da função de Brody, e também com Souza & Bianchini Sobrinho (1994) que estudaram a função de Bertalanffy ajustada ao crescimento de gado

Nelore. É possível inferir que machos e fêmeas apresentam comportamentos diferenciados em relação ao crescimento em virtude principalmente de um sistema de criação mais extensivo dos machos, que proporciona uma maior exposição desses animais a variações ambientais, associado a diferenças hormonais já extensamente discutidas na literatura.

A influência de touro dentro de ano de nascimento sobre os parâmetros A e K ($P < 0,01$) indica que esses fatores são susceptíveis a variações genéticas que também foram evidenciadas em outros trabalhos. Souza & Bianchini Sobrinho (1994) observaram efeito significativo de touro sobre esses parâmetros na função de Bertalanffy aplicada a animais da raça Nelore. DeNise & Brinks (1985), estudando a função de Brody em animais da raça Hereford, também constataram a influência de touro sobre o parâmetro A.

TABELA 3- Resumo da análise de variância (Quadrado Médio) para identificar o efeito de touro e de fatores ambientais sobre as estimativas de peso adulto (A) e taxa de maturidade (K) da função de Brody.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio	
		A	K
Sexo	1	247094,65**	0,00000082*
Touro: Ano	184	25276,27**	0,00000020**
Ano	15	53676,64**	0,00000020
Mês	11	25928,65**	0,00000037**
Idade da Vaca Linear	1	48,03	0,00000034
Idade da Vaca Quadrática	1	602,99	0,00000030
Erro	196	10041,69	0,00000013

* $P < 0,05$ ** $P < 0,01$

O efeito significativo de mês de nascimento sobre o parâmetro A ($P < 0,01$) concorda com o trabalho de Souza & Bianchini Sobrinho (1994) que também observaram a influência desse fator sobre A ($P < 0,01$) da função de Bertalanffy. O mesmo não foi verificado por Tedeschi (1996), que não encontrou efeito significativo de mês de nascimento sobre os parâmetros A e K da função de Brody. Animais que nascem em meses de

Essa influência de touro sobre as estimativas dos parâmetros A e K pode ser explorada em programas de melhoramento, buscando selecionar reprodutores que possam melhorar geneticamente as características de crescimento dos animais.

O ano de nascimento influenciou o parâmetro A ($P < 0,01$) da função de Brody, semelhantemente ao obtido por Torre & Rankin (1978), estudando esse mesmo modelo, e por Tedeschi (1996), que também obteve resultado significativo para o parâmetro A em animais Guzerá. Essa influência de ano de nascimento sobre os parâmetros A e K, que refletem as estimativas do peso adulto e da precocidade do animal, pode ser atribuída a variações nas condições de clima e de manejo, que afetam principalmente a qualidade e a disponibilidade de pastagens, causando modificações nos pesos dos animais em várias idades.

menor precipitação pluviométrica apresentam menor incidência de pragas e doenças, e também são desmamados em meses de pasto farto, o que garante melhor crescimento para esses animais.

A idade da vaca ao parto, que foi descrita no modelo estatístico como uma covariável na forma linear e quadrática, não afetou os parâmetros A e K da função considerada, concordando com Tedeschi (1996) que,

utilizando a função de Gompertz, também não observou a influência desse efeito sobre esses parâmetros.

CONCLUSÕES

A função de Brody é a que melhor descreve o crescimento de animais Nelore do nascimento aos 550 dias de idade.

É importante o estudo de fatores ambientais (sexo, ano e mês de nascimento) e genético (touro) em relação às características de crescimento em bovinos de corte, tendo em vista sua influência sobre o peso adulto e a taxa de maturidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRODY, S. **Bioenergetics and growth**. New York: Reinhold, 1945. 1023 p.
- BROWN, J.E.; FITZHUGH JUNIOR, H.A.; CART-WRIGHT, T.C. A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.42, n.4, p.810-818, Apr. 1976.
- DeNISE, R.S.K.; BRINKS, J.S. Genetic and environmental aspects of the growth curve parameters in beef cows. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.61, n.6, p.1431-1440, Dec. 1985.
- DOREN, P.E.; BARKER, J.F.; LONG, C.R.; CARTWRIGHT, T.C. Estimating parameters of growth curves of bulls. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.67, n.6, p.1432-1445, June 1989.
- DUARTE, F. A. M. **Estudo da curva de crescimento de animais da raça Nelore (*Bos taurus indicus*) através de cinco modelos estocásticos**. 1975. 284 p. Tese (Livro-Docência) - Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto.
- ELIAS, M. A. **Análise de curvas de crescimento de vacas das raças Nelore, Guzerá e Gir**. 1998. 128 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- FITZHUGH JUNIOR, H. A. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 42, n. 4, p. 1036-1051, Apr. 1976.
- LAIRD, A. K.; HOWARD, A. Growth curves in inbred mice. **Nature**, Basingstoke, v. 213, n. 5078, p. 786-788, Jan. 1967.
- LUDWIG, A. **Ajustamento de curvas exponenciais ao crescimento de gado Nelore e análise de seus parâmetros**. 1977. 84 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- LUDWIG, A.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, L. M. de. Ajustamento de modelos estatísticos exponenciais ao crescimento de gado Nelore. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 16, n. 2, p. 297-302, mar. 1981.
- NETER, J.; WASSERMAN, W.; KUTNER, M. H. **Applied linear statistical models**. 2. ed. Homewood: Irwin, 1985. 1127 p.
- NOBRE, P. R. C.; ROSA, A. N.; SILVA, L. O. C. da; EVANGELISTA, S. R. M. Curvas de crescimento de gado Nelore ajustadas para diferentes frequências de pesagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 9/10, p. 1027-1037, set./out. 1987.
- OWENS, F. N.; GILL, D. R.; SECRIST, D. S.; COLEMAN, S. W. Review of some aspects of growth and development of feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 73, n. 10, p. 3152-3172, Oct. 1995.
- PEROTTO, D.; CUE, R. I.; LEE, A. J. Comparison of nonlinear functions for describing the growth curve of three genotypes of dairy cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, Ontario, v. 72, n. 4, p. 773-782, Dec. 1992.
- SOUZA, G. S. **Introdução aos modelos de regressão linear e não-linear**. Brasília: EMBRAPA, 1998. 489 p.
- SOUZA, J. C.; BIANCHINI SOBRINHO, E. Estimativa do peso de bovinos de corte, aos 24 meses, da raça Nelore, usando curvas de crescimento. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 85-91, jan./fev. 1994.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. **SAS User's guide: statistics version 6.4**. ed. Cary, 1990. 168 p.

TAYLOR, C. S. Use of genetic size-scaling in evaluation of animal growth. In: CURRENT CONCEPTS OF ANIMAL GROWTH, 1., 1982, Ontario. **Abstracts...** Champaign: ASAS, 1985. p. 118-143.

TEDESCHI, L. O. **Determinação dos parâmetros da curva de crescimento de animais da raça Guzerá e seus cruzamentos alimentados a pasto, com e sem**

suplementação. 1996. 140 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

TORRE, G. L.; RANKIN, B. J. Factors affecting growth curve parameters of Hereford and Brangus cows. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 46, n. 3, p. 604-613, Mar. 1978.