

George R. B. da Cruz²Roberto G. Costa³Maria N. Ribeiro⁴

Curva de crescimento de caprinos mestiços no estado da Paraíba¹

RESUMO

Este trabalho foi realizado com os objetivos de testar alguns modelos matemáticos citados na literatura para o ajuste da curva média de crescimento e determinar os que melhor representam a curva de crescimento de um rebanho de caprinos mestiços. Utilizaram-se dados de 90 animais, nascidos entre abril de 1997 e setembro de 1998, criados no Setor de Caprinocultura do Campus IV da UFPB, na cidade de Bananeiras, Paraíba. Foram efetuadas 27 pesagens para cada animal, a cada 7 dias, até os 182 dias de idade, totalizando 2.430 registros. O ajuste para curva média foi realizado por meio de seis modelos matemáticos: Von Bertalanffy, Brody, Gama Incompleto, Linear Hiperbólico, Exponencial Polinomial Quadrático e Quadrático Logarítmico. Os parâmetros para os modelos foram estimados usando-se o método GAUSS-NEWTON, por meio de regressão não-linear. Os critérios utilizados para verificar a qualidade do ajuste para cada modelo foram o coeficiente de determinação ajustado (R_a^2) e o gráfico de distribuição dos resíduos. Os valores de R_a^2 obtidos foram de 97% para todos os modelos. As curvas médias estimada pelos modelos Quadrático Logarítmico e Exponencial Polinomial Quadrático expressam melhor as variações de pesos ao longo do crescimento e apresentam menores resíduos, com ligeira superioridade para o modelo Quadrático Logarítmico.

Palavras-chave: ajuste, caprinos, modelos matemáticos

Growth curve of half-breed goats in the Paraíba State

ABSTRACT

This research was developed to evaluate some mathematical models cited in the literature to the growth adjustment curve as well as to determine mathematical models that significantly represent the growth curve of half-breed goats. It was used data of 90 animals born from April 1997 to September 1998 reared in the goat farm of Campus IV, UFPB, Bananeiras-PB. Twenty-seven 27 weights were recorded for each animal, every 7 days until the animals reached 182 days old, totalizing 2,430 weights. The adjustment to the average curve was done by six mathematical models: Von Bertalanffy, Brody, Incomplete Gamma, Hyperbolic Linear, Quadratic Polynomial Exponential and Logarithmic Quadratic. The parameters for the mathematical models were estimated by the method of GAUSS-NEWTON, with a non-linear regression. The criteria used to verify the quality of the adjustment for each model was the adjusted determination coefficient (R_a^2) and residual distribution graphics. The R_a^2 values obtained for the models were 97%. The growth average curve estimated by the Logarithmic Quadratic models and Quadratic Polynomial Exponential express better the weight variations in growth and show less residue with a slightly superiority for the Logarithmic Quadratic model

Key words: adjustment, goats, mathematical models

² Prof. Departamento de Zootecnia/CCA/UFPB – Areia-PB. E-mail: georgebeltrao@bol.com.br

³ Prof. Departamento de Agropecuária/CFT/UFPB – Bananeiras-PB. E-mail: rgermano@cft.ufpb.br

⁴ Profa. Departamento de Zootecnia/UFRPE – Recife-PE. E-mail: mn.ribeiro@uol.com.br

¹ Parte da dissertação apresentada pelo primeiro autor ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia CCA/UFPB

INTRODUÇÃO

A utilização de curvas de crescimento que relacionam o peso do animal a sua idade tem despertado interesse de muitos pesquisadores em diversas áreas. Uma das principais vantagens de se usar um modelo matemático para descrever o crescimento é a consolidação das informações contidas em dados de peso – idade dentro de parâmetros biologicamente interpretáveis. A associação desses parâmetros às características produtivas e reprodutivas dos animais pode ser uma boa ferramenta em programas de seleção (Rosa et al., 1979; McManus et al., 1998).

Estudos sobre curvas de crescimento com a espécie caprina são escassos no Brasil, porém, para bovinos de corte, os modelos mais usados para se estudar o crescimento são o Brody, Von Bertalanffy, Richards, Logístico e Gompertz. Pode-se considerar que para bovinos está bem estabelecido o conhecimento sobre o uso de modelos matemáticos para descrição do crescimento (Oliveira et al., 2000). Em caprinos, praticamente não se conhece o comportamento desses modelos, nem qual deles seria mais adequado para descrição do crescimento desta espécie.

Alguns modelos foram desenvolvidos com base na teoria de crescimento quantitativo fundamentando-se no conceito de que a taxa de crescimento dos animais é proporcional ao seu peso. Assim, o ponto de inflexão na equação de Bertalanffy foi fixado em aproximadamente 0,3 do peso assintótico ou peso final, representado pelo parâmetro A (Oliveira et al., 2000).

O modelo Brody foi inicialmente utilizado para descrever o crescimento que ocorre após o ponto de inflexão. Apesar disso, seu uso não foi restrito à fixação dos valores iniciais; assim, a maioria dos autores que utilizam esse modelo considera o nascimento como ponto de inflexão, que pode ser aplicado para descrever todo o crescimento pós-natal (Doren et al., 1989).

Estudando curvas de crescimento, Salah et al. (1988) verificaram que as melhores equações de regressão para descrever as curvas de crescimento em caprinos são os modelos do tipo Gama Incompleta, propostos por Wood (1967). Nesse estudo, os autores observaram que, apesar de este modelo subestimar o peso ao nascer, representa bem a curva média de crescimento desta espécie nas demais fases.

O modelo Linear Hiperbólico, considerado simples, foi utilizado por Bianchini Sobrinho & Duarte (1991) para descrever o crescimento em bovinos de corte. Nesse modelo, as estimativas dos parâmetros b_1 e b_2 devem ser negativas para que representem adequadamente a curva de crescimento (Bianchini Sobrinho, 1984). Se as estimativas dos parâmetros b_1 e b_2 forem menores que zero, a curva é irreal e apresenta ponto de mínimo, o que indica falhas nas estimativas dos parâmetros do modelo. Quando os sinais dos parâmetros b_1 e b_2 são contrários, obtém-se uma reta crescente. Caso a estimativa de b_2 seja maior que zero, a curva será decrescente.

O modelo exponencial polinomial quadrático foi utilizado por Costa et al. (2003) para estimar a retenção de minerais em cabras durante a gestação. Esses autores concluíram que as estimativas obtidas por um modelo Polinomial Quadrático

representaram com eficiência o comportamento biológico da retenção de minerais durante a gestação de cabras, fato não observado com o modelo Brody ($\ln Y = A - B e^{-CX}$).

O modelo Quadrático Logarítmico foi usado inicialmente por Bianchini Sobrinho (1984) para ajustar à curva de lactação em rebanhos zebuínos. Souza & Bianchini Sobrinho (1994), estudando parâmetros genéticos e ambientais e estimativas de peso aos 24 meses em bovinos de corte por meio de modelos matemáticos, observaram que o modelo Quadrático Logarítmico foi o que melhor estimou o peso dos animais.

A determinação de modelos adequados para descrição do crescimento de caprinos pode auxiliar no processo de seleção e consiste em importante ferramenta para o melhoramento desta espécie. Assim, os objetivos neste estudo foram testar os modelos Von Bertalanffy, Brody, Gama Incompleto, Linear Hiperbólico, Exponencial Polinomial Quadrático e Quadrático Logarítmico para o ajuste da curva de crescimento média de um rebanho de caprinos mestiços e determinar os modelos matemáticos que melhor representam a curva de crescimento destes animais.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados neste estudo foram provenientes de um rebanho caprino de raças Alpinas, mestiços com animais SPRD (sem padrão racial definido), explorados no Setor de Caprinocultura do Centro de Formação de Tecnólogos, Campus IV da Universidade Federal da Paraíba, localizado na cidade de Bananeiras, Paraíba.

Os animais foram criados em regime semi-intensivo e alimentados com capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), braquiárias, concentrado protéico e sal mineral fornecido à vontade. No manejo reprodutivo, utilizou-se o sistema de monta controlada. O aleitamento foi artificial e o desmame ocorreu aos 63 dias de idade.

O controle de peso foi realizado diariamente e os animais foram pesados a cada sete dias, do nascimento até completarem 182 dias de idade. Após a coleta, selecionaram-se dados de 90 animais, nascidos entre abril de 1997 e setembro de 1998, com registro de 27 pesagens para cada animal, totalizando 2.430 dados de pesos.

Foram usados seis modelos matemáticos para ajustar aos pesos dos animais e os parâmetros para os modelos foram estimados utilizando-se o método Gauss-Newton, por meio de regressão não-linear, pelo procedimento NLIN do SAS (1992). Os modelos estudados foram os seguintes:

Modelo Von Bertalanffy: $Y = A(1 - \beta e^{-kt})^3 + e$, em que: Y = peso observado na idade t ; t = tempo (idade do animal, em dias, a partir do nascimento); A = peso assintótico ou peso final; βe = constante de integração relacionada aos pesos iniciais; k = medida da taxa de variação da função exponencial; e = erro aleatório.

Modelo Brody: $Y = A(1 - \beta e^{-kt}) + e$, em que: Y = peso observado na idade t ; t = tempo (idade do animal, em dias, a partir do nascimento); A = peso assintótico ou peso final; βe = constante de integração relacionada aos pesos iniciais; k =

medida da taxa de variação da função exponencial; e = erro aleatório.

Modelo Gama Incompleto: $Y = A t^b e^{-ct} + e$, em que: Y = peso observado na idade t ; t = tempo (idade do animal, em dias, a partir do nascimento); A = peso ao nascer; c e b = constantes da curva que determina sua forma; e = erro aleatório.

Modelo Linear Hiperbólico: $Y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 + 1/t + e$, em que: Y_t = peso observado na idade t ; t = tempo (idade do animal, em dias, a partir do nascimento); $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ = parâmetros característicos da curva; e = erro aleatório.

Modelo Exponencial Polinomial Quadrático: $\ln Y_t = A + B t + C t^2 + e$, em que: Y_t = peso observado no tempo t ; t = tempo (idade do animal, em dias, a partir do nascimento); A, B e C = parâmetros característicos do modelo; e = erro aleatório.

Modelo Quadrático Logarítmico: $Y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \beta_3 \ln t + e$, em que: Y_t = peso observado no tempo t ; t = tempo (idade do animal em dias, a partir do nascimento); $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ = parâmetros característicos da curva; e = erro aleatório.

A escolha do modelo mais adequado foi realizada com base no coeficiente de determinação ajustado e no gráfico de distribuição dos resíduos. Segundo Ribeiro et al. (2004), quando se comparam modelos com diferentes números de parâmetros, é adequado utilizar o coeficiente de determinação ajustado ao número de parâmetros de cada modelo para que sejam comparados em iguais condições.

A equação utilizada para obtenção do R_a^2 proposta por Draper & Smith (1981) é a seguinte:

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

em que: R_a^2 = coeficiente de determinação ajustado; p = número de parâmetros do modelo; n = número de observações; R^2 = coeficiente de determinação.

$$R^2 = \frac{\text{Soma dos quadrados de regressão corrigidos}}{\text{Soma de quadrados totais corrigidos}}$$

O gráfico de distribuição de resíduos também foi utilizado para avaliar a qualidade do ajuste proporcionado para cada modelo, pois mostra a dispersão dos resíduos no tempo. Se os resíduos apresentam-se distribuídos aleatoriamente em relação à variável classificatória t , é indicativo de bom ajuste. Caso estejam em blocos de valores positivos ou negativos, é provável que haja autocorrelação residual positiva ou negativa, o que sugere ajuste fraco.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No modelo Von Bertalanffy, o parâmetro A da curva de crescimento foi estimado em 27,05329, o B em 0,91946 e K em 0,00223 (Figura 1). Esse modelo representou adequadamente a curva média de crescimento dos animais do rebanho em estudo, porém subestimou o peso ao nascer (2,33 kg), superestimou nitidamente os pesos entre 21 e 49 dias de idade, com resíduos de até 0,53 kg, e voltou a subestimar entre 77 e

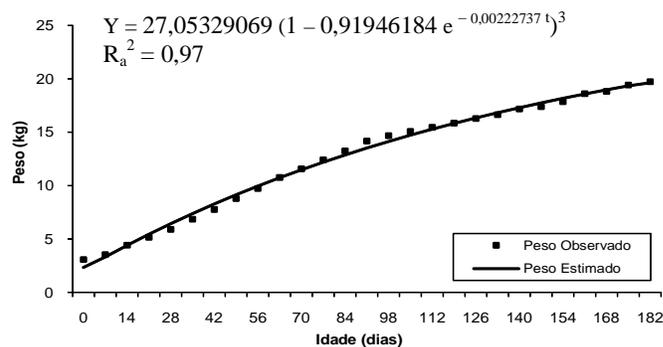


Figura 1. Pesos observados e curva média de crescimento estimada pelo modelo Bertalanffy

Figure 1. Observed weights and average growth curve estimated by Bertalanffy model

119 dias, com resíduos de 0,65 kg. A partir dos 126 dias de idade, este modelo representou a curva média real, com resíduos distribuídos aleatoriamente, praticamente constantes, de no máximo 0,35 kg até a fase final (Figura 2).

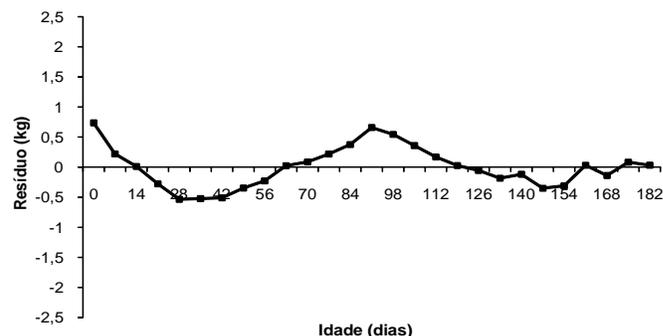


Figura 2. Distribuição dos resíduos estimados pelo modelo Bertalanffy

Figure 2. Residue distribution estimated by Bertalanffy model

Perotto et al. (1997), descrevendo curvas de crescimento de fêmeas bovinas utilizando o modelo de Richards, bastante semelhante ao modelo de Bertalanffy, observaram, exceto para o peso assintótico, razoável concordância entre as estimativas da constante de integração, relacionada aos pesos iniciais e à taxa de variação da função exponencial, obtidas por Oliveira et al. (2000) utilizando o modelo de Bertalanffy, demonstrando que o modelo de Bertalanffy, que é mais simples, pode ser utilizado em estudos de crescimento em substituição ao modelo Richards, que apresenta, em alguns casos, dificuldades de ajuste. Segundo Perotto et al. (1997), como o modelo Bertalanffy fixa o parâmetro M em três, isso impõe restrições à variação das estimativas de A e pode explicar a diferença entre os valores estimados para esse parâmetro.

Neste estudo, o modelo Bertalanffy estimou o coeficiente de determinação ajustado (R_a^2) em 97%. Segundo Ribeiro et al. (2004), na maioria dos trabalhos com curva de lactação, utiliza-se o coeficiente de determinação ajustado, pois grande parte da variação é eliminada, gerando altos valores de R_a^2 . Tendência contrária à observada neste estudo foi relatada por Oliveira et al. (2000), que, utilizando o modelo Bertalanffy para descrever a curva de crescimento de fêmeas da raça Guzerá,

verificaram que esse modelo superestimou o peso ao nascimento e, aparentemente, subestimou o peso na maturidade. Entretanto, esses autores recomendaram o modelo Bertalanffy como o mais apropriado para descrever o crescimento total, pois, para a maioria das fases consideradas, apresentou boa predição e não mostrou deficiências graves no aspecto computacional.

Apesar de subestimar o peso ao nascer (0,73 kg) e apresentar sequência de discreta super ou subestimação, o modelo Von Bertalanffy é eficaz no ajuste aos dados deste estudo, com alto valor de R_a^2 e resíduos relativamente de baixa magnitude.

Pelo modelo Brody, os valores dos parâmetros estimados foram de 27,05332; 24,87449 e 0,00668, para A, B e K, respectivamente (Figura 3). Esse modelo subestimou o peso ao nascer (2,34 kg), de forma semelhante ao modelo Bertalanffy, superestimou o peso entre 21 e 56 dias de idade com resíduos neste intervalo de até 0,53 kg e voltou a subestimar o peso entre 77 e 105 dias, com resíduos de até 0,65 kg. A partir dos 126 dias de idade, este modelo estimou a curva média com resíduos de no máximo 0,35 kg até a fase final do estudo (Figura 4). Os modelos Brody e Bertalanffy apresentaram tendências semelhantes quanto à dispersão dos resíduos, com sub e superestimações, mesmo que discretas, ao longo da curva de crescimento.

Oliveira et al. (2000), estudando a curva de crescimento de fêmeas da raça Guzerá, observaram que o modelo Brody esti-

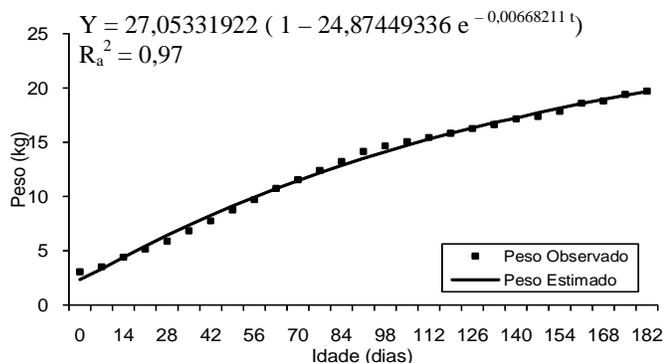


Figura 3. Pesos observados e curva média de crescimento estimada pelo modelo Brody

Figure 3. Observed weights and average growth curve estimated by Brody model

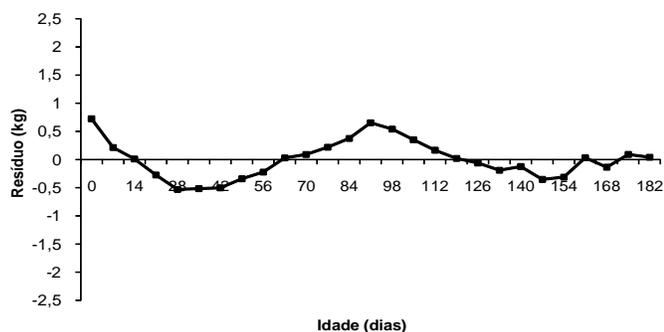


Figura 4. Distribuição dos resíduos estimados pelo modelo Brody

Figure 4. Residue distribution estimated by Brody model

mou o peso médio ao nascer dos animais estudados em 6,06 kg, enquanto a média dos pesos ao nascimento predita a partir da curva individual de cada animal seria de 17,79 kg. Segundo os autores, a subestimação poderia ser entendida pela assimetria dos parâmetros do modelo, mais especificamente do parâmetro B, que seria o principal fator determinante desse peso. Nadarajah et al. (1984) também observaram que o modelo Brody subestimou o peso ao nascer.

De modo geral, o modelo Brody representou adequadamente a curva de crescimento média do rebanho, assim como o modelo Von Bertalanffy subestimou o peso ao nascer e apresentou sequência de sub e superestimações, adaptando-se à curva média real também a partir dos 126 dias de idade.

O modelo Gama Incompleto, composto de três parâmetros não-lineares em relação a "t", apesar de ter apresentado uma curva média típica de crescimento (Figura 5), estimou o peso ao nascer em 0,83 kg e aos 7 dias de idade em 2,75 kg quando os valores reais foram de 3,07 e 3,53 kg, respectivamente. Para o peso ao nascer, a subestimação apresentou valor de alta magnitude (2,24 kg) e aos 7 dias, esse valor foi de 0,78 kg. Entre 21 e 51 dias, esse modelo superestimou os pesos dos animais e entre 77 e 126 dias, o peso foi novamente subestimado. A partir dos 126 dias, o modelo estimou bem a curva média, com resíduos de no máximo 0,29 kg até os 182 dias. Esse fato também pode ser observado no gráfico de distribuição dos resíduos (Figura 6).

Assim como neste estudo, Salah et al. (1988) verificaram subestimação do peso ao nascer. Esses autores, estudando a

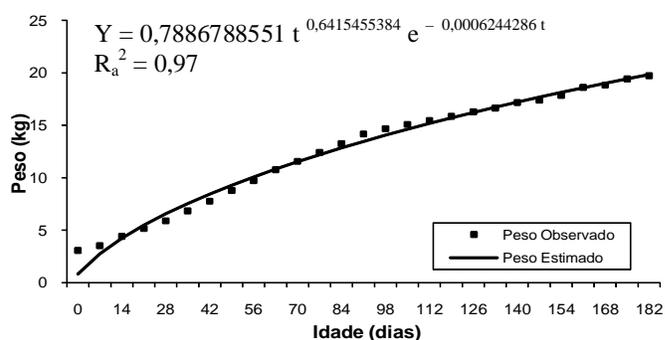


Figura 5. Pesos observados e curva média de crescimento estimada pelo modelo Gama Incompleto

Figure 5. Observed weights and average growth curve estimated by Incomplete Gamma model

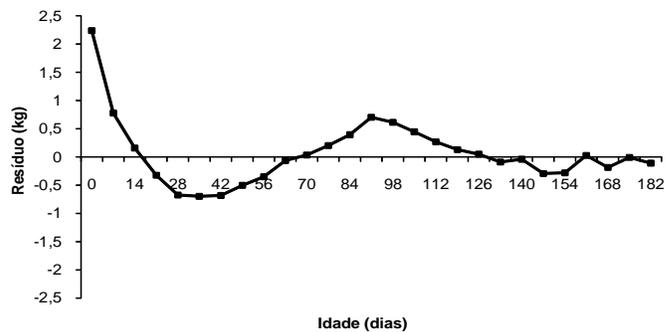


Figura 6. Distribuição dos resíduos estimados pelo modelo Gama Incompleto

Figure 6. Residue distribution estimated by Incomplete Gamma model

curva de crescimento de caprinos, observaram que o modelo Gama Incompleto estimou em 2,56 kg os pesos ao nascer de animais de partos simples e em 2,40 kg os de partos duplos, com valores médios reais de 3,58 e 3,24 kg, respectivamente. Esse modelo também estimou o coeficiente de determinação ajustado (R_a^2) em 97%.

De acordo com Lopes et al. (1996), as estimativas dos parâmetros do modelo Gama Incompleto obtidas por regressão linear apresentaram maiores vícios em comparação às estimadas por regressão não-linear. Esse fato indica que o ajuste de modelos não-lineares, após linearização dos parâmetros, não é um procedimento adequado. Os vícios gerados nas estimativas dos parâmetros obtidos a partir de modelos linearizados podem ser reduzidos com a utilização de métodos não-lineares de estimação (Ribeiro & Pimenta Filho, 1999).

Apesar de ter subestimado o peso ao nascer e aos 7 dias de idade em maior escala, o modelo Gama apresentou a mesma tendência, quanto à representação da curva de crescimento dos animais em estudo, obtida pelos modelos Bertalanffy e Brody.

O modelo Linear Hiperbólico, proposto por Bianchini Sobrinho (1984), considerado um modelo algébrico simples, apresenta um parâmetro a mais em relação à função linear, o qual está associado ao inverso do tempo ($b_2 t^{-1}$). Esse modelo sub e superestimou os pesos em diversos segmentos da curva. Os resíduos deste modelo foram de até 1,49 kg. Esse modelo foi representado por uma reta crescente, pelo fato de os valores de b_1 e b_2 serem de sinais contrários (Figura 7). O modelo Linear Hiperbólico subestimou o peso ao nascer (2,78 kg), superestimou dos 7 aos 49 dias voltando a subestimar dos 56 aos 133 dias, e, até o final do período estudado, superestimou o peso, o que pode ser explicado pela tendência linear apresentada por este modelo. O coeficiente de determinação ajustado (R_a^2) foi de 97% para o ajuste sobre a média. Neste trabalho este modelo não representou a curva real em praticamente todo o período estudado, além de ter apresentado resíduos relativamente elevados a partir de 7 dias de idade.

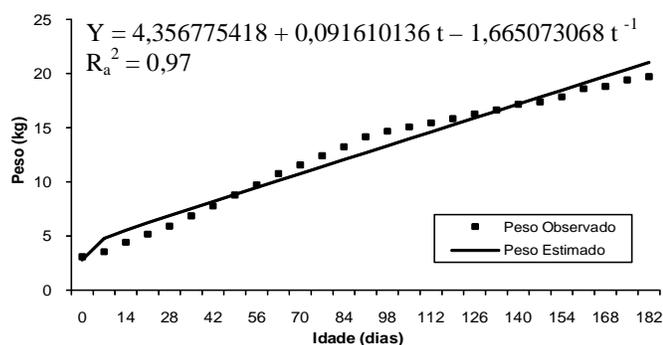


Figura 7. Pesos observados e curva média de crescimento estimada pelo modelo Linear hiperbólico

Figure 7. Observed weights and average growth curve estimated by Hyperbolic Linear model

No modelo Exponencial Polinomial Quadrático, o parâmetro A da curva de crescimento foi estimado em 2,32774; o B,

em 0,15260; e o C, em - 0,00032 (Figura 9). Esse modelo descreveu a curva de crescimento média do rebanho em estudo com tendências semelhantes às do modelo Quadrático Logarítmico, e subestimou o peso mais fortemente aos 91 dias (0,61 kg), de modo que a maior superestimativa ocorreu aos 28 dias (0,45 kg). A distribuição dos resíduos estimados por esse modelo – os quais acompanharam satisfatoriamente as oscilações dos pesos ao longo da fase de crescimento estudada – mostrou ajuste satisfatório, o que pode ser confirmado pela estimativa do coeficiente de determinação ajustado (R_a^2) de 97%. Segundo Ribeiro et al. (2004), o modelo quadrático simples, composto de três parâmetros lineares em relação a t, estima a curva típica quando o coeficiente quadrático é negativo, o que ocorreu neste trabalho.

O modelo Quadrático Logarítmico promoveu a melhor estimativa do peso ao nascer (3,09 kg), porém subestimou o peso aos 91 dias (0,56 kg) (Figura 11), semelhante ao modelo Exponencial Polinomial Quadrático e a maior superestimativa ocorreu aos 133 dias (0,37 kg). Os resíduos estimados por este modelo (Figura 12) foram mínimos, fato associado à flexibilidade deste modelo, em decorrência da inclusão de mais um parâmetro, fazendo com que acompanhe as oscilações do peso ao longo do crescimento.

A curva média estimada pelo modelo Quadrático Logarítmico adaptou-se bem aos pesos observados, representando satisfatoriamente a curva de crescimento do rebanho em estudo. Neste trabalho, o modelo Quadrático Logarítmico esti-

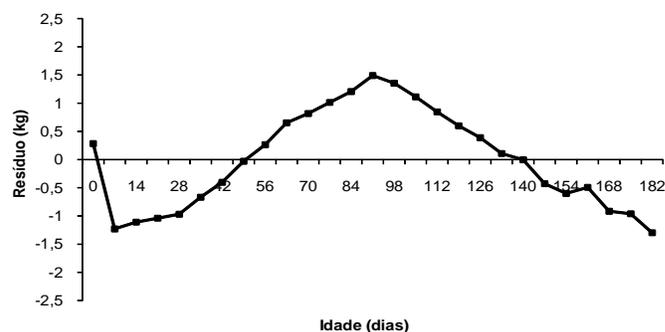


Figura 8. Distribuição dos resíduos estimados pelo modelo Linear Hiperbólico

Figure 8. Residue distribution estimated by Hyperbolic Linear model

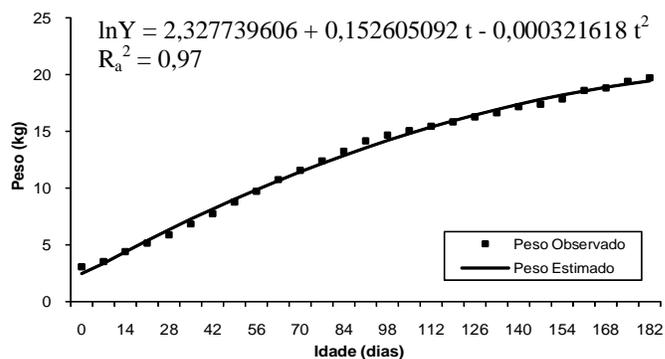


Figura 9. Pesos observados e curva média de crescimento estimada pelo modelo Exponencial Polinomial Quadrático.

Figure 9. Observed weights and average growth curve estimated by Square Polynomial Exponential model

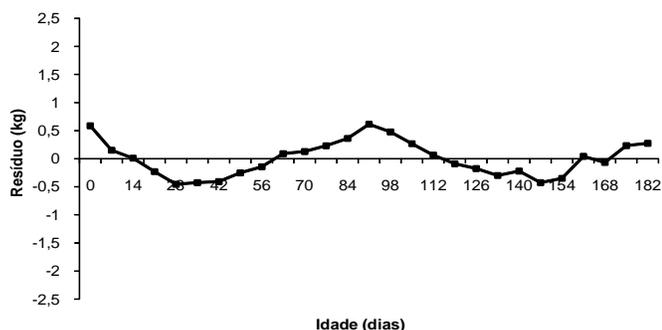


Figura 10. Distribuição dos resíduos estimados pelo modelo Exponencial Polinomial Quadrático

Figure 10. Residue distribution estimated by Square Polynomial Quadratic model

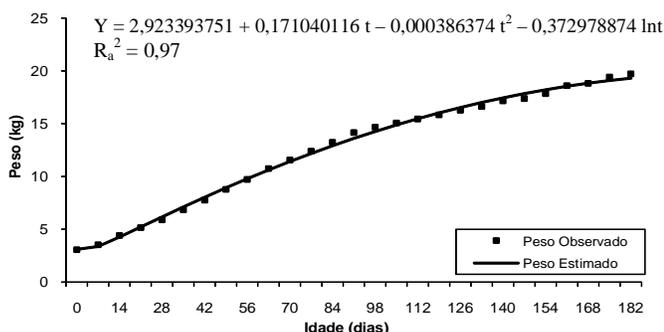


Figura 11. Pesos observados e curva média de crescimento estimada pelo modelo Quadrático Logarítmico

Figure 11. Observed weights and average curve growth estimated by Logarithmic Square model

mou o coeficiente de determinação ajustado (R_a^2) em 97%, semelhante aos demais modelos.

Dos modelos estudados, alguns são recomendados para descrever tanto curvas de crescimento como de lactação, como é o caso dos modelos Quadrático Logarítmico e Linear Hiperbólico. Neste estudo, o modelo Linear Hiperbólico estimou adequadamente o peso ao nascer, mas apresentou, a partir dos 7 dias, tendência linear, sub e superestimando os pesos dos animais em diversos pontos e não se adaptando à curva média observada, o que confirma que o coeficiente de determinação ajustado (R_a^2), isoladamente, não é um bom indicador da qualidade de ajuste, pois não permite visualizar diferenças que podem ser facilmente percebidas no gráfico de distribuição de resíduos.

Segundo El Faro et al. (1999), não existe consenso na literatura sobre quais testes estatísticos devem ser considerados na avaliação da aderência proporcionada por uma função matemática. Conforme esses autores, testes estatísticos como o (R_a^2) sugerem a aproximação de Ye em relação a Y , mas pouco dizem da aproximação biológica da curva, principalmente com relação à sua forma.

Os modelos Bertalanffy, Brody, Gama Incompleto, Quadrático Logarítmico e Exponencial Polinomial Quadrático foram os que melhor descreveram a curva de crescimento média do rebanho em estudo. O modelo Quadrático Logarítmico foi ligeiramente superior, provavelmente em razão de sua maior

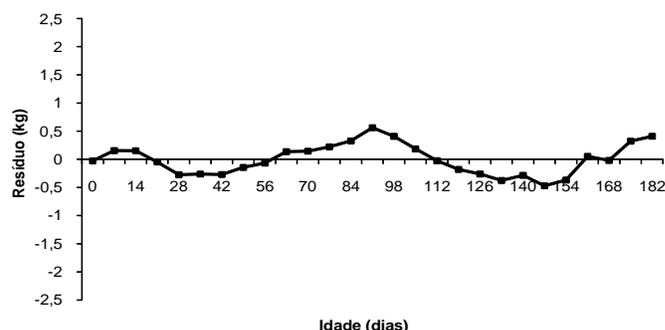


Figura 12. Distribuição dos resíduos estimados pelo modelo Quadrático Logarítmico

Figure 12. Residue distribution estimated by Logarithmic Square model

flexibilidade à inclusão de mais um parâmetro. Entre 21 e 51 dias, houve superestimação, com ponto máximo aos 35 dias; entre 70 e 118 dias, subestimação, com ponto máximo aos 91 dias; e, entre 133 e 161 dias, nova superestimação, com ponto máximo aos 147 dias de idade.

CONCLUSÕES

Os modelos Bertalanffy, Brody, Gama Incompleto, Quadrático Logarítmico e Exponencial Polinomial Quadrático representam bem a curva de crescimento média do rebanho, com coeficientes de determinação iguais e discreta superioridade para o modelo Quadrático Logarítmico. No entanto, modelos com maior número de parâmetros com interpretação biológica devem ser preferidos em análise de curvas individuais de crescimento.

O coeficiente de determinação ajustado (R_a^2) isoladamente não é um bom indicador da qualidade de ajuste das curvas, pois não permite visualizar diferenças que podem ser facilmente percebidas no gráfico de distribuição dos resíduos. Assim, o coeficiente de determinação ajustado associado ao gráfico de distribuição dos resíduos pode contribuir em decisões sobre a qualidade de ajuste proporcionada por um modelo.

LITERATURA CITADA

- Bianchini Sobrinho, E. Estudo da curva de lactação em vacas da raça Gir. Ribeirão Preto: Universidade de São Paulo, 1984. 88p. Tese Doutorado.
- Bianchini Sobrinho, E.; Duarte, F. A. M. Modelos matemáticos aplicados ao crescimento de bovinos da raça Nelore. In: Reunião Anual da Sociedade Internacional de Biometria, 36, 1991, Goiânia. Anais..., Goiânia: Sociedade Internacional de Biometria, 1991. p.24.
- Costa, R.G.; Resende, K.T.; Rodrigues, M.T.; Espechit, J.B.; Queiroz, A.C. Utilização de modelos matemáticos para estimar a retenção de minerais em cabras durante a gestação. Revista Brasileira de Zootecnia, v.32, n.2, p.425-430, 2003.
- Doren, P.E.; Baker, J.F.; Long, C.R.; Cartwright, T. C. Estimating parameters of growth curves of bulls. Journal of Animal Science, v.67, n.6, p.1432-1445, 1989.

- Draper, N.M. Smith, H. Applied Regression Analysis. 1.ed. New York: Wiley, 1981. 709 p.
- EL Faro, L.; Albuquerque, L.G.; Fries, L.A. Comparação de alguns modelos matemáticos para ajuste à curva de lactação média de um rebanho da raça Caracu. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.28, n.5, p.987-992, 1999.
- Lopes, A.L.; Neiva, R.S.; Valente, J. Aplicação da função tipo gama incompleta no estudo da curva de lactação de vacas da raça holandesa, variedade preta-e-branca, mantidas em sistema intensivo de produção. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.25, n.6, p.1087-1101, 1996.
- McManus, C.; Costa, L.A. F.; Miranda, R.M. Parâmetros de curvas de crescimento e fatores que influem para ovinos na região de Brasília. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 35, 1998, Botucatu. Anais... Botucatu: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1998. p.258-260.
- Nadarajah, K.; Marlowe, T.J.; Notter, D.R. Growth patterns of Angus Charolais, Charolais x Angus and Holstein x Angus cows from birth to maturity. *Journal of Animal Science*, v.59, n.4, p.957-966, 1984.
- 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*, Brasília, v.35, n.9, p.1843-1851, 2000.
- Perotto, D.; Castanho, M.J.P.; Rocha, J.L.; Pinto, J.M. Descrição das curvas de crescimento de fêmeas bovinas Guzerá, Gir, Holandês x Guzerá e Holandês x Gir. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.26, n.2, p.283-288, 1997.
- Ribeiro, M.N.; Pimenta Filho, E. C. Estudo dos efeitos ambientais que influem na forma da curva de lactação de cabras mestiças no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.28, n.4, p.868-874, 1999.
- Ribeiro, M.N.; Faro, L.; Pimenta Filho, E.C.; Albuquerque, L.G. Modelos matemáticos para ajuste de curva de lactação de cabras mestiças no cariri paraibano. *Arquivos de Veterinária*, v.20, n.3, p.276-282, 2004.
- Rosa, A.N.; Silva, M.A.; Milagres, J.C.; Gomes, F.R. Mudança da curva de crescimento de animais da raça Nelore mediante o uso de índices de seleção. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.8, n.4, p.610-621, 1979.
- Salah, M.S.; Basmakil, S.M.; Mogawer, H.H. Growth curve in Aardi goat. *Agricultural and Biological Science*, v.6, n.3, p.369-376, 1988.
- SAS. User's guide: Statistics. SAS Institute. Inc., Cary, North Caroline, 1992.
- Souza, J. C.; Bianchini Sobrinho, E. Estimativa do peso de bovinos de corte, aos 24 meses, da raça Nelore, usando curvas de crescimento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.23, n.1, p. 85-91, 1994.
- Wood, P.D.P. Algebraic of the lactation in cattle. *Nature*, v.216, n.5111, p.164-165, 1967.