Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Curvas de crescimento e produtividade de vacas Nelore e cruzadas, de diferentes tipos biológicos, em sistema de produção intensiva

Fabiane de Lima Silva

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e Pastagens

Piracicaba
2009

Fabiane de Lima Silva
Zootecnista

Curvas de crescimento e produtividade de vacas Nelore e cruzadas, de diferentes tipos biológicos, em sistema de produção intensiva

Orientador:
Prof. Dr. **GERSON BARRETO MOURÃO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e Pastagens

Piracicaba
2009

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Silva, Fabiane de Lima
Curvas de crescimento e produtividade de vacas Nelore e cruzadas, de diferentes tipos biológicos, em sistema de produção intensiva / Fabiane de Lima Silva. - - Piracicaba, 2009.
89 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2009.
Bibliografia.

1. Análise de dados longitudinais 2. Bovinos de corte 3. Cruzamento animal 4. Curvas de crescimento 5. Gado Nelore 6. Mínimos quadrados 7. Modelos não lineares 8. Produção animal 9 Vacas - Produtividade I. Título

CDD 636.291
S586c

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

*A **DEUS**,* por sua presença constante em minha vida, conforto nas horas difíceis e conquistas alcançadas.

Com muito carinho aos meus pais,

***Paulo e Alzira**,* por todo incentivo e amor incondicional nos momentos mais importantes da minha vida.

Meus queridos e amados irmãos,

Lidiane, Wilma e Willames pelo apoio, amizade, palavras de incentivo e compreensão.

Meus avôs maternos

João e Maria (*in memorian*), pelo exemplo de perseverança e determinação.

OFEREÇO

DEDICATÓRIA

Ao meu orientador e professor

Dr. Irineu Umberto Packer *(in memorian)*

Existem pessoas que passam pelas nossas vidas e que transmitem tal energia e vitalidade que nos deixam imediatamente marcas duradouras. Pela inteligência, pelo otimismo, pela força e energia com que defendem os seus ideais, pela serenidade com que reagem quando os momentos são de fato críticos.

O Professor Packer possuía tais características que nos fidelizam e emocionam pela personalidade e pelos seus atos.

Além do profissionalismo, da firmeza e segurança, sempre encontrei em si um doce sorriso estampado no rosto, sempre disposto a ajudar.

Obrigada pelos ensinamentos transmitidos em tão pouco tempo, confiança em mim depositada, pelas oportunidades oferecidas e agradáveis momentos de convivência.

Foi um privilégio e uma honra ter sido sua aluna.

"A fé é a certeza de coisas que se esperam, a convicção de fatos que se não vêem".

(Hebreus 11.1)

Deus nos fez perfeitos e não escolhe os capacitados, capacita os escolhidos.

Fazer ou não fazer algo só depende de nossa vontade e perseverança....

(Albert Einstein)

AGRADECIMENTOS

À ***DEUS***, por sempre guiar-me pelos caminhos da perseverança, discernimento nas tomadas de decisões importante da minha vida, como também o privilégio de poder aprender mais a cada dia.

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo – ESALQ/USP e ao programa de Pós-Graduação em de Ciência Animal e Pastagens pela oportunidade de realização do curso em especial ao Professor Dr. Sila Carneiro, por todo apoio, atenção e dedicação, contribuindo para a qualidade do curso.

Ao professor Dr. Gerson Barreto de Mourão pela co-orientação, sugestões, amizade, ensinamentos transmitidos, paciência, colaboração e incentivo nesta caminhada. Muito obrigada!

Ao Dr. Alfredo Ribeiro de Freitas pela co-orientação, ensinamentos, críticas e sugestões que foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa e paciência, além da amizade concretizada na realização deste trabalho. Sou muito grata!

À Embrapa Pecuária Sudeste, em especial na pessoa de Dr. Maurício Mello Alencar, pela disponibilidade do banco de dados, ensinamentos e amizade.

Aos meus professores de graduação pelo incentivo nessa nova etapa, em especial a professora Drª. Angelina Bossi Fraga, pela amizade e apoio em momentos importantes. Obrigada de coração!

Ao amigo e professor Amaro Calheiro Pedrosa, pela amizade, palavras de ânimo, convivência agradável e experiência transmitida.

Ao Professor Dr. Carlos Tadeu Santos dias, pela confiança quando do ingresso como estagiária do Programa PAE da disciplina de Estatística experimental ministrada pelo mesmo, por todos os ensinamentos e oportunidade de discutir relevantes temas nessa área que aprecio tanto.

Ao professor Dr. César Gonçalves de Lima pela troca de informação e conversas produtivas sobre este tema.

Aos professores Dr. Valdomiro e Dr. Fernando Menten, do Departamento de Zootecnia, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo pela convivência agradável.

As amigas Simone Daniela Sartório, Glaúcia Tatiana Ferrari e Elisabethi Mie. Obrigada pelas palavras de ânimo, companhia nas horas e horas de estudos, excelente convivência e sólida amizade que construímos, a qual tenho certeza que será para sempre! Amo vocês, amigas!

Aos Amigos de Pós-graduação do Departamento de Ciências Exatas, Tiago de Almeida, Tiago Flor, Epaminondas Couto, Michele Barbosa, Marcelo Tavares, Alexandre Barbosa (*in memorian*), Marcelino Pascoa, Diógenes Ferreira Filho, Ana Patrícia Peixoto, Ricardo de Olinda, enfim a todos os amigos pela proveitosa, alegre e positiva convivência.

Ao amigo Alexssandro Claudino pela ajuda, força e apoio na minha vinda para Piracicaba e demais alunos moradores da Vila estudantil de Pós-graduação da ESALQ, que proporcionam um ambiente descontraído e favorável para novas amizades.

Ao amigo Ronaldo Lucas pela amizade e convivência agradável.

À amiga Fabiana Barrichello pela oportunidade de trocar de idéias e atenção despendida.

Ao amigo João Fernando Serrajordia Rocha de Mello pela amizade, atenção e prazer de ajudar ao próximo.

Aos Amigos de Pós-graduação do Departamento de Zootecnia, Carla de Andrade, Ana Beatriz Traldi, Leandro B. Costa, Bernardo Berenchtein, Viviane Almeida, Cynthia Siqueira, Julieta Santarosa, Priscila V. Rizzo, Mohamed Salim, Michele Lopes, Mariana Caetano, Tiago Zanetti, Andrezza Felício, pela amizade, convívio e momentos de descontração.

As amigas de célula da Igreja Batista Nova Vida: Raquel Barros, Raquel Gomes, Michele Vieira, Milena Almeida, Maria de Castro e Lígia Cordeiro, pela amizade, convívio agradável e orações. Amo vocês!!!

À bibliotecária da ESALQ/USP, Eliana Maria Garcia, pela revisão da dissertação.

A todo o Departamento de Zootecnia, funcionários e alunos, pelas facilidades oferecidas, pelo convívio e amizade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo suporte financeiro concedido no primeiro semestre de curso.

À FAPESP, pelo suporte financeiro para a execução deste trabalho.

Por fim, a todos e a tantos outros que de uma forma ou de outra contribuíram para a concretização deste sonho e enriquecimento profissional e humano: ***MUITO OBRIGADA!***

SUMÁRIO

RESUMO 13
ABSTRACT 15
1 INTRODUÇÃO 17
Referências 19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 23
2.1 Curvas de crescimento e o melhoramento genético animal 23
2.2 Regressões não-lineares 25
2.3 Comparações dos modelos não-lineares 27
2.4 Métodos de estimação de parâmetros em modelos não-lineares 30
2.5 Critérios de seleção dos modelos não-lineares 32
2.5.1 Critérios Estatísticos 32
2.5.2 Critérios biológicos 34
2.6 Interpretação biológica dos parâmetros da curva de crescimento 34
2.7 Relação entre os parâmetros da curva de crescimento e a produtividade das vacas 35
Referências 36
3 AJUSTE DE MODELOS NÃO-LINEARES PARA DESCREVER A CURVA DE CRESCIMENTO DE BOVINOS DE DIFERENTES TIPOS BIOLÓGICOS 43
Resumo 43
Abstract 43
3.1 Introdução 44
3.2 Material e Métodos 45
3.3 Resultados e Discussão 49
3.4 Conclusões 64
Referências 64
4 ASSOCIAÇÃO ENTRE AS ESTIMATIVAS DE PESO ADULTO E TAXA DE MATURIDADE COM CARACTERÍSTICAS DE PRODUTIVIDADE DE VACAS NELORE E CRUZADAS 69
Resumo 69
Abstract 69

4.1 Introdução 70
4.2 Material e Métodos 71
3.3 Resultados e Discussão 76
4.4 Conclusões 85
Referências..... 86

RESUMO

Curvas de crescimento e produtividade de vacas Nelore e cruzadas, de diferentes tipos biológicos, em sistema de produção intensiva

Inicialmente, foram analisados dados peso-idade do nascimento até 100 meses de idade, de vacas de quatro grupos genéticos (G): Nelore (NEL), ½Canchim + ½Nelore (CN), ½Angus + ½Nelore (AN) e ½Simental + ½Nelore (SN), pertencentes a Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos. Os animais considerados neste estudo nasceram de 1998 a 2001 (Ano), na primavera e outono (EP), e foram criados em sistema de produção intensiva, recebendo três níveis de suplementação pós-desmama (M): 0, 1,5; 3,0 kg/animal/dia de concentrado. O objetivo neste estudo foi comparar diferentes modelos não-lineares para estimar o crescimento, e avaliar a influência de efeitos de ambiente e grupo genético sobre os parâmetros estimados. Os modelos não-lineares: Brody, Gompertz, Logístico, Von Bertalanffy e Richards foram ajustados por mínimos quadrados ordinários e ponderados, considerando a variância normal e ponderada pelo inverso dos pesos em diferentes períodos. Foi usado o procedimento NLIN do SAS. Os modelos Brody e Von Bertalanffy convergiram para todos os G, havendo, entretanto, leve superioridade do Brody ponderado. Na comparação do ajuste dos modelos considerando o uso do inverso da variância os modelos mostraram-se mais adequado. As estimativas dos parâmetros peso assintótico (A) e taxa de maturidade (k) do modelo de Brody ponderado foram analisadas por meio de modelo que, além do efeito médio global, incluiu os efeitos de G, M, EP e as interações entre estes efeitos. Houve diferenças significativas das curvas de crescimento médias para os G. Na análise individual dos parâmetros A e k estimados através do modelo Brody ponderado, verificou-se que A foi influenciado ($P<0,05$) por G e EP e k foi influenciado ($P<0,05$) por M, fornecidos aos animais durante quatro meses após desmama. Melhorias no manejo alimentar resultaram em menor variação na forma das curvas de crescimentos e em altas taxas de maturidade. Na segunda parte, verificou-se a qualidade do modelo Brody, ponderado pelo inverso das variâncias dos pesos, quanto ao ajuste peso-idade como também a influência das estimativas do peso à maturidade (A) e da taxa de maturidade (k) sobre características produtivas das vacas NEL, CN, AN e SN. Foram organizados 10 grupos contemporâneos (GC), com concatenação dos efeitos Ano-EP-M para cada G. Utilizando-se um modelo misto com efeitos de G e GC, foi incluído, alternadamente covariáveis linear e quadrática de A e k, na análise das características produtivas: peso à desmama dos bezerros (PD); número (ND8) e kg (KD8) de bezerros desmamados em até 8 anos de permanência da vaca no rebanho; relação PD/peso da vaca ao parto (PD_PVP); relação PD/peso da vaca à desmama do bezerro (PD_PVD); relação PD/unidade metabólica da vaca ($PV^{0,75}$) à desmama do bezerro (PDW). Houve diferença significativa ($P<0,05$) da curva de crescimento entre os grupos genéticos (G) e também entre os grupos de contemporâneos (GC) dentro de G. Verificou-se que estas características foram, em geral, influenciadas ($P<0,01$) tanto pelos efeitos linear e quadrático de A quanto pelos efeitos linear e quadrático de k.

Palavras-chave: Cruzamento; Curvas de crescimento; Heterocedasticidade; Modelos não-lineares; Produtividade de vacas; Suplementação alimentar

ABSTRACT

Curves of growth and productivity of Nellore and cross from different biological types in intensive production system

Initially, were analyzed weight-age data from birth to 100 months of age from cows of four genetic groups (G): Nellore (NEL), ½Nellore + ½Canchim (CN), ½Angus +½Nellore (AN) and ½Simmental + ½Nellore (SN), of a experiment carried out at Embrapa Southeast Cattle Research Center, State of São Paulo, Brazil. The animals considered in this study were born from 1998 to 2001 (Year) in spring and fall (EP), and were managed in intensive production system and submitted to three of levels of supplementation post-weaning (M): 0, 1.5 and 3.0 kg/animal/day of concentrate. The objective of this study was to compare different nonlinear models to fitted growth curves, of beef cattle females, and to evaluate of environmental and genetic group effects on the estimated parameters. The nonlinear models: Brody, Gompertz, Logistic, Von Bertalanffy and Richards were fitted by ordinary least squares and weighted by the inverse of the variances of the weights in different periods. It was used the NLIN procedure of SAS. The parameters asymptotic weight (A) and maturing rate (k) obtained from model of Brody were analyzed by a mixed linear model that, besides the overall mean effect, included the effects of G, M, EP, and the interactions among these effects. The Brody and Von Bertalanffy models converged for all genetic groups, although slight superiority of the weighted Brody. Comparing the goodness of fit of these models, the use of the inverse of variances showed more efficient than the adjust of the models considering normal variances. Individual analysis of A and k estimated the model weighted Brody, the A parameter was influenced ($P < 0.05$) by genetic group and season of birth and k was influenced ($P < 0\ 05$) for levels of supplementation to the animals. Improvements in feeding supplementation resulted in less variation in the shape of growth curves and rates of maturity. In the second part of the work, it was evaluated the goodness of the Brody model, weighted by the inverse variance weights, in the adjust of weight-age data, and also analyzed the influence of the maturity weight (A) and maturing rate (k) estimates for traits cows productivity. Were organized 10 contemporary groups (CG) with concatenation of effects Year-EP-M for each G. Considering a mixed model with effects of G and CG (10 contemporaneous groups organized by concatenation Year-EP-M effects), linear and quadratic covariate effects of A and k, were added, alternately, for the analysis of the following traits: weaning weight of calve (WW), number (NW8) and kg (KW8) of calves weaned over 8 years of the cow in the herd; WW/weight of the cow at calving (WW_WC); WW/cow weight at weaning of calf (WW_WWC); and WW/metabolic unit of the cow ($PV^{0,75}$) at weaning of the calf (MW). There was significant difference ($P<0.05$) of the growth curve among the genetic groups and also among contemporary groups within G. It was found that the production traits were, in general, influenced ($P<0.01$) by both linear and quadratic effects of A and k.

Keywords: Crossbreeding; Cow productivity; Growth curves; Feed supplementation; Heterocedasticity; Nonlinear models

1 INTRODUÇÃO

O conhecimento e o controle do crescimento e desenvolvimento dos ruminantes são tópicos de bastante interesse pelos pesquisadores, uma vez que seu domínio permite que o manejo nutricional dos animais possa ser conduzido eficientemente, além de permitir que programas de seleção animal sejam elaborados para as características de crescimento inerentes a cada raça, Tedeschi et al. (2000b).

Vários pesquisadores têm utilizado modelos não-lineares em estudos de crescimento de bovinos de corte (BROWN et al., 1972; 1976; NOBRE et al., 1987; PEROTTO et al., 1992; TEDESCHI, 1996; ELIAS, 1998; OLIVEIRA et al., 2000; PAZ, 2002, FREITAS, 2005; FORNI, 2007), sobretudo com os modelos Brody, Von Bertalanffy, Logístico, Gompertz e Richards. No entanto, a escolha do modelo mais adequado para estimar o crescimento em função da idade é dependente, entre outros fatores, da raça bovina, do ambiente, da idade do animal onde foram avaliadas as últimas pesagens, do software e do modelo propriamente dito. Apesar da existência de trabalhos com as diversas raças bovinas, praticamente não existem informações sobre a curva de crescimento até a idade adulta de vacas cruzadas para as condições brasileiras.

De acordo com Freitas (2005), entre as várias aplicações das curvas de crescimento na produção animal, destacam-se: resumir em três ou quatro parâmetros, as características de produção, pois alguns parâmetros dos modelos não lineares utilizados possuem interpretação biológica; avaliar o perfil de resposta de tratamento ao longo do tempo; estudar interações de respostas das sub-populações ou tratamentos com o tempo e identificar em uma população os animais mais pesados em idades mais jovens. Neste contexto, a associação dos parâmetros de interesse as características produtivas podem gerar dados que permitem o conhecimento das exigências do animal (WEBSTER et al., 1982), permitindo quando associadas às características reprodutivas, o controle de programas de seleção de raças (BROWN et al., 1976).

Na literatura brasileira existem inúmeros estudos sobre curvas de crescimento com bovinos, sendo a maioria das pesquisas voltada para as etapas inicias de crescimento limitando-se às mensurações em idades de animais antes de atingirem a maturidade. Com a raça Guzerá registra-se um estudo com sequência completa de pesagens de vacas (OLIVEIRA, 1995). Elias (1998) realizou analise comparativa do crescimento de fêmeas das raças Nelore Guzerá e Gir, usando o conjunto completo de dados de pesos, desde o nascimento até a idade adulta, observado nos

rebanhos de seleção da Estação Experimental de Sertãozinho. Quanto à curva de crescimento em animais cruzados, citam-se os trabalhos de Tedeschi et al. (2000a; 2000b), com machos e fêmeas a partir do Guzerá, trabalhando com a equação de Gompertz, bem como os de Paz et al. (2004a; 2004b) com animais ½Canchim-Nelore, ½Angus-Nelore e ½Simental-Nelore, machos e fêmeas em crescimento até os 19 meses de idade, usando a função logística.

Segundo Guedes et al. (2004) no estudo de curvas de crescimento pode ocorrer heterogeneidade das variâncias dos pesos corporais, pois à medida que a idade aumenta, a variância dos pesos corporais também aumenta. Entretanto, na maioria dos estudos de curvas de crescimento, a heterogeneidade de variância dos pesos no tempo não é levada em consideração, tais como, o que alguns autores definiram como "distúrbios de regressão", tendo em vista que os dados são tomados longitudinalmente em cada animal (MAZZINI et al., 2005; MENDES, 2008; PASTERNAK; SHALEV, 1994). Caso esta pressuposição seja ignorada, pode ocorrer estimativas viesadas (PASTERNAK; SHALEV, 1994) e subestimação das variâncias dos parâmetros, respectivamente (SOUZA, 1998). Uma alternativa, neste caso, consiste no uso de regressão não-linear ponderada, utilizando-se o inverso da variância dos pesos (PASTERNAK; SHALEV, 1994), com o intuito de reduzir a heterogeneidade das variâncias dos pesos em diferentes tempos; a opção WEIGHT do procedimento NLIN do SAS® (2004), pode ser utilizada nestes casos. Estes autores estimaram os parâmetros da equação de Gompertz para dados simulados de peso em frango de corte, usando tanto a regressão não-linear simples quanto a ponderada existentes no procedimento NLIN do SAS. Na regressão ponderada, os pesos eram proporcionais ao recíproco das variâncias nas diferentes idades. Os resultados deste estudo demonstraram a maior eficiência da regressão não-linear ponderada.

Relações importantes entre os parâmetros das curvas de crescimentos e características de produtividade são relatados na literatura (URICK et al., 1971; STEWART; MARTIN, 1981; BARBOSA et al., 2002). Em alguns trabalhos os autores indicam claramente a existência de um tamanho ótimo das vacas em termos de certas medidas de eficiência e produtividade. Entretanto, são escassos no Brasil, trabalhos que relacionem tais características em animais Nelore e cruzados. Vários critérios têm sido usados para avaliar a produtividade de vacas no intuito de melhorar a eficiência de produção de carne bovina. Dentre esses, pode-se destacar: peso à desmama dos bezerros; o peso à desmama do bezerro/vaca exposta; a relação entre peso à desmama do bezerro/peso da vaca ao parto; o peso à desmama do bezerro/unidade metabólica da

vaca ($kg^{0,75}$) na desmama, o peso à desmama do bezerro por oportunidade de acasalamento da vaca (KRESS et al., 1990; RAHNEFELD et al., 1993).

Os objetivos neste estudo foram: a) comparar diferentes modelos não-lineares de crescimento quanto ao ajuste de dados de peso-idade de fêmeas Nelore e cruzadas, considerando-se os pesos não ponderados e também ponderados pelo inverso das respectivas variâncias e verificar a influência de fatores genéticos e ambientais sobre os parâmetros A e k estimados dos modelos não-lineares; b) avaliar as associações existentes entre as estimativas de peso adulto e taxa de maturidade com características de produtividade de vacas, criadas em sistema de produção intensiva.

Para estes propósitos, o trabalho de dissertação é apresentado em dois capítulos (Capítulo 3 e 4) referentes a dois artigos científicos.

Referências

BARBOSA, P.F.; ALENCAR, M.M.; SILVA, A.M. Peso à maturidade, taxa de maturação e eficiência produtiva em fêmeas da raça Canchim. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 54, n. 5, p. 510-517, 2002.

BROWN, J.E.; BROWN, C.J.; BUTTS, W.T. A discussion of the genetic aspects of weigth, mature weigth and rate of maturing in Hereford and Angus cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 34, n. 4, p. 525-537, 1972a.

_____. A comparison of nonlinear models for describing weigth-age relationships in cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 42, n. 4, p. 810-818, 1976.

ELIAS, A.M. **Análise de curvas de crescimento de vacas Nelore, Guzerá e Gir**. 1998. 128 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

FORNI, S. **Análise da curva de crescimento de bovinos da raça Nelore utilizando funções não lineares em análises Bayesianas**. 2007. 65 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2007.

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

GUEDES, M.F.; MUNIZ, J.A.; PEREZ, J.R.O.; SILVA, F.F.; AQUINO, L.H.; SANTOS, C.L. Estudo das curvas de crescimento de cordeiros das raças Santa Inês e Bergamácia considerando Heterogeneidade de variâncias. **Ciência Agrotécnologia**, Lavras, v. 28, n. 2, p. 381-388, 2004.

KRESS, D.D.; DOORNBOS, D.E.; ANDERSON, D.C. Performance of crosses among Hereford, Angus and Simmental cattle with different levels of Simmental breeding: V. Calf production, milk production and reproduction of three to eight-year-old dams. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 68, p. 1910-1921, 1990.

MAZZINI, A.R.A.; MUNIZ, J.A.; SILVA, F.F.; AQUINO, L.H. Curva de crescimento de novilhos Hereford: heterocedasticidade e resíduos autorregressivos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 422-427, 2005.

MENDES, P.N.; MUNIZI, J.A ET AL.; FONSECA, F.; MAZZINI, A.R.A. Modelo logístico difásico no estudo do crescimento de fêmeas da raça Hereford. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 38, n. 7, p. 1984-1990, 2008.

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 freqüências de pesagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 9, p. 1027-1037, 1987.

OLIVEIRA, H.N. de; 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.

OLIVEIRA, J.A.L.; ALENCAR, M.M.; LIMA, R. Eficiência produtiva de vacas da raça Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 445-453, 1995.

PASTERNAK, H.; SHALEV, B.A. The effect of a feature of regression disturbance on the efficiency of fitting growth curves . **Growth, Development & Aging**, Bar Harbor, v. 58, n. 1, p. 33-39, 1994.

PAZ, C.C.P. **Associação entre polimorfismos genéticos e parâmetros da curva de crescimento em bovinos de corte.** 2002. 106 p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

PAZ, C.C.P.; PACKER I.U.; FREITAS, A.R.; REGITANO, L.C.; ALENCAR, M.M. Ajuste de modelos não-lineares em estudos de associação entre polimorfismos genéticos e crescimento em bovinos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1416-1425, 2004a.

_____. Influência de polimorfismos genéticos sobre os parâmetros da curva de crescimento em bovinos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 858-869, 2004b.

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**, Ottawa, v. 72, n. 4, p. 773-782, 1992.

RAHNEFELD, G.W.; WEISS, G.M.; WARD, D.A. Comparison of methods to evaluate beef cows productivity. **Canadian Journal of Animal Sciences**, Ottawa, v. 73, p. 971-996, 1993.

SAS INSTITUTE. **Statistical analysis system user's guide**: version 9.1. Cary, 2004.

SOUZA, G.S. **Introdução aos modelos de regressão linear e não linea**r. Brasília: EMBRAPA, SPI; EMBRAPA, SEA, 1998. 489 p.

STEWART, T.S.; MARTIN, T.G. Mature weight, maternal performance and their interrelationships in purebred and crossbred cows of Angus and Milking Shorthorn parentage. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 52, n. 1, p. 51-56, 1981.

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 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

TEDESCHI, L.O.; BOIN, C.; NARDON, R.; LEME, P.R. Estudo da curva de crescimento de animais da raça guzerá e se cruzamentos alimentados a pasto, com e sem suplementação. 1. Análise e seleção das funções não-lineares. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 630-637, 2000a.

_____. Estudo da curva de crescimento de animais da raça guzerá e seus cruzamentos alimentados a pasto, com e sem suplementação. 2. Avaliação dos parâmetros da curva de crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 9, n. 5, p. 1578-1587, 2000b.

URICK, J.J.; KNAPP, B.W.; BRINKS, J.S. PAHNISH, O.F.; RILEY, T.M. Relationships between cow weights and calf weaning weights in Angus, Charolais and Hereford breeds. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 33, n. 2, p. 343-348, 1971.

WEBSTER, A.J.F.; AHAMED, A.M.A.; FRAPPELL, J.P. A note of growth rates and maturation rates in beef bulls. **Animal Production**, Edinburgh, v. 35, n. 2, p. 281-286, 1982.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Curvas de crescimento e o melhoramento genético animal

Por meio do melhoramento genético animal é possível alterar características desejáveis nos animais a serem produzidos na geração seguinte (BARBOSA, 1997). Segundo Alencar (2002) o melhoramento da produção animal pode ser obtido pelo melhoramento do ambiente, por meio de mudanças nos manejos nutricional, sanitário e reprodutivo, e pelo melhoramento genético, que pode ser realizado por meio de sistemas de acasalamento e seleção. Entretanto para maximizar a produtividade dos sistemas, os dois processos devem caminhar juntos.

Mediante a disponibilidade de um grande número de raças de bovinos, biologicamente diferentes faz-se necessário estudos no sentido de adequar o tipo de animal e o ambiente, para aumentar a eficiência dos sistemas de produção. Neste contexto, o cruzamento entre raças tem muito a contribuir, pois além de dar flexibilidade aos sistemas de produção, permite explorar as diferenças genéticas entre raças e os efeitos da heterose e complementaridade (BARBOSA; ALENCAR, 1995).

Os programas de avaliação genética de gado de corte no Brasil, normalmente contemplam, além de outras, as características de crescimento (ALENCAR, 2002). Essas características possuem a vantagem de serem de fácil medição e de apresentarem herdabilidade, geralmente, de magnitudes médias, indicando que a seleção pode resultar em progresso genético (MASCIOLI, 1995). A seleção para maiores pesos e taxas de crescimento em idades jovens pode resultar em aumento no tamanho adulto dos animais (BARBOSA, 1991; OLIVEIRA, 1995; MASCIOLI et al., 1999; SILVA et al., 2000). Alencar (2002) menciona a necessidade de definição do tamanho adulto aceitável ou desejável para animais de várias raças nos diferentes sistemas de produção brasileiros. Conforme Molinuevo (1967) e Lobato (1997), fêmeas de menor porte, além de apresentarem menores exigências nutricionais que as de porte mais elevado, atingem maior produtividade por área, uma vez que é possível manter maior número de matrizes e desmamar maior número de bezerros por unidade de área.

As características de crescimento (pesos) quando 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 ou não-lineares dos dados. (CARTWRIGHT, 1970; FITZHUGH, 1976).

Os parâmetros dos modelos não-lineares além de possibilitar modelar o crescimento dos animais com a idade possuem interpretação biológica, o que facilita o entendimento do processo de crescimento e também de várias etapas do manejo e da reprodução. Possibilitam ainda avaliar os fatores genéticos e de ambiente que influenciam a forma da curva de crescimento e, desse modo, alterá-la por meio de seleção, ou seja, identificar animais com maior velocidade de crescimento, maior ganho de peso em uma fase específica da vida sem alterar o peso adulto, em vez de selecionar animais cada vez maiores. **(**SANTORO et al., 2005; SARMENTO et al., 2006).

Vários autores mencionam inúmeros benefícios que a seleção para alterar a forma da curva de crescimento pode proporcionar: (1) resolver o antagonismo genético entre o crescimento rápido e eficiente da progênie até o peso de abate e o menor custo de manutenção das vacas, (2) aumentar a eficiência mediante o aumento da taxa de maturação, (3) diminuir a idade ao primeiro parto pela redução da idade à puberdade, (4) reduzir a incidência de distocia pela redução da relação entre o peso do bezerro ao nascer e o peso da vaca, (5) modificar a composição da carcaça possibilitando que os animais atinjam o peso ao abate com a proporção de gordura exigida pelo mercado consumidor em questão. Em contrapartida, um fator complicador é a existência de correlação negativa entre peso adulto e taxa de maturação (TAYLOR; YOUNG, 1968; CARTWRIGHT, 1970; FITZHUGH, 1976; TAYLOR, 1989; TEDESCHI, 1996), onde animais com elevados pesos adultos tendem a apresentar menores taxas de maturação.

Os benefícios do uso desses modelos para o melhoramento genético animal seriam a estimação dos parâmetros para das curvas de crescimento permitindo a identificação dos animais mais apropriados a determinados fins, como maior ganho de peso em uma fase específica da vida. Perotto et al. (1997), relatam os seguintes índices no auxílio ao melhoramento genético através destes modelos não lineares para curva de crescimento: taxa média de crescimento absoluto, taxa média de maturação absoluta, peso, grau de maturidade e idade no ponto de inflexão, máxima velocidade de ganho de peso e máxima taxa de maturação (FREITAS, 2005; SANTORO, 2005;).

O interesse nos parâmetros das curvas de crescimento como critérios de seleção de bovinos de corte concentra-se no peso assintótico (A) e na taxa de maturação (k). O interesse nestes parâmetros advém da impossibilidade de medir o peso dos animais na idade adulta, pois são abatidos antes da maturidade. A inclusão do peso adulto em programas de melhoramento

genético seria interessante, uma vez que a seleção para maior taxa de crescimento deve trazer como conseqüência, maior custo de manutenção de fêmeas de maior tamanho, não necessariamente compensado pelo aumento da taxa de crescimento dos bezerros (CARTWRIGHT, 1970; LÓPEZ de TORRE et al., 1992; ARANGO; VAN VLECK, 2002). Segundo Forni (2007) o peso adulto, predito através das curvas de crescimento, poderia ser incluído em programas de seleção considerado em índices de seleção com seu valor econômico correspondente para melhorar a eficiência total do sistema de produção de gado de corte. Em relação ao parâmetro k, a maturação precoce é uma característica desejável na produção de bovinos de corte, uma vez que representa diminuição no tempo que o animal necessita para atingir as características desejáveis para o abate, melhorando assim a taxa de retorno da atividade pecuária (FITZHUGH, 1976). Entretanto, é importante ressaltar que a comparação entre estimativas do parâmetro k deve ser feita considerando sua associação com o peso assintótico (FORNI, 2007).

2.2 Regressões não-lineares

O conhecimento da relação entre uma variável dependente com uma ou mais variáveis independentes é uma das tarefas mais comuns entre pesquisadores. Pode-se atingir este objetivo através de modelos de regressão.

Na visão de Draper e Smith (1998), os modelos de regressão são classificados como lineares e não-lineares. Essa classificação é baseada no conceito de derivadas parciais (Stewart, 2002). Formalmente, pode-se dizer que um modelo é linear se as derivadas parciais da variável dependente em relação a cada parâmetro não forem funções dos próprios parâmetros, ou seja, as derivadas não dependem dos parâmetros, são independentes.

Exemplo: Seja o modelo de regressão linear $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i^2 + \varepsilon_i$, em que Y_i e X_i^2 são as variáveis resposta e regressoras, respectivamente; β_0 e β_1 são os seus parâmetros; e ε_i é o resíduo ou erro. Assim as derivada para este modelo são:

$$\partial Y_i/\partial \beta_0 = 1$$

$$\partial Y_i/\partial \beta_1 = X_i^2$$

O modelo de regressão é dito não-linear, quando as derivadas parciais da variável dependente em relação a cada parâmetro são funções dos próprios parâmetros. Basta uma de suas

derivadas serem função dos parâmetros para o modelo ser classificado como não-linear (FERREIRA, 2006).

Exemplo: Seja o modelo de regressão não linear $Y_i = \beta_0 X_i^{\beta 1} + \varepsilon_i$ em que suas derivadas são:

$$\partial Y_i/\partial \beta_0 = X_i^{\beta i}$$

$$\partial Y_i/\partial \beta_1 = \beta_0 X_i^{\beta i} \ln(X_i)$$

Observa-se que a derivada de Y_i com relação a β0 é função de βi e, da mesma forma, a derivada de Y_i com relação a β_1 é função de β0 e de βi.

Vários pesquisadores tem utilizado modelos de regressão não-linear em estudos de crescimento de bovinos de corte (BROWN et al., 1976; FITZHUGH JR., 1976; GOONEWARDENE et al., 1981; NOBRE et al., 1987; PEROTTO et al., 1992; MECHANCA et al., 1996; TEDESCHI, 1996; ELIAS, 1998; OLIVEIRA et al., 2000; PAZ, 2002; MAZZINI, 2005; FREITAS, 2005; FORNI, 2007; MARTINS, 2008), sobretudo com os modelos Brody, Von Bertalanffy, Logístico, Gompertz e Richards. No entanto, questiona-se, sobre qual desses modelos é o mais apropriado para descrever o crescimento corporal de bovinos de diferentes tipos biológicos.

As funções não-lineares contem diversos parâmetros em comum e embora existam variações quanto à interpretação e conteúdo, é possível associar significado biológico a cada um deles.

Os parâmetros utilizados nestas funções têm o seguinte significado:

Y_i = representa o peso do animal em uma determinada idade (t), expressa em dias;

A = valor assintótico de Y (t) quando a idade (t) se aproxima do ∞;

k = mede a variação na função exponencial, ou seja, na velocidade do crescimento, e está associado à taxa de maturação. Considerando que o grau de maturação de um indivíduo, numa determinada idade, significa a fração do peso adulto atingida naquela idade, então a taxa de maturação é uma medida da velocidade com que o animal se aproxima do seu tamanho adulto. Valores baixos de k sugerem que o animal é de maturação tardia e vice-versa.

b = constante de integração e está relacionada aos pesos iniciais do animal. Reflete o grau de maturidade do animal ao nascimento (t=0);

m = define a forma da curva no modelo, e consequentemente determina em que proporção do tamanho adulto (A) ocorre o ponto de inflexão da curva, o qual refere-se ao ponto em que o animal passa de uma fase de crescimento acelerada para uma fase de crescimento inibitória;

e = base do logaritmo natural.

Tabela 1 – Propriedades dos modelos não-lineares

Modelo	**$\partial y/\partial t$**	**$A^{-1}(\partial y/\partial t)$**	**$(\partial y/\partial t)/y$**	**$(y_i;t_i)$**
Brody	$AbkC_1$	bkC_1	$AbkC_1/y$	Não possui
$\partial y/\partial A = (1-bC_1)$				
$\partial y/\partial b = (-AC_1)$				
$\partial y/\partial k = (AbtC_1)$				
Von Bertalanffy	$3AbkC_1(1-bC_1)^2$	$3bkC_1(1-bC_1)^2$	$3ybkC_1/(1- bC_1)$	8A/27; log(3b)/k
$\partial y/\partial A = (1-bC_1)^3$				
$\partial y/\partial b = -3AC_1(1-bC_1)^2$				
$\partial y/\partial k = 3AbT(1-bC_1)^2C_1$				
Gompertz	$bkyC_1$	kyC1/A	bkyC1	A/e; $(\log_b)/k$
$\partial y/\partial A = \exp(-bC_1)$				
$\partial y/\partial b = -yC_1$				
$\partial y/\partial k = ybtC_1$				
Logístico	$kmyC_1/(1+ C_1)$	$KmC_1(1+ C^1)^{-m-1}$	$KmC_1/(1+ C_1)$	$A[m /(m+1)]^m$; $\log_m/k$
$\partial y/\partial A = 1/(1 + C_1)^m$				
$\partial y/\partial b = -y\log (1 + C_1)$				
$\partial y/\partial k = ymtC_1/(1 + C_1)$				
Richards	$ymbkC_1/(1-bC_1)$	$mbkC_1(1-bC_1)^{(m-1)}$	$mbkC_1/(1-bC_1)$	$Am^{1/(1-m)}\log(b(1m)^{-1})/k$
$\partial y/\partial A = (1 - bC_1)^m$				
$\partial y/\partial b = -ymC_1/(1 - bC_1)$				
$\partial y/\partial k = ymbtC_1/(1 - bC_1)$				
$\partial y/\partial m = y \log(1 - bC_1)$				

Fonte: Freitas (2005)
$C_1 = \exp(-kt)$; $\partial y/\partial t$ = taxa de crescimento instantânea; $A^{-1}(\partial y/\partial t)$ = taxa de maturidade absoluta
$(\partial y/\partial t)/y$ = taxa de crescimento instantânea relativa; $(y_i; t_i)$ = ponto de inflexão

2.3 Comparações dos modelos não-lineares

Analisando dados de pesagens do nascimento até 4,5 anos de idade de fêmeas da raça Nelore, Garnero et al. (2005), utilizaram as funções Brody, Von Bertalanffy, Logístico e

Gompertz e concluíram que todas as funções citadas acima foram adequadas para descrever o crescimento. Levando em consideração os aspectos de facilidade computacional e precisão de ajustes aos dados observados, os melhores resultados foram proporcionados pelo modelo Brody (BROWN et al., 1972a; 1972b; DUARTE, 1975; SILVEIRA JÚNIOR, 1976; LUDWIG, 1977). No estudo de Beltrán et al. (1992), a função de Brody gerou melhores resultados de estimativa de peso vivo em vacas Angus com mais de 18 meses de idade. Entretanto, apresentou maior quadrado médio do resíduo em relação à função de Richards, devido à superestimativa dos pesos vivos antes dos 18 meses de idade.

Paz et al. (2004) usou cinco modelos objetivando descrever o crescimento de 230 vacas de diferentes grupos genéticos: ½Canchim-Nelore, ½Angus-Nelore e ½Simental-Nelore. Observaram que o modelo Logístico foi mais adequado para descrever a curva de crescimento encontrando assim, médias de estimativas de: 427,5 kg, 475,0 kg e 489,1 kg para o peso assintótico (*A*), 0,00660 dia^{-1}, 0,00624 dia^{-1} e 0,00599 dia^{-1} para a taxa de maturação (*k*) e 3,5710, 3,5137 e 3,5401 para o ponto de inflexão (*m*), respectivamente para os grupos genéticos. Santoro et al. (2005) ajustaram os modelos de Brody, Logístico, Von Bertalanffy, Gompertz, Mitscherlich, Richards e Logístico Duplo em relação aos parâmetros para as raças Guzerá, Nelore e Nelore Mocho. Esses autores observaram que o modelo logístico duplo foi o mais adequado para todas as raças e sexos sob o ponto de vista de facilidade computacional, enquanto os modelos de Richards e Brody foram superiores quanto à interpretação biológica de seus parâmetros e coeficiente de determinação.

Ludwig (1977) relatou os seguintes pesos à maturidade: 424; 323; 299 kg para os modelos Brody, Von Bertalanffy, Logístico e valores de k de 0,058; 0,106; 0,155, respectivamente.

Oliveira (1995), trabalhando com vacas Guzerá obteve valores de A e k de: 408 kg e 0,048; 453 kg e 0,069; 446 kg e 0,090; 461 kg e 0,057 para Brody, Von Bertalanffy, Logístico e Richards, respectivamente. Comparando esses valores com estimativas publicadas das raças taurinas pode-se afirmar que as raças zebuínas se caracterizam por serem mais tardias.

Johnson et al. (1990) obtiveram estimativas dos parâmetros da curva de crescimento através do modelo Brody para vacas Angus, Hereford, Charoles e Red Poll. O valor médio do A para animais da raça Angus variou de 387 kg até 565 kg e a taxa de maturação entre 0.132%/dia até o valor de 0.192%/dia.

Bergamasco, Aquino e Muniz (2001) estudando a curva de crescimento de novilhas Holandesas pesadas mensalmente do nascimento até 24 meses de idade utilizando-se os modelos Brody, Gompertz e Logístico. Conforme estes autores, o modelo Logístico apresentou boa qualidade de ajustamento e facilidade computacional, mas subestimou o valor de A convencional para essas idades. O modelo Brody mostrou excelente ajustamento da curva, mas apresentou estimativa do valor de A bem acima do convencional. Ambos os modelos apresentaram porcentagem de convergência menores nos ajustes individuais. O modelo Gompertz apresentou excelente qualidade de ajustamento, maior porcentagem de convergência no ajuste individual e estimativa de A mais condizente com a realidade.

Em estudos efetuados com conjunto de dados completo de peso, desde o nascimento até a idade adulta de fêmeas das raças Nelore, Guzerá e Gir pertencentes ao rebanho de seleção da Estação Experimental de Sertãozinho, Elias (1998), realizou análise comparativa dos modelos de crescimento não-linear não ponderado e ponderado pelo inverso das variâncias. Esse autor observou que o modelo de Brody ponderado apresentou melhores estimativas para os parâmetros.

Oliveira et al. (2000) ajustaram modelos não-lineares (Richards, Brody, Logística, Gompertz e von Bertalanffy) a dados de peso-idade de fêmeas da raça Guzerá, visando estabelecer um padrão médio de crescimento. A qualidade do ajuste destes modelos foi avaliada pelo coeficiente de determinação e quadrado médio do resíduo. Os modelos de Brody, Bertalanffy, Logístico e Gompertz foram adequados para descrever o crescimento em fêmeas da raça Guzerá. No entanto, o modelo von Bertalanffy foi o mais indicado para representar a curva de crescimento média de fêmeas da raça Guzerá. Freitas et al. (1998a; 1998b) e Freitas (2005) compararam os modelos Gompertz, Logístico e Von Bertalanffy, utilizando dados de animais da raça Canchim, e concluíram que os dois últimos proporcionaram boa qualidade de ajuste aos pesos observados, para ambos os sexos, com certa superioridade do modelo Logístico em relação aos demais. Forni (2007) relata que as equações de Brody, Gompertz e Von Bertalanffy foram adequadas para estabelecer padrões médios de crescimento e predizer o peso adulto de fêmeas da raça Nelore. Entretanto, o modelo de Brody foi mais preciso em predizer o peso ao nascimento destes animais.

Tedeschi et al. (2000) analisando sete funções não-lineares para descrever o crescimento de machos e fêmeas da raça Guzerá e seus cruzamentos (3/4Guzerá-1/4Pardo Suíço, 1/2Nelore-1/4Pardo Suíço-1/4Guzerá, 1/2Pardo Suíço-1/2Guzerá, 1/2Chianina-1/4Pardo Suíço-1/4Guzerá,

1/2Caracú-1/2Guzerá, 1/2Caracu-1/4Pardo Suíço-1/4Guzerá) submetidos a três níveis de suplementação, a fim de analisar e selecionar uma função que apresentasse menores desvios de regressão, menor variação residual, maior coeficiente de determinação, menor variação entre os parâmetros dos animais, maior convergência e valor assintótico compatível com o peso adulto observado verificaram que a função que melhor se enquadrou nesses parâmetros de seleção foi a função de Gompertz, seguida da função de Von Bertalanffy. A função de Richards apresentou grande dificuldade computacional para o ajuste, resultando em baixa convergência. As funções de Brody apresentaram as maiores estimativas de peso adulto e a função de Gompertz modificada e Logística, as menores estimativas.

2.4 Métodos de estimação de parâmetros em modelos não-lineares

Nos modelos de regressão não-linear não é possível a solução das equações normais de formas analítica, sendo as estimativas de parâmetros obtidas por meio de algoritmos iterativos. Para dar início ao processo iterativo de estimação dos parâmetros é necessário fornecer valores iniciais (semente) para os mesmos Essas estimativas iniciais são obtidas da literatura e ou a partir da análise de dados de experimentos. Uma vez estabelecido estes valores e as restrições para os parâmetros, o processo iterativo é iniciado e somente termina com a obtenção da convergência, a qual resulta em menor soma de quadrados do resíduo. Vários algoritmos e métodos existem para realizar este processo de estimação.

O ajuste de modelos não-lineares geralmente é feito através da estimação dos seus parâmetros através dos mínimos quadrados ordinários (OLS). A grande maioria dos trabalhos publicados tem utilizado o procedimento NLIN do SAS (2004) para obter as estimativas, pelo método de OLS dos parâmetros dos modelos não-lineares, com várias suposições, críticas e restritivas para que os estimadores apresentem variância mínima. Conforme Davidian e Giltinan (1996) o modelo básico para a variável resposta Y_i apresenta dois componentes principais: a função não-linear que caracteriza a resposta média e uma especificação da variância intra-individual. A estrutura clássica da regressão não-linear por OLS especifica que sendo correta a equação não-linear utilizada, as seguintes suposições sobre os erros devem ser preenchidas: (1)- os erros tem média zero; (2)- os erros são independentes; (3)- os erros tem variância comum (σ^2) e são identicamente distribuídos em todos os valores de x_j; (4)- os erros seguem distribuição

normal. Nesta situação, o procedimento NLIN é apropriado para obter estimativas dos parâmetros das equações. Entretanto, quando a metodologia de quadrados mínimos quadrados ordinários é aplicada para dados provenientes de medidas repetidas, as suposições citadas anteriormente não são respeitadas.

Em geral, os modelos de regressão básicos assumem que os erros são independentes, no entanto, em experimentos que onde a variável regressora é medida no tempo, pode ocorrer correlação residual devido a esse fator. Para Bates e Watts (1988) sempre que o tempo ou distância estiver envolvido como um fator numa análise de regressão é prudente checar a suposição da independência dos erros. Para os autores, quando os erros não são independentes o modelo para as observações deve ser alterado para explicar a dependência.

De acordo com Mendes (2008) na maioria dos estudos de curvas de crescimento, algumas pressuposições estatísticas importantes não são levadas em consideração, tais como a heterogeneidade de variância dos pesos no tempo decorrente do aumento da idade, o que alguns autores definiram como "distúrbios de regressão" e a existência de autocorrelação entre os resíduos do ajuste, tendo em vista que os dados são tomados longitudinalmente em cada animal (MAZZINI et al., 2005). Caso estas estatísticas sejam ignoradas, pode ocorrer a obtenção de estimativas viesadas (PASTERNAK; SHALEV, 1994) e a subestimação das variâncias dos parâmetros, respectivamente (SOUZA, 1998).

Segundo Mazzini (2001), o uso do método dos quadrados mínimos ordinários, nos casos de regressão com erros autocorrelacionados, têm importantes conseqüências, como: os estimadores dos coeficientes não são tendenciosos, apesar de levarem à subestimação da variância, podendo ser completamente ineficientes; o quadrado médio do resíduo pode subestimar a variância dos erros; em conseqüência, o desvio padrão calculado de acordo com o método dos mínimos quadrados ordinários pode subestimar o verdadeiro desvio padrão do coeficiente de regressão estimado, invalidando os intervalos de confiança e testes usando as distribuições t e F.

Para resolver, ao menos parcialmente, a questão da homogêneidade das variâncias recomenda-se o uso da regressão não linear ponderada (weighted nonlinear regression), conforme Pasternak e Shalev (1994). Estes autores estimaram os parâmetros da equação de Gompertz para dados simulados de peso em frango de corte, usando tanto a regressão não linear simples e ponderada (weighted) existentes no procedimento NLIN do SAS® (2004). Na regressão ponderada os pesos eram proporcionais ao recíproco das variâncias nas diferentes idades. Os

resultados deste estudo demonstraram a maior eficiência da regressão não linear ponderada, conforme verificado por Elias (1998) com vacas zebuínas.

2.5 Critérios de seleção dos modelos não lineares

2.5.1 Critérios Estatísticos

Avaliar a qualidade do juste é uma parte importante de qualquer processo de seleção e construção de modelos. Na literatura podemos encontrar diferentes critérios para avaliar a qualidade do ajuste de modelos não lineares, pois a análise dos resíduos não é apropriada para dados longitudinais devido aos erros serem correlacionados entre as pesagens repetidas para o mesmo animal ao longo do tempo.

A comparação entre estes modelos é em geral baseada na qualidade do ajustamento e nas dificuldades computacionais. Entre essas últimas consideram-se o número de iterações para atingir o critério de convergência e a porcentagem de animais em que o critério de convergência não é atingido, levando-se em conta o número máximo de iterações estabelecido. No tocante à qualidade do ajustamento, os autores empregam como critérios, a variância residual do ajustamento do modelo a cada animal, o coeficiente de determinação, desvios e correlação dos pesos observados *versus* pesos preditos nas várias fases da vida dos animais, erro de predição médio entre outros (OLIVEIRA 1995; PAZ, 2002; FREITAS, 2005). Os resultados deste tipo de comparação são dependentes do conjunto de dados usado, e permitem concluir que não existe um modelo uniformemente superior.

O coeficiente de determinação (R^2) de acordo com Schabenberger (2001), pode ser dado da seguinte forma para modelos não-lineares:

$$R^2 = 1 - (SQR/SQTc)$$

em que,

SQR = Soma de quadrado do resíduo;

SQT_c= Soma de quadrado total corrigida para o número de parâmetros do modelo;

O coeficiente de determinação deve ser utilizado com cautela na avaliação da qualidade do ajuste, pois no caso de modelos não-lineares a soma dos resíduos não necessariamente é igual a

zero e a soma dos quadrados dos resíduos mais a soma dos quadrados da regressão não é necessariamente igual a soma dos quadrados total, o que pode afetar o coeficiente de determinação (SOARES, 2007).

O erro de predição médio (EPM) corresponde a média de todos os erros de predição (EP), a partir de cada observação como um desvio entre o peso observado (y) em percentagem:

$$EP = \sum_{i=1}^{n} (y_i - \hat{y}_i)/100,$$

Este critério carrega um sinal, indicando se a função subestimou (+) ou superestimou (-) o valor observado. A diferença nos valores do EPM foi avaliada por (ELIAS, 1998; PAZ, 2002; MAZZINI, 2003).

Os desvios e correlação entre pesos observados e preditos de acordo com a idade podem de ser utilizada como critério na escolha do melhor modelo. Esses dois critérios mostram como as variações dos pesos se comportam em cada idade.

Outro critério que vem sendo utilizado recentemente é o desvio médio absoluto dos resíduos (DMA) proposto por Sarmento (2006).

$$DMA = \sum_{i=1}^{n} \left| y_i - \hat{y}_i \right| / n$$

em que y_i é o peso observado e $\hat{y}_i$ é o peso estimado para a pesagem i e, n tamanho da amostra. Quanto menor o valor do DMA melhor o ajuste.

A seleção entre os modelos também pode ser realizada feita com base nos valores do Critério de informação de Akaike (AIC), Critério de informação Baysiano de Schwar (BIC). Esses critérios AIC e BIC são obtidos da seguinte forma:

$$AIC = -2\log(L) + 2(p)$$

$$BIC = -2\log(L) + \log(np)$$

sendo, em ambos os casos, L a função de verossimilhança e p o número de parâmetros ajustados; n é o número de observações. O critério BIC penaliza mais fortemente modelos com um maior número de parâmetros do que o AIC tendendo, desta forma, a selecionar modelos com um menor

número de parâmetros (DEMÉTRIO; ZOCCHI, 2008). Idealmente, o AIC (ou o BIC) deve ser o menor possível, medindo quanto o modelo estimado se ajusta aos dados.

2.5.2 Critérios Biológicos

Derivando-se a variável dependente y, em função da idade t, várias propriedades das curvas de crescimento são obtidas.

A taxa de crescimento instantânea absoluta (TCI) é obtida a partir da primeira derivada do modelo ajustado, em relação ao tempo ($\partial y/\partial t$) e, pode ser visualizada por meio do gráfico de $\partial y/\partial t$, na ordenada, e y, na abscissa, a qual se aproxima de A assintoticamente. Uma vez que b é aproximadamente igual a 1, a forma do gráfico depende dos parâmetros A, m e k. A TCI é, na realidade, o ganho de peso obtido por unidade de tempo (dias ou meses) estimado ao longo da trajetória de crescimento, ou seja, a taxa média de crescimento dos animais dentro da população (FREITAS, 2005; SARMENTO et al., 2006), (Tabela, 1).

Quanto ao ponto de inflexão (PI), este indica o ponto onde a taxa de crescimento corporal do animal é máxima, ou seja, o ponto em que o crescimento passa de uma fase acelerada para uma fase mais lenta.

2.6 Interpretação biológica dos parâmetros da curva de crescimento

O parâmetro *"A"* é uma estimativa do peso assintótico quando a idade (t) tende ao ∞, que é interpretado como o peso adulto. Esse peso não é o máximo que o animal atinge, e sim o peso médio à maturidade, livre das variações sazonais devido aos efeitos de ambiente temporário de clima, disponibilidade de alimento ou estágio de prenhez/lactação (BROWN et al., 1976; FITZHUGH JUNIOR, 1976; LÓPEZ de TORRE et al., 1992). O parâmetro "*b*" ou constante de integração é utilizado para adequar o valor inicial do peso vivo, neste caso peso ao nascer, fazendo com que a curva passe pela origem e ajuste a curva sigmoidal desde o nascimento até a idade adulta do animal da função utilizada, não possuindo assim, interpretação biológica. Entretanto, o mesmo reflete o grau de maturação ao nascimento (DUARTE, 1975; TEDESCHI, 1996; PAZ et al., 2002; FREITAS, 2005). O parâmetro "*k*" é uma medida da velocidade com que o animal se aproxima do seu tamanho adulto. Valores baixos de k sugerem que o animal é de

maturação tardia e vice-versa. O parâmetro "*m*"determina a proporção do peso final (A) no qual o ponto de inflexão ocorre. No caso particular do modelo Brody, que não possui ponto de inflexão (indefinido para m = 0), é comum utilizar este modelo para descrever o crescimento pós-natal ou fase de auto-inibição do crescimento (FREITAS, 2005).

2.7 Relação entre os parâmetros da curva de crescimento e a produtividade das vacas

Vários critérios têm sido usados para avaliar a produtividade de vacas no intuito de melhorar a eficiência de produção de carne bovina. Dentre esses, pode-se destacar: peso a desmama dos bezerros; peso a desmama do bezerro/vaca exposta; relação entre peso a desmama do bezerro/peso da vaca; peso a desmama do bezerro/unidade metabólica da vaca (kg 0,75) na desmama (KRESS et al., 1990). Segundo Rahnefeld et al. (1993) qualquer avaliação da produtividade da vaca deve considerar três componentes: taxa reprodutiva, tamanho (peso) da vaca e crescimento da progênie. Esses autores compararam vários critérios: (1) = peso a desmama do bezerro por oportunidade de acasalamento da vaca; (2) = o mesmo que (1), porém o peso da vaca entrava como covariável; (3) = peso desmama do bezerro/oportunidade de acasalamento por unidade de peso da vaca a desmama; (4) = o mesmo que (3), porém usando peso metabólico da vaca. Todos esses cálculos foram feitos para cada vaca individualmente, considerando a performance sobre a vida toda. Os autores concluíram que o critério (3) era mais eficiente para avaliar a produtividade de vacas de corte de diferentes tipos biológicos.

No Brasil, Euclides Filho et al. (1995) usaram a relação kg de bezerro desmamado por kg de vaca à desmama para comparar vacas meio sangue Fleckvieh x Nelore, Chianina x Nelore e Charolês x Nelore. Esses autores observaram que as vacas Fleckvieh x Nelore foram mais eficientes.

Relações importantes entre os parâmetros da curva e caracteres econômicos da reprodução e performance materna são relatados na literatura. Alguns trabalhos indicam claramente a existência de um tamanho ótimo das vacas em termos de certas medidas de eficiência e produtividade.

Stewart e Martin (1981) analisaram as relações entre A e k (do modelo Brody) e a performance materna de vacas Angus, Shorthorn e cruzamentos. Observaram heterose de 3 a 7% para o parâmetro A. Para valores crescente de A, os autores constataram redução no número de bezerros/kg de vaca e aumento no peso médio a desmama. Stewart e Martin (1983) observaram

uma regressão quadrática entre A e a performance materna de vacas Angus. Neste trabalho foi encontrado peso médio adulto igual a 468 kg como ótimo para a vida útil das vacas; 465 kg para número de bezerros; 471 kg para peso total de bezerros; 493 kg para peso a desmama dos bezerros; e 475 kg para peso bezerro por ano no rebanho. As relações entre taxa de maturação (k) e performance materna não foram significativas. Marshall et al. (1984) relataram regressão quadrática entre o tamanho adulto A e a produtividade materna, enquanto que a regressão de k (taxa de maturação) e aspectos da produtividade eram lineares e negativas. Butts et al. (1984) verificaram que os parâmetros A e k estão associados com peso ao nascer e a desmama em vacas Hereford, Angus e Shorthon, ou seja, para cada aumento de 100 kg no parâmetro A observava aumento de 1 a 2 kg no peso ao nascer e 7 a 12 kg no peso à desmama. Foi constatado que para cada aumento de 0,01 no valor k, observava aumento de 0,50 a 0,80 no peso ao nascer e 2,7 a 5,2 kg no peso à desmama dos bezerros. Tawal e Franke (1985) verificaram que o peso a maturidade está associado negativamente com a taxa de desmama, enquanto que vacas com maior taxa de maturação tendiam a apresentar maiores % de desmama e maior peso à desmama dos bezerros. López de Torre et al. (1992) trabalhando com animais da raça Retinta, na Espanha, utilizaram o modelo Von Bertalanffy e obtiveram médias de 650 kg e 0,038 para A e k, respectivamente. Constataram decréscimo significativo no número de bezerros nos cinco primeiros ciclos da vaca com o aumento do peso adulto, bem como uma tendência das vacas maiores apresentarem bezerros mais pesados ao nascer e a desmama e, não encontraram relações significativas entre a taxa de maturação e os pesos dos bezerros, embora tenham usado um número pequeno de vacas os autores sugerem que as vacas mais precoces seriam mais eficientes.

Referências

ALENCAR, M.M. de. Critérios de seleção e a moderna pecuária bovina de corte brasileira. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE MELHORAMENTO ANIMAL, 4., 2002. **Anais...** Disponível em: < http://www.sbmaonline.org.br/anais/iv/palestras/ivp07.pdf >. Acesso em: 10 jun. 2009.

ARANGO, J.A.; VAN VLECK, L.D. Size of beef cows: early ideas, new developments. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 1, n. 1, p. 51-63, 2002.

BARBOSA, P.F. **Análise genético-quantitativa de características de crescimento e reprodutivas em fêmeas da raça Canchim**. 1991. 237 p. Tese (Doutorado em Genética) - Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 1991.

_____. Critérios de seleção em bovinos de corte. In: BARBOSA, P.F., BARBOSA, R.T., ESTEVES, S.N. **Intensificação da bovinocultura de corte:** estratégias de melhoramento genético. São Carlos: EMBRAPA, CPPSE, 1997. p. 41-62.

BARBOSA, P.F; ALENCAR, M.M. de. Sistemas de cruzamento em bovinos de corte: estado da arte e necessidades de pesquisa. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 32., 1995, Brasília. **Anais...** Brasília: SBZ, 1995. p. 681-683.

BATES, D.M.; WATTS, D.G. **Nonlinear regression analysis and its applications**. New York: John Wiley, 1988. 365 p.

BELTRAN, J.J.; BUTTS JR.; W.T.; OLSON, T.A. Growth patterns of two lines of Angus cattle selected using predicted growth parameters. **Journal Animal Science**, Champaign, v. 70, n. 3, p. 734-741, 1992.

BERGAMASCO, A.F.; AQUINO, L.H de; MUNIZ, J.A. Ajuste de modelos não-lineares a dados de crescimento de fêmeas da raça Holandesa. **Ciência Agroténica,** Lavras, v. 25, n. 2, p. 235-241, 2001.

BROWN, J.E.; BROWN, C.J.; BUTTS, W.T. A discussion of the genetic aspects of weigth, mature weigth and rate of maturing in Hereford and Angus cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 34, n. 4, p. 525-537, 1972a.

_____. Relationships among weigths, gains and earliness of maturing in Hereford and Angus females. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 35, n. 3, p. 507-517, 1972b.

BROWN, J.E.; FITZHUGH Jr.; H.A.; CARTWRIGTH, T.C. A comparison of nonlinear models for describing weigth-age relationships in cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 42, n. 4, p. 810-818, 1976.

BUTTS, W.T.; MC CURLEY JUNIOR, J.R.; BOVARD, K.P. Growth patterns of Angus, Hereford and Shorton cattle. II. Relationship of growth patterns of dams with progeny performance. **Journal Animal Science**, Champaign, v. 59, n. 5, p. 1205-1212, 1984.

CARTWRIGHT, T.C. Selection criteria for beef cattle for the future. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 30, p. 706-711, 1970.

DAVIDIAN, M.; GILTINAN, D. **Nonlinear models for repeated measurement data**. New York: Chapman and Hall, 1996. 359 p.

DEMÉTRIO, C.G.B.; ZOCCHI, S.S. **Modelos de regressão.** Piracicaba: ESALQ, 2008. 209 p.

DRAPER, N.R.; SMITH, H. **Apllied regression analysis**. 3rd ed. New York: John Wiley, 1998. 706 p.

DUARTE, F.A.M. **Estudo da curva de crescimento de animais da raça Nelore**. 1975. 284 p. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 1975.

ELIAS, A.M. **Análise de curvas de crescimento de vacas Nelore, Guzerá e Gir**. 1998. 128 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

EUCLIDES FILHO, K.; FIGUEIREDO, G.R. de; EUCLIDES, V.P.B. Eficiência de produção de vacas de corte com diferentes potenciais para produção de leite. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v. 30, n. 7, p. 1003-1007, 1995.

FERREIRA, D.F. **Uso de recursos computacionais**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2006. 159 p.

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

FORNI, S. **Análise da curva de crescimento de bovinos da raça Nelore utilizando funções não lineares em análises Bayesianas**. 2007. 65 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2007.

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

FREITAS, A.R.; ALENCAR, M.M.; SILVA, A.S. Ajuste de modelos não lineares em bovinos de corte. I. Padrão da população. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35., 1998, Botucatu. **Anais...** Botucatu: SBZ, 1998a. p. 341-343.

_____. Ajuste de modelos não lineares em bovinos de corte. II. Influência do mês de nascimento. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35., 1998, Botucatu. **Anais...** Botucatu: SBZ, 1998b. p. 344-346.

GARNERO, A.V.; MARCONDES, C.R.; BEZERRA, L.A.F.; OLIVEIRA, H.N.; LÔBO, R.B. Parâmetros genéticos da taxa de maturação e do peso assintótico de fêmeas da raça Nelore. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 57, n. 5, p. 652-662, 2005.

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

JOHNSON, Z.B., BROWN, C.J.; BROWN Jr., A.H. **Evaluation of growth patterns of beef cows.** Fayetteville: University of Arkansas, Agricultural Experiment Station, 1990. (Bulletin, 923).

KRESS, D.D.; DOORNBOS, D.E.; ANDERSON, D.C. Performance of crosses among Hereford, Angus and Simmental cattle with different levels of Simmental breeding: V. Calf production, milk production and reproduction of three to eight-year-old dams. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 68, p. 1910-1921, 1990.

LOBATO, J.F.P. Sistemas intensivos de produção de carne bovina: 1. Cria. In: SIMPÓSIO SOBRE PECUÁRIA DE CORTE, 4., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1997. p. 161-204.

LOPEZ de TORRE, G.; CANDOTTI, J.J.; REVERTER, A.; BELLIDO, M.M.; VASCO, P.; GARCIA, L.J.; BRINKS, J.S. Effects of growth curve parameters on cow efficiency. **Journal of Animals Science**, Champaign, v. 70, p. 2668-2672, 1992.

LUDWIG, A. **Ajustamento de curvas exponenciais ao crescimento de gado Nelore e análise de seus parâmetros**. 1977. 84 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1977.

MARSHALL, T.E.; MOHLER, M.A.; STEWART, T.S. Relationship of lifetime productivity with mature weight and maturition rate in Red Poll cows. **Animal Production**, Edinburgh, v. 39, p. 383-387, 1984.

MARTINS, B.N.O. **Ajuste de modelos não-lineares para descrição da curva de crescimento de diferentes grupos genéticos de novilhas Holandês x Gir**. 1998. 61 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

MASCIOLI, A.S. **Estimativas de parâmetros genéticos e proposição de critérios de seleção para pesos em bovinos da raça Canchim**. 1995. 95 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 1995.

MASCIOLI, A.S., TALHARI, F.M., ALENCAR, M.M., BARBOSA, P.F., SILVA, A.M., BORBA, L.H.F. Correlações genéticas entre características reprodutivas e de crescimento de fêmeas da raça Canchim. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 36., 1999, Porto Alegre. **Resumos...** Porto Alegre: SBZ, 1999. p. 156.

MAZZINI, A.R.A. **Análise da curva de crescimento de machos Hereford considerando heterogeneidade de variâncias e autocorrelação dos erros.** 2001. 94 p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

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

MAZZINI, A.R.A.; MUNIZ, J.A.; SILVA, F.F.; AQUINO, L.H. Curva de crescimento de novilhos Hereford: heterocedasticidade e resíduos autorregressivos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 422-427, 2005.

MENCHACA, M.A.; CHASE, C.C. Jr.; OLSON, T.A.; HAMMOND, A.C. Evaluation of growth curves of Brahman cattle of various frame sizes. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 74, p. 2140-2151, 1996.

MENDES, P.N.; MUNIZI, J.A.; FONSECA, F.; MAZZINI, A.R.A. Modelo logístico difásico no estudo do crescimento de fêmeas da raça Hereford. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 38, n. 7, p. 1984-1990, 2008.

MOLINUEVO, H.A. Estimación del peso al destete por unidad de superficie y su relación con el tamaño de las vacas. **Revista de Investigaciones Agropecuárias**. Serie 1. Biología y Producción Animal, v. 4, p. 37-47, 1967.

NOBRE, P.R.C.; ROSA, A.N.; SILVA, L.O.C. Curvas de crescimento de gado Nelore ajustadas para diferentes freqüências de pesagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 9, p. 1027-1037, 1987.

OLIVEIRA, H.N. de; 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.

OLIVEIRA, J.A.L.; ALENCAR, M.M.; LIMA, R. Eficiência produtiva de vacas da raça Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 445-453, 1995.

PASTERNAK, H.; SHALEV, B.A. The effect of a feature of regression disturbance on the efficiency of fitting growth curves . **Growth, Development & Aging**, Bar Harbor, v. 58, n. 1, p. 33-39, 1994.

PAZ, C.C.P. **Associação entre polimorfismos genéticos e parâmetros da curva de crescimento em bovinos de corte.** 2002. 106 p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

PAZ, C.C.P.; PACKER, I.U.; FREITAS, A.R.; REGITANO, L.C.; ALENCAR, M.M. Ajuste de modelos não-lineares em estudos de associação entre polimorfismos genéticos e crescimento em bovinos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1416-1425, 2004.

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**, Ottawa, v. 72, n. 4, p. 773-782, 1992.

PEROTTO, D.; CASTANHO, M.J.P.; CUBAS, A.C.; ROCHA, J.L.; PINTO, J.M. Efeitos genéticos sobre as estimativas dos parâmetros das curvas de crescimento de fêmeas bovinas Gir, Guzerá, Holandês x Gir e Holandês x Guzerá. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 719-725, 1997.

RAHNEFELD, G.W.; WEISS, G.M.; WARD, D.A. Comparison of methods to evaluate beef cows productivity. **Canadian Journal of Animal Sciences**, Ottawa, v. 73, p. 971-996, 1993.

SANTORO, K.R.; BARBOSA, S.B.P.; BRASIL, L.H.A.; SANTOS, E.S. Estimativas de parâmetros de curvas de crescimento de bovinos Zebu, criados no Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 2262-2279, 2005.

SARMENTO, J.L.R.; REGAZZI, A.J.; SOUZA, W.H.; TORRES, R.A.; BREDA, F.C.; MENEZES, G.R.O. Estudo da curva de crescimento de ovinos Santa Inês. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 435-442, 2006.

SAS INSTITUTE. **Statistical analysis system user's guide**: version 9.1. Cary, 2004.

SCHABENBERGER, O. **Nonlinear regression with the SAS system.** Disponível em: <http://www.cas.vt.edu/schabenb/SASNlin.htm>. Acesso em: 10 nov. 2008).

SILVA, A.M.; ALENCAR, M.M.; FREITAS, A.R., BARBOSA, R.T.; OLIVEIRA, M.C.S.; NOVAES, A.P.; TULLIO, R.R, CORRÊA; L.A. Herdabilidade e correlações genéticas para peso e perímetro escrotal de machos e características reprodutivas e de crescimento de fêmeas, na raça Canchim. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 2223-2230, 2000. Suplemento.

SILVEIRA JÚNIOR, P. E**studos de alguns modelos exponenciais no crescimento de bovinos da Raça Ibagé**. 1976. 174 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1976.

SOARES, A.P.M. **Ajuste do modelo de Orskov & McDonald (1970) a dados de degradação ruminal *in situ* utilizando mínimos quadrados ponderados**. 2007. 64 p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agronômica) – Escola superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

SOUZA, G.S. **Introdução aos modelos de regressão linear e não linea**r. Brasília: EMBRAPA, SPI; EMBRAPA, SEA, 1998. 489 p.

STEWART, J. **Cálculo.** São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002. v. 2, 1150 p.

STEWART, T.S.; MARTIN, T.G. Mature weight, maternal performance and their interrelationships in purebred and crossbred cows of Angus and Milking Shorthorn parentage, **Journal of Animal Science**, Albany, v. 52, n. 1, p. 51-56, 1981.

_____. Optimal mature size of Angus cows for maximum cow productivity. **Animal Production**, Albany, v. 37, p. 179, 1983.

TAWAH, L.C.; FRANKE, D.E. Growth patterns in crossbred beef cows and their association with production. **Journal Animal Science**, Champaign, v. 61, n. 8, 1985. Supplement 1.

TAYLOR, St. C.S. Lectures on mammalian growth. In: COURSE OF THE INSTITUTE OF ANIMAL PHISIOLOGY AND GENETICS RESEARCH, 1989, Edinburgh. **Proceedings…** Guelph: University of Guelph, 1989.

TAYLOR, St. C.S.; YOUNG, G.B. Equilibrium weight in relation to food intake and genotype in twin cattle. **Animal Producion**, Edinburgh, v. 10, p. 393-412, 1968.

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 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

TEDESCHI, L.O.; BOIN, C.; NARDON, R.; LEME, P.R. Estudo da curva de crescimento de animais da raça guzerá e seus cruzamentos alimentados a pasto, com e sem suplementação. 2. Avaliação dos parâmetros da curva de crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 9, n. 5, p. 1578-1587, 2000.

3 AJUSTE DE MODELOS NÃO-LINEARES PARA DESCREVER A CURVA DE CRESCIMENTO DE BOVINOS DE CORTE DE DIFERENTES TIPOS BIOLÓGICOS

Resumo

O objetivo neste estudo foi comparar diferentes modelos não-lineares para descrever o crescimento de vacas de corte, e avaliar a influência de efeitos de ambiente e de grupo genético sobre os parâmetros estimados. Os modelos não-lineares: Brody, Gompertz, Logístico, Von Bertalanffy e Richards foram ajustados por mínimos quadrados ordinários e ponderados pelo inverso das variâncias dos pesos em diferentes períodos, usando o procedimento NLIN do SAS, a dados peso-idade, do nascimento até 100 meses de idade, de vacas de quatro grupos genéticos (G): Nelore (86 animais), ½Canchim + ½Nelore (87 animais), ½Angus + ½Nelore (73 animais) e ½Simental + ½Nelore (70 animais), nascidas de 1998 a 2001, em duas estações do ano (P; primavera e outono), e submetidos a dois níveis de suplementação alimentar (M) após a desmama. Na comparação do ajuste dos modelos considerando o uso do inverso da variância os modelos mostraram-se mais adequado. Os modelos Brody e Von Bertalanffy convergiram para todos os grupos genéticos, havendo, entretanto, leve superioridade do Brody ponderado. As estimativas dos parâmetros peso assintótico (A) e taxa de maturidade (k) do modelo Brody ponderado foram analisados por meio de um modelo que, além do efeito médio global, incluiu os efeitos de G, M, P e as interações entre estes efeitos. Houve diferenças significativas das curvas de crescimento médias para os quatro grupos genéticos. Na análise individual do peso assintótico (A) e da taxa de maturidade (k) estimados do modelo Brody ponderado, o parâmetro A foi influenciado ($P<0,05$) pelos grupos genéticos e época de nascimento e k foi influenciado ($P<0,05$) por níveis de suplementação fornecidos aos animais durante quatro meses após desmama. Melhorias no manejo alimentar resultaram em menor variação na forma das curvas de crescimentos e em altas taxas de maturidade.

Palavras-chave: Cruzamento; Heterocedasticidade; Modelos não-lineares, Suplementação alimentar

Abstract

The objective in this study was to compare different nonlinear models to describe the growth curve of beef cattle females and to evaluate the influence of environmental and genetic group (G) effects on the estimated parameters. The nonlinear models: Brody, Gompertz, Logistic, Von Bertalanffy and Richards were adjusted by ordinary least square and weighted by inverse of the variance of the weights in different period, using NLIN procedure of SAS to weight-age data of female cattle, from birth to 100 months of age, obtained of from four genetic groups (G): Nellore (86 animals), ½Canchim + ½Nellore (87 animals), ½Angus + ½Nellore (73 animals) and ½Simmental + ½Nellore (70 animals), born from 1998 to 2001 in two seasons of calving (SC): spring and fall, and submitted to two levels of feed supplementation (SF) after weaning. The adjust of both models considering the inverse of the variance within weighing were more appropriated. The Brody and Von Bertalanffy models converged for all genetic groups, however the Brody model was more adequate. After selecting the model, the parameters asymptotic weight (A) and maturing rate (k) were analyzed by mixed model. Sources of variation included in

the model were genetic group, feed management, calving season, and interactions among these effects. The average growth curves four genetic groups showed significant (P<0.05). In individual analysis of the maturity weight (A) and maturity rate (k) estimated by weighted Brody model, the A parameter was influenced (P<0.05) by genetic groups and season of calving and the k was influenced (P<0.05) by food supplementary levels. Improvements in feeding management resulted in less variation in the shape of growth curves and increased rates of maturity.

Keywords: Crossbreeding; Nonlinear models; Feed supplementation; Heterocedasticity

3.1 Introdução

O peso corporal avaliado nas diferentes idades do animal pode ser considerado como uma única característica e analisada como medida repetida ou dados longitudinais. Um dos objetivos dessa análise é descrever o crescimento do animal por meio de um modelo que associa o peso (y) à idade (x).

Vários pesquisadores têm utilizado modelos não-lineares em estudos de crescimento de bovinos de corte (BROWN et al., 1972; 1976; NOBRE et al., 1987; PEROTTO et al., 1992; TEDESCHI, 1996; ELIAS, 1998; OLIVEIRA et al., 2000; PAZ, 2002, FREITAS, 2005; FORNI, 2007), sobretudo com os modelos Brody, Von Bertalanffy, Logístico, Gompertz e Richards. A escolha do modelo mais adequado para estimar o crescimento em função da idade é dependente, entre outros fatores, da raça bovina, do ambiente, da idade do animal às últimas pesagens, do software e do modelo propriamente dito. Apesar da existência de trabalhos com as diversas raças bovinas, praticamente não existem nas condições brasileiras informações sobre a curva de crescimento até a idade adulta de vacas cruzadas.

Segundo Guedes et al. (2004), no estudo de curvas de crescimento pode ocorrer heterogeneidade das variâncias entre as pesagens avaliadas no animal, pois à medida que a idade aumenta, a variância dos pesos corporais também aumenta. Entretanto, na maioria dos estudos de curvas de crescimento, a heterogeneidade de variância dos pesos no tempo não é levada em consideração. Alguns autores a definiram como “distúrbios de regressão”, tendo em vista que os dados são tomados longitudinalmente em cada animal (MAZZINI et al., 2005; MENDES, 2008). Caso esta pressuposição seja ignorada, pode ocorrer estimativas viesadas dos parâmetros (PASTERNAK; SHALEV, 1994) com a subestimação das variâncias (SOUZA, 1998). Uma alternativa para solucionar o problema é o uso de regressão não-linear ponderada, utilizando-se o

inverso da variância dos pesos (PASTERNAK; SHALEV, 1994), com o intuito de reduzir a heterogeneidade das variâncias dos pesos em diferentes tempos. Estes autores estimaram os parâmetros do modelo Gompertz para dados simulados de peso em frango de corte, usando tanto a regressão não-linear simples quanto a ponderada existentes no procedimento NLIN do SAS® (2004). Para esta última, foi utilizado o inverso das variâncias dos pesos nas diferentes idades. Os resultados deste estudo demonstraram a maior eficiência da regressão não-linear ponderada. Elias (1998) comparou modelos não-lineares ajustados de maneira não ponderada e ponderada pelo inverso da variância dos pesos em vacas zebuínas e verificou que a ponderação melhorou a qualidade dos ajustes e reduziu a variabilidade das estimativas dos parâmetros.

O objetivo neste estudo foi comparar diferentes modelos não-lineares de crescimento quanto ao ajuste de dados peso-idade de fêmeas Nelore e cruzadas, criadas em sistemas intensivos de produção, considerando-se os pesos não ponderados e também ponderados pelo inverso das respectivas variâncias e verificar a influência de fatores ambientais sobre os parâmetros A e k estimados dos modelos não-lineares.

3.2 Material e Métodos

Foram utilizados dados de peso-idade de 316 fêmeas, do nascimento até 100 meses de idade, nascidas de 1998 a 2001, em duas estações de nascimento, e pertencentes aos grupos genéticos: Nelore (86 animais), ½Canchim + ½Nelore (87 animais), ½Angus + ½Nelore (73 animais) e ½Simental + ½Nelore (70 animais).

As fêmeas destes quatro grupos genéticos, nascidas no outono (abril a junho) de 1998, 1999 e 2000, após a desmama (novembro-dezembro), receberam dois níveis de suplementação (M): sem concentrado e 3,0 kg de concentrado/animal/dia) durante quatro meses. Os animais foram distribuídos em duas repetições de área consistindo de 16 piquetes de 3.700 m^2 cada e quatro bezerras por piquete. Os piquetes com capim *Coastcross*, foram separados por cerca elétrica (dois fios) e subdivididos com um fio eletrificado em cinco piquetes menores de 740 m^2 cada para utilização em pastejo rotacionado, com adubação de cobertura com NPK. O pastejo foi em média de cinco dias e o período de descanso de 20 dias. Em cada piquete, logo após a saída dos animais, foram aplicados 20 kg de adubo da fórmula NPK (20:05:20) de dezembro a abril de cada ano, correspondendo a uma adubação de aproximadamente 300 kg de N/ha/ano. O período de pastejo

em todos os anos foi de dezembro (início da fase pré-experimental em 15/12) a maio. Durante o período da seca seguinte os animais foram suplementados com cana-de-açúcar e uréia e 1,5 kg do mesmo concentrado. Este manejo foi feito até que as novilhas entrassem em reprodução, após o início da puberdade, avaliada pela apresentação de dois cios com intervalo normal de 17 a 25 dias um do outro.

As fêmeas nascidas na primavera (setembro a dezembro) de 2000 e 2001, após a desmama, junho-julho de 2001 e 2002, foram distribuídas em oito tratamentos com arranjo fatorial 4 x 2 (quatro grupos genéticos: Nelore, ½Canchim + ½Nelore, ½Angus + ½Nelore e ½Simental + ½Nelore; e dois níveis de suplementação: 1,5 kg de concentrado e 3,0 kg de concentrado por animal ao dia). Para este experimento os animais foram mantidos nos mesmos piquetes utilizados para as fêmeas nascidas no outono e suplementadas com cana-de-açúcar à vontade, manejo que também foi utilizado até a entrada das fêmeas em reprodução. Para maiores detalhes sobre o manejo consultar Rodrigues et al. (2004).

Cada animal foi pesado nas seguintes idades: ao nascer, aos seis meses, à desmama, ao ano, aos 18 e 24 meses, e em sua fase reprodutiva: entrada e saída da estação de monta, à parição e à desmama dos bezerros, sendo considerados para análise apenas os dados de pesos de animais com pelo menos nove pesagens.

Foram ajustados ao conjunto de dados de peso-idade das fêmeas, cinco modelos não-lineares (Tabela 1): Brody, Von Bertalanffy, Richards, Logístico e Gompertz, para estimar o crescimento dos animais em função da idade. Para o ajuste foi utilizado o procedimento NLIN (SAS®, 2004), sendo as estimativas dos parâmetros obtidas por meio de processo iterativo de *Gauss-Newton,* desenvolvido por Hartley (1961) para modelos não-lineares. O critério de convergência para as estimativas foi considerado quando $(SQR_{j-1} - SQR_j)/(SQR_j+10^{-6}) \leq 10^{-8}$, em que SQR_j é a soma de quadrado residual na j-ésima iteração.

Os modelos não-lineares usados no estudo de curvas de crescimento geralmente contêm três a quatro parâmetros e, exceto o parâmetro b, todos possuem interpretação biológica. Nos modelos não-lineares descritos na Tabela 1, $\mathbf{y_t}$ representa o peso do animal em uma determinada idade (t), expressa em dias; **A** é o peso assintótico do animal, ou seja, o peso quando $t \rightarrow \infty$; **k** mede a variação na velocidade do crescimento, e está associado à taxa de maturidade, sendo que valores baixos de k sugerem que o animal é tardio e vice-versa; **b** é a constante de integração, tem a função de modelar a forma da curva de crescimento para um formato sigmoidal, porém, não

tem interpretação biológica; **m** é uma constante do modelo de Richards, porém, tem participação na origem das outras funções não-lineares descritas na Tabela 1. A constante **m** também está associado ao ponto de inflexão (PI), determinando a proporção do peso final (A) no qual o PI ocorre.

Tabela 1 – Propriedades dos modelos não-lineares

Modelo	$\partial y/\partial A$	$\partial y/\partial b$	$\partial y/\partial k$	$\partial y/\partial m$	$\partial y/\partial t$	$(y_i; t_i)$
Brody	$(1\text{-}bC_1)$	$(\text{-}AC_1)$	$AbtC_1$	-	$AbkC_1$	não possui
Bertalanffy	$(1\text{-}bC_1)^3$	$\text{-}3AC_1(1\text{-}bC_1)^2$	$3AbT(1\text{-}C_1)^2C_1$	-	$3AbkC_1(1\text{-}bC_1)^2$	8A/27; log(3b)/k
Gompertz	$\exp(-bC_1)$	$-yC_1$	$ybtC_1$	-	$bkyC_1$	A/e; $(\log_b)/k$
Logístico	$1/(1 + C_1)^m$	$-y\log(1 + C_1)$	$ymtC_1/(1 + C_1)$	-	$kmyC_1/(1+ C_1)$	$A[m/(m+1)]^m$; $\log_m/k$
Richards	$(1 - bC_1)^m$	$-ymC_1/(1 - bC_1)$	$ymbtC_1/(1 - bC_1)$	$y\log(1 - C_1)$	$ymbkC_1/(1\text{-}bC_1)$	$Am^{1/(1-m)}$; $\log(b(1m)^{-1})/k$

Fonte: Freitas (2005)

$C_1 = \exp(-kt)$; $\partial y/\partial t$ = taxa de crescimento instantânea; $(y_i; t_i)$ = ponto de inflexão

Os dados de pesos em bovinos avaliados em diferentes idades apresentam heterogeneidade de variâncias com o aumento da idade. Segundo Pasternak e Shalev (1994) a variação no início da vida do animal é pequena, porém aumenta ao longo do tempo, devido a fatores externos e internos. Para verificar a influência da heterogeneidade de variância sobre as curvas de crescimento, considerou-se a variância entre os pesos e também o inverso dessa variância calculadas nas diversas classes de pesagens (ao nascimento, à desmama, ao ano, etc). No ajuste dos modelos, o inverso das variâncias foi utilizado como fator de ponderação pela opção WEIGHT do procedimento NLIN (SAS®, 2004).

Para escolher o modelo mais adequado, foram considerados dois critérios:

a) estatístico: convergência ou não do modelo, coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), quadrado médio do resíduo e erro de predição médio.

b) interpretabilidade biológica das estimativas dos parâmetros: taxa de crescimento instantâneo (TCI) e ponto de inflexão (PI) como descrito na Tabela 1 para cada modelo não-linear.

O R^2_{aj} foi calculado por:

$$R^2 = 1 - (SQR/SQTc)$$

em que, SQR é a soma de quadrados do resíduo e SQTc,, soma de quadrados total corrigida para o número de parâmetros do modelo. O coeficiente de determinação deve ser utilizado com

cautela na avaliação da qualidade do ajuste, pois no caso de modelos não-lineares a soma dos resíduos não necessariamente é igual a zero e a soma dos quadrados dos resíduos mais a soma dos quadrados da regressão não é necessariamente igual à soma dos quadrados total, o que pode afetar o coeficiente de determinação (SOARES, 2007).

O Erro de predição (EP) foi obtido através da seguinte forma EP = $\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)/100$, em que y corresponde ao peso observado e $\hat{y}$ ao peso estimado nas n pesagens. Valores positivos para EP indicam subestimativas, enquanto que valores negativos para EP indicam superestimativas do peso observado.

A taxa de crescimento instantânea (TCI) foi obtida a partir da primeira derivada do modelo ajustado, em relação ao tempo ($\partial y/\partial t$). Este critério biológico pode ser visualizada por meio do gráfico de $\partial y/\partial t$, na ordenada, e y, na abscissa, a qual se aproxima de A assintoticamente. A TCI estima o incremento no peso do animal para cada unidade de tempo t (dias ou meses) na trajetória de crescimento, ou seja, a taxa média de crescimento dos animais dentro da população (FREITAS, 2005; SARMENTO et al., 2006).

Quanto ao ponto de inflexão (PI), este indica o ponto onde a taxa de crescimento corporal do animal é máxima, ou seja, o ponto em que o crescimento passa de uma fase acelerada para uma fase mais lenta.

Após a seleção do modelo mais adequado, as estimativas dos parâmetros A e k para cada animal foram analisadas considerando-se os seguintes efeitos:

g → quatro grupos genéticos (G): Nelore (NEL), ½Canchim + ½Nelore (CN), ½Angus + ½Nelore (AN) e ½Simental + ½Nelore (SN);

p → duas épocas de nascimento: outono (abril a junho) e primavera (setembro a dezembro);

m→ suplementação alimentar:

- sem concentrado e 3,0 kg de concentrado/animal/dia) no outono;
- 1,5 e 3,0 kg de concentrado/animal/dia) na primavera;

Utilizou-se o modelo $y_{ijkl} = \mu + g_i + p_j + (gp)_{ij} + m(p)_{jk} + gm(p)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$,

em que y_{ijkl} = estimativa dos parâmetros (A e k); μ = efeito médio global; g_i = efeito do i-ésimo grupo genético (i = 1,..., 4); p_j = efeito da j-ésima época de nascimento (j = 1 e 2); $(gp)_{ij}$ = efeito da interação entre grupo genético e época de nascimento; $m(p)_{jk}$ = efeito de suplementação

alimentar dentro de época de nascimento; $gm(p)_{ijk}$ = interação entre grupo genético e efeito de suplementação dentro de época de nascimento e ε_{ijkl} = erro aleatório.

Foi utilizado o procedimento MIXED do SAS® (2004) para a análise com a opção DDFM=SATTERTH para calcular o número de graus de liberdade do denominador do quadrado médio residual para obter valor exato de F.

3.3 Resultados e Discussão

Dos cinco modelos ajustados, apenas os modelos Brody e Von Bertalanffy não ponderado e ponderado pelo inverso da variância dos pesos em diferentes períodos, convergiram para os quatro grupos genéticos.

Considerando os critérios de qualidade de ajuste dos modelos observa-se com base nos valores dos coeficientes de determinação ajustado - R^2_{aj}, (Tabela 2), que os modelos ponderados se ajustaram de forma semelhante quanto à curva de crescimento média dos animais, como representada nas Figuras 2 e 3. Entretanto, nas condições do presente trabalho, observa-se que o R^2_{aj} não é um bom indicador para escolha de modelos, pois todos eles apresentaram valores altos para essa estatística. Resultado semelhante foi observado por Elias (1998), em análise de curvas de crescimento para vacas zebuínas, que observou coeficientes de determinação de aproximadamente 0,999 para todos os modelos não-lineares ajustados. Santoro et al. (2005) ajustaram os modelos de Brody, Logístico, Von Bertalanffy, Gompertz, Mitscherlich, Richards e Logístico Duplo para as raças Guzerá, Nelore e Nelore Mocho. Esses autores observaram que os modelos de Richards e Brody foram superiores quanto à interpretação biológica de seus parâmetros e coeficiente de determinação.

Ao analisar o quadrado médio do resíduo (QMR) verifica-se que a ponderação dos modelos proporcionaram significativa redução significativa na variabilidade das estimativas dos quadrados médio do resíduo, (Tabela 2), sendo que o modelo de Brody apresentou menores médias. Estes resultados corroboram com Beltrán et al. (1992), que observaram maior quadrado médio do resíduo para o modelo Brody em relação ao modelo de Richards. Entretanto, esses mesmos autores verificaram que Brody proporcionou melhores resultados de estimativa de peso adulto (A) em vacas Angus com mais de 18 meses de idade. Analisando dados de pesagens do nascimento até 4,5 anos de idade de fêmeas da raça Nelore, Garnero et al. (2005), utilizaram os

modelos Brody, Von Bertalanffy, Logístico e Gompertz e concluíram que todas os modelos citados acima foram adequados para descrever o crescimento. Levando em consideração os aspectos de facilidade computacional e precisão de ajustes aos dados observados, os melhores resultados foram proporcionados pelo modelo Brody. Em geral, pesquisadores tem usado o modelo Brody com maior freqüência em relação as demais, pois os resultados são mais fáceis de serem obtidos e interpretados, porém são menos sensíveis à flutuações no peso. Entre eles, Brown et al. (1972a;1972b); Duarte (1975); Silveira Júnior (1976) e Ludwig (1977) os quais afirmam que o Brody parece ser o mais adequado para estudos de aspectos genéticos de peso e taxa de maturidade.

Tabela 2 – Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), quadrado médio do resíduo (QMR), erro de predição médio (EPM), número de iterações (NI), peso e idade no ponto de inflexão (PI), respectivamente para os modelos Brody e Von Bertalanffy não ponderado (NP) e ponderado (P)

Grupo genético	Modelo	R^2_{aj}	QMR	EPM	NI	PI	TI
			Brody				
Nelore	**NP**	0,871479	2062,9	-2,2338	4	-	-
	P	0,999999	1,0630	-1,1848	15	-	-
½Canchim + ½Nelore	**NP**	0,838409	2673,0	-2,9659	6	-	-
	P	0,999934	1,0839	-1,2667	16	-	-
½Angus + ½Nelore	**NP**	0,830734	2877,8	-3,7142	4	-	-
	P	0,999931	1,1590	-1,2533	18	-	-
½Simental + ½Nelore	**NP**	0,836172	3032,6	-2,8765	5	-	-
	P	0,999940	1,0976	-1,1548	17	-	-
			Von Bertalanffy				
Nelore	**NP**	0,863969	2183,4	-6,2981	33	144,87	9,49
	P	0,999914	1,3723	-0,9747	17	140,10	6,44
½Canchim + ½Nelore	**NP**	0,829325	2823,3	-6,5420	32	149,87	9,20
	P	0,999918	1,3413	-1,0255	17	143,96	6,00
½Angus + ½Nelore	**NP**	0,817500	3102,8	-7,4838	33	158,62	8,64
	P	0,999915	1,4295	-1,1061	17	151,26	5,48
½Simental + ½Nelore	**NP**	0,825721	3226,0	-6,4780	31	161,44	8,65
	P	0,999929	1,3113	-0,8597	17	155,08	5,65

Com base no erro de predição médio (EPM), em %, tanto o modelo Brody quanto o modelo Von Bertalanffy não ponderado e ponderado (Tabela 2), tenderam a superestimar os pesos para os animais dos grupos genéticos Nelore, ½Canchim + ½Nelore, ½Angus + ½Nelore, ½Simental + ½Nelore, pois apresentaram sinais negativos. As médias dos EPM para os modelos ponderados foram mais próximas entre si e, em geral, mais próximas de zero, indicando melhoria no ajuste por meio da ponderação, sendo que o modelo de Von Bertalanffy não ponderado apresentou menor média para os grupos genéticos. Elias (1998) observou resultado semelhante para o modelo Brody ponderado. Paz (2002) utilizou tal critério adicional para verificar a qualidade do ajuste do modelo Logístico não ponderado, pelo método de Gauss-Newton, aos conjuntos de peso-idade de animais cruzados ½Canchim + ½Nelore, ½Angus + ½Nelore, ½Simental + ½Nelore e verificou que o modelo Logístico superestimou os pesos observados. Mazzini et al. (2003), observaram em dados de peso-idade de animais da raça Hereford que os modelos não ponderados, Brody e Richards, subestimaram a média observada dos pesos, enquanto que os modelos Von Bertalanffy, Gompertz e Logístico, superestimaram. Quando se utilizou a ponderação, pelo inverso das variâncias, os modelos de Brody e Richards superestimaram os pesos observados.

Quanto ao número de iterações verifica-se que os modelos não ponderados exigiram maior número de iterações em relação aos modelos ponderados, entretanto esta estatística está relacionada aos valores inicias dos parâmetros (Tabela 2).

Em relação ao peso e idade no ponto de inflexão observa-se que as fêmeas F1 (½Simental + ½Nelore) apresentam maiores pesos no ponto de inflexão, tanto para o modelo de Von Bertalanffy não ponderado quanto para o ponderado, porém as F1 (½Angus + ½Nelore) atingiram o ponto de inflexão mais cedo do que os demais animais.

Quanto à taxa de crescimento instantânea (TCI = dy/dt), que estima o incremento no peso em kg/mês observa-se na Figura 1, que no modelo Brody não ponderado (NP) os grupos genéticos NEL e CN apresentaram comportamentos semelhantes. No entanto, para o modelo Brody ponderado os animais AN e SN foram similares. Verificam-se maiores TCI no início da curva para os grupos genéticos SN e AN, seguido dos animais CN e NEL, respectivamente para os modelos não ponderados e ponderados. A queda na TCI é mais pronunciada nos animais SN e AN, sendo, na sequência, CN, NEL. Valores de TCI do nascimento até o 100 mês variaram de 25,0053 a 0,1140 kg/mês; 26,9323 a 0,0858 kg/mês; 31,4179 a 0,0565 kg/mês e 31,2022 a 0,0679 kg/mês para os grupos genéticos NEL, CN, NA e TS, respectivamente, para o modelo Brody ponderado. A partir

dos 20 meses de idade todos os grupos genéticos apresentaram TCI praticamente constantes. Quanto ao modelo Von Bertalanffy ponderado observou-se valores de TCI variando de 24,0699 a 0,0023 kg/mês; 19,0509 a 0,0087 kg/mês; 20,7952 a 0,0054 kg/mês e 23,7987 a 0,0034 kg/mês para AN, NEL, CN e SN. Freitas (2007) verificou valores de TCI variando de 11,1 a 9,5 kg/mês para animais Canchim, do nascimento até 40 meses.

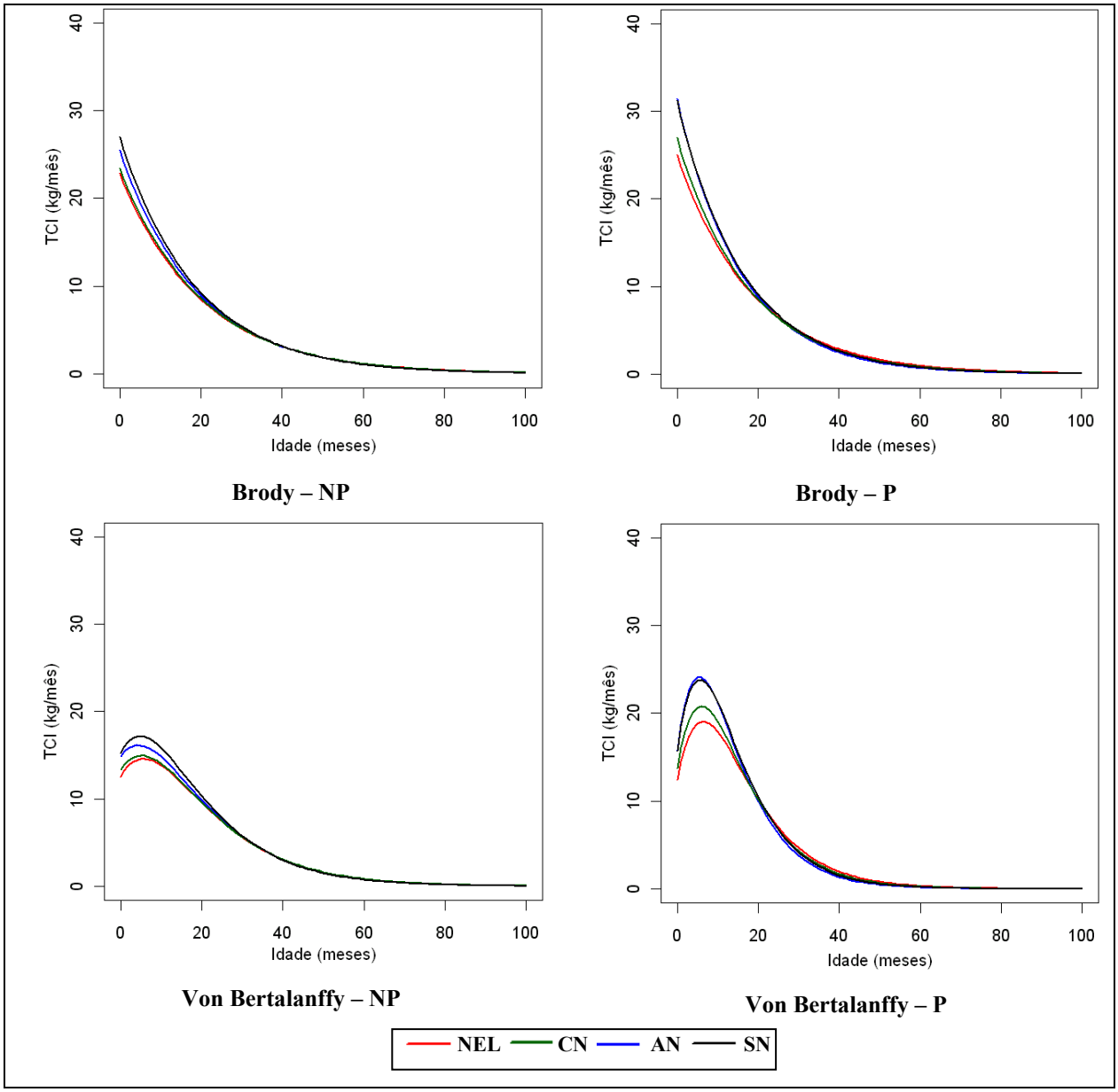

Figura 1 – Taxa de crescimento instantâneo (TCI) estimadas pelos modelos Brody e Von Bertalanffy não ponderado e ponderado para fêmeas dos grupos genéticos: Nelore (NEL), ½Angus + ½Nelore (AN), ½ Canchim + ½Nelore (CN), ½Simental + ½Nelore (SN)

Nas Figuras 2 e 3 são apresentadas as curvas de crescimento formadas pelas médias dos pesos observados nas diferentes idades (meses), e também as curvas estimados por meio dos modelos não-lineares, não ponderados e ponderados. Analisando-se a Figura 2 e 3, verifica-se um melhor ajuste dos dados para o modelo de Brody quando se utilizou a ponderação pelo inverso das variâncias, concordando com os resultados obtidos por Elias (1998). Pode-se observar que embora o modelo Brody tenha apresentado maiores médias para o peso assintótico em relação ao modelo Von Bertalanffy (Tabelas 3 e 4), os pesos preditos na parte final da curva não parecem superestimar os pesos observados para os diferentes grupos genéticos. As médias preditas foram subestimadas através dos modelos ponderados no período compreendido entre 20 aos 55 meses de idade, aproximadamente. Brown et al. (1976) ajustaram o modelo Brody não ponderado com dados de pesos de fêmeas Hereford, Brahman e seus cruzados e observaram que este modelo apresentou melhor ajuste depois dos seis meses de idade.

Os pesos ao nascimento foram superestimados para todos os grupos genéticos em relação ao modelo de Von Bertalanffy não ponderado. Observando-se o comportamento das curvas de crescimento dos animais estimados em relação aos pesos observados verifica-se que eles apresentam comportamentos distintos na fase inicial, no entanto o modelo de Von Bertalanffy tendeu a superestimar os pesos iniciais de todos os animais dos grupos genéticos.

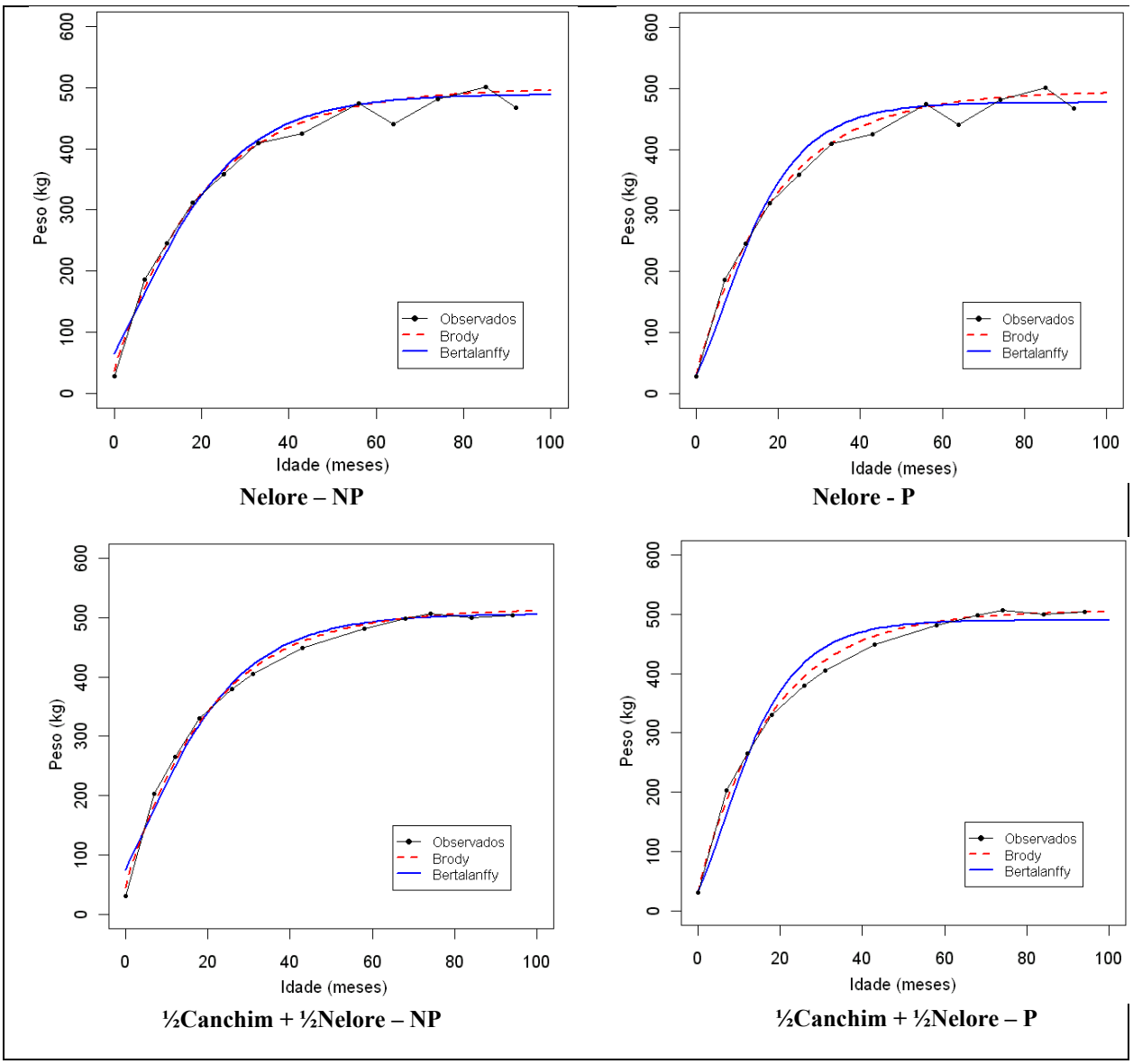

Figura 2 - Estimativa dos pesos (kg), em função da idade (meses), observados e ajustados pelos modelos Brody e Von Bertalanffy não ponderado (NP) e ponderado (P), de fêmeas Nelore e ½Canchim + ½Nelore

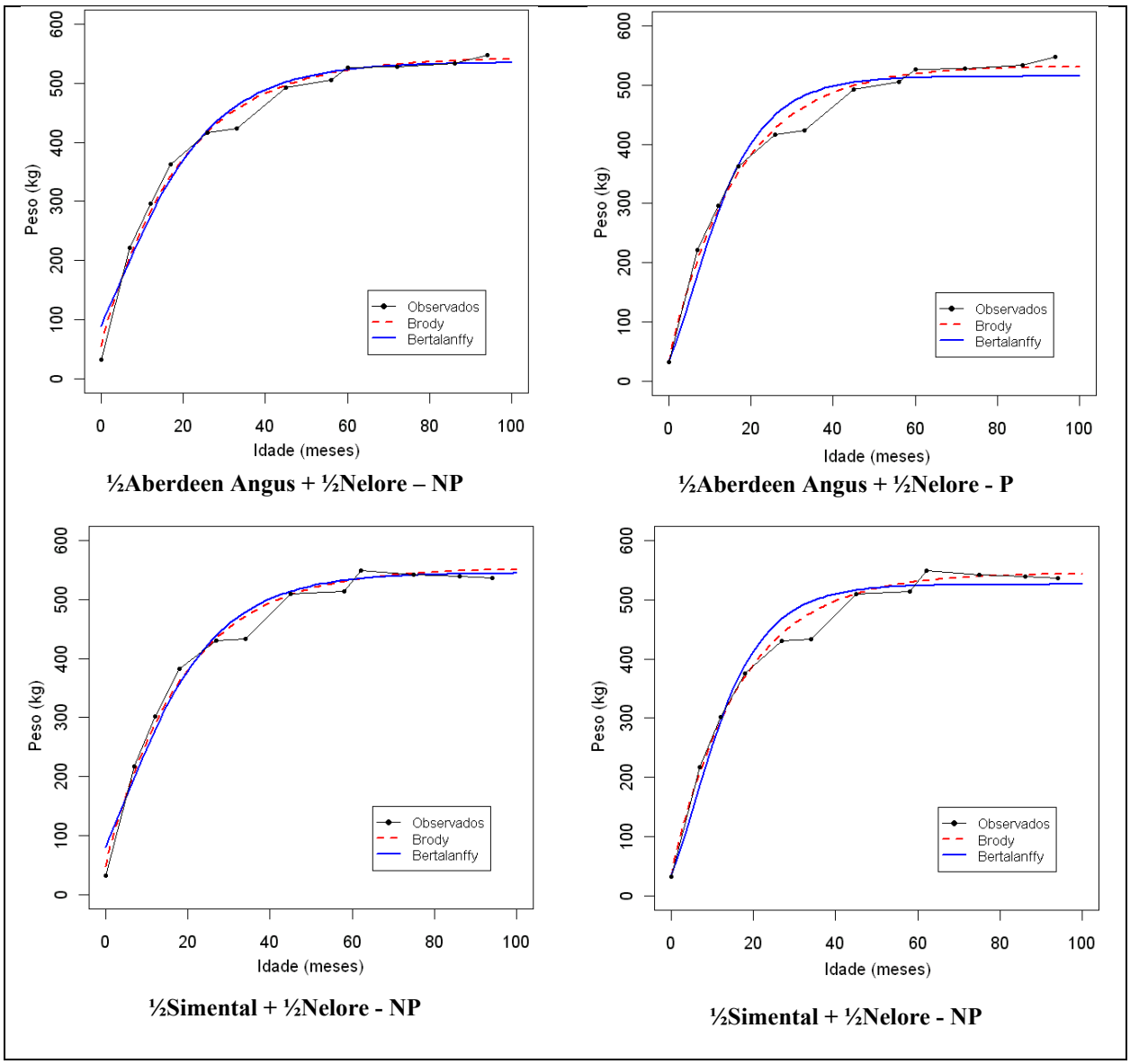

Figura 3 - Estimativa dos pesos (kg) em função da idade (meses), observados e ajustados pelos modelos Brody e Von Bertalanffy não ponderado (NP) e ponderado (P), de fêmeas ½Aberdeen Angus + ½Nelore e ½Simental + ½Nelore

Considerando-se as médias das estimativas dos parâmetros A e k, independente do modelo sem variância e ponderados pelo inverso da variância (Tabela 3 e 4) observa-se que as fêmeas dos grupos genéticos ½Angus + ½Nelore e ½Simental + ½Nelore apresentaram maior tamanho adulto em relação às fêmeas Nelore e ½Canchim + ½Nelore para os modelos em estudo. Estes resultados concordam com Johnson et al. (1990), que obtiveram estimativas dos parâmetros da curva de crescimento pelo modelo Brody para vacas Angus, Hereford, Charolês e Red Poll. A média de A para animais da raça Angus variou de 387 kg até 565 kg e a taxa de maturidade entre

0,132%/dia até o valor de 0,192%/dia. Brown et al. (1976) obtiveram estimativas médias de 508 kg e 543 kg para o peso assintótico (A) e 0,049 e 0,057 para taxa de maturidade (k) em vacas Hereford e cruzadas Brahman x Hereford, respectivamente pelo modelo Brody não ponderado. Em relação ao modelo de Von Bertalanffy não ponderado, esses últimos autores verificaram estimativas de 488 kg e 533 kg para A e 0,50 e 0,52 para k.

Tedeschi et al. (2000) analisando sete modelos não-lineares para descrever o crescimento de machos e fêmeas da raça Guzerá e seus cruzamentos (3/4Guzerá-1/4Pardo Suíço, 1/2Nelore-1/4Pardo Suíço-1/4Guzerá, 1/2Pardo Suíço-1/2Guzerá, 1/2Chianina-1/4Pardo Suíço-1/4Guzerá, 1/2Caracú-1/2Guzerá, 1/2Caracu-1/4Pardo Suíço-1/4Guzerá), verificaram que o modelo mais adequado foi o de Gompertz, seguido de Von Bertalanffy. Segundo eles, no ajuste do modelo de Richards houve grande dificuldade computacional e que o modelo de Brody apresentou as maiores estimativas de peso adulto; o modelo de Gompertz modificado (não apresenta o componente peso adulto na equação) e o Logístico, apresentaram as menores estimativas dos parâmetros.

Oliveira et al. (2000) em estudo com raças zebuínas consideraram o modelo de Von Bertalanffy como o de melhor ajuste aos dados, no caso de modelos não-ponderados. Paz et al. (2004) ajustaram cinco modelos não-lineares não ponderados para dados de peso-idade dos mesmos animais deste estudo (½Canchim-Nelore, ½Angus-Nelore e ½Simental-Nelore), porém do nascimento até aos dezenove meses de idade e observaram que o modelo Logístico foi mais adequado para descrever a curva de crescimento.

Para os modelos ponderados pelo inverso da variância pode-se verificar que o modelo de Von Bertalanffy (Tabela 4) apresentou valores próximos aos observados para animais da raça Nelore (472,87 kg). Entretanto, Elias (1998) realizou análise comparativa de modelos de crescimento não ponderado e ponderado pelo inverso da variância dos pesos de fêmeas das raças Nelore, Guzerá e Gir, usando o conjunto completo de dados de peso, desde o nascimento até a idade adulta, pertencentes aos rebanhos de seleção da Estação Experimental de Sertãozinho. Com base nos modelos não ponderados, a média do peso assintótico que mais se aproximou do peso adulto real de cada raça foi o estimado pelo modelo Logístico nas raças Guzerá (444,27 kg) e Nelore (458,12 kg) e pelo modelo de Gompertz na raça Gir (408,60). Para os modelos ponderados, a média de peso assintótico (A) que mais se aproximou do valor observado foi

estimado pelo modelo de Brody nas raças Guzerá (464,06 kg) e Nelore (471,44 kg), e pelo modelo de Richards na raça Gir (404,60 kg).

Tabela 3 – Estimativas dos parâmetros (A, b e k) e respectivos erros-padrão para os modelos Brody e Von Bertalanffy não ponderados, ajustados a dados peso-idade de fêmeas de diferentes grupos genéticos (variância original)

Grupo genético	Parâmetros	Modelo	
		Brody	Von Bertalanffy
Nelore	A	498,97 ± 2,2026	488,94 ± 1,9535
	b	0,9259 ± 0,0085	0,4898 ± 0,0092
	k	0,0494 ± 0,0009	0,0672 ± 0,0014
½Canchim + ½Nelore	A	514,57 ± 2,1675	505,81 ± 1,9450
	b	0,9112 ± 0,0093	0,4704 ± 0,0095
	k	0,0499 ± 0,0010	0,0666 ± 0,0015
½Angus + ½Nelore	A	543,56 ± 2,3315	535,35 ± 2,1542
	b	0,8976 ± 0,0100	0,4506 ± 0,0098
	k	0,0522 ± 0,0011	0,0679 ± 0,0016
½Simental + ½Nelore	A	553,47 ± 2,4550	544,86 ± 2,2379
	b	0,9119 ± 0,0104	0,4708 ± 0,0108
	k	0,0535 ± 0,0011	0,0709 ± 0,0017

Tabela 4 – Estimativas dos parâmetros (A, b e k) e respectivos erros-padrão para os modelos Brody e Von Bertalanffy ponderados, ajustados a dados peso-idade de fêmeas de diferentes grupos genéticos (variância ponderada pelo seu inverso)

Grupo genético	Parâmetros	Modelo	
		Brody	Von Bertalanffly
Nelore	A	493,27 ± 2,0224	472,87 ± 1,8525
	b	0,9405 ± 0,0008	0,5984 ± 0,0019
	k	0,0539 ± 0,0006	0,0908 ± 0,0009
½Canchim + ½Nelore	A	504,45 ± 1,9863	485,87 ± 1,8225
	b	0,9377 ± 0,0008	0,5942 ± 0,0019
	k	0,0575 ± 0,0006	0,0963 ± 0,0010
½Angus + ½Nelore	A	529,64 ± 2,0914	510,51 ± 1,9343
	b	0,9386 ± 0,0009	0,5969 ± 0,0021
	k	0,0632 ± 0,0008	0,1063 ± 0,0012
½Simental + ½Nelore	A	543,00 ± 2,2963	523,40 ± 2,0461
	b	0,9374 ± 0,0009	0,5948 ± 0,0020
	k	0,0613 ± 0,0008	0,1024 ± 0,0012

Na Figura 4 são apresentadas as curvas de crescimento médias para os modelos de Brody e Von Bertalanffy não ponderados (NP) e ponderados (P) para os diferentes grupos genéticos a qual informam os períodos em que os animais de um grupo genético são mais pesados em comparação com animais de outros grupos genéticos. Os animais ½Simental + ½Nelore apresentaram maiores valores para os parâmetros A (553,47 kg) e k (0,0535%), sendo superiores 9,84% e 7,66% (54,5 kg; 0,0041), 7,02% e 6,72% (38,9 kg; 0,0036), 1,79% e 2,43% (9,9 kg; 0,0013), em comparação com os animais Nelore, ½Canchim + ½Nelore, ½Aberdeen Angus + ½Nelore, respectivamente, considerando o modelo de Brody não ponderado. Estes resultados corroboram os resultados encontrados na literatura em que mencionam que animais mais pesados apresentam menores taxas de maturidade (k), sendo assim, mais tardios em relação aos animais de médio porte. Em relação ao modelo de Von Bertalanffy não ponderado, observa-se semelhante resultado em relação ao modelo de Brody não ponderado, em que fêmeas (½Simental + ½Nelore) apresentaram-se maiores valores para os parâmetros A e k, sendo tardias e de elevados pesos adulto, quando comparados com animais dos diferentes grupos genéticos em estudo. Estes resultados concordam com os mencionados por Pasternak e Shalev (1994), que relatam estimativas viesadas dos parâmetros quando a heterocedasticidade não é levada em consideração no ajuste dos modelos de crescimento. Sabe-se que animais que depositam gordura mais cedo, ou seja, atingem a idade adulta mais cedo entram na puberdade mais cedo, sendo mais produtivos.

Com base nos valores dos parâmetros estimados através do modelo de Brody ponderado observa-se que, embora as fêmeas F1 (½Simental + ½Nelore) tenham apresentado maiores valores para o peso assintótico (A) não significa que são necessariamente animais precoces, visto que as fêmeas do grupo genético ½Aberdeen Angus + ½Nelore apresentaram maiores médias para k (0,0632), ou seja, mais precoces em relação aos demais animais dos grupos genéticos em estudo, sendo superior em 14,71% (0,0093), 9,01% (0,0057), 3,00% (0,0019) Nelore, ½Canchim + ½Nelore, e ½Simental + ½Nelore, respectivamente. Para o modelo Von Bertalanffy ponderado, as F1 (½Aberdeen Angus + ½Nelore) foram superiores 14,58% (0,0155), 9,40% (0,0100) e 3,67 (0,0039) para o parâmetro k em relação aos animais Nelore, ½Canchim + ½Nelore, e ½Simental + ½Nelore, respectivamente. Conforme verifica-se na Figura 4 através dos modelos ponderados, os animais ½Simental + ½Nelore tornam-se mais pesado do que aos animais ½Aberdeen Angus + ½Nelore próximo aos 25 meses de idade.

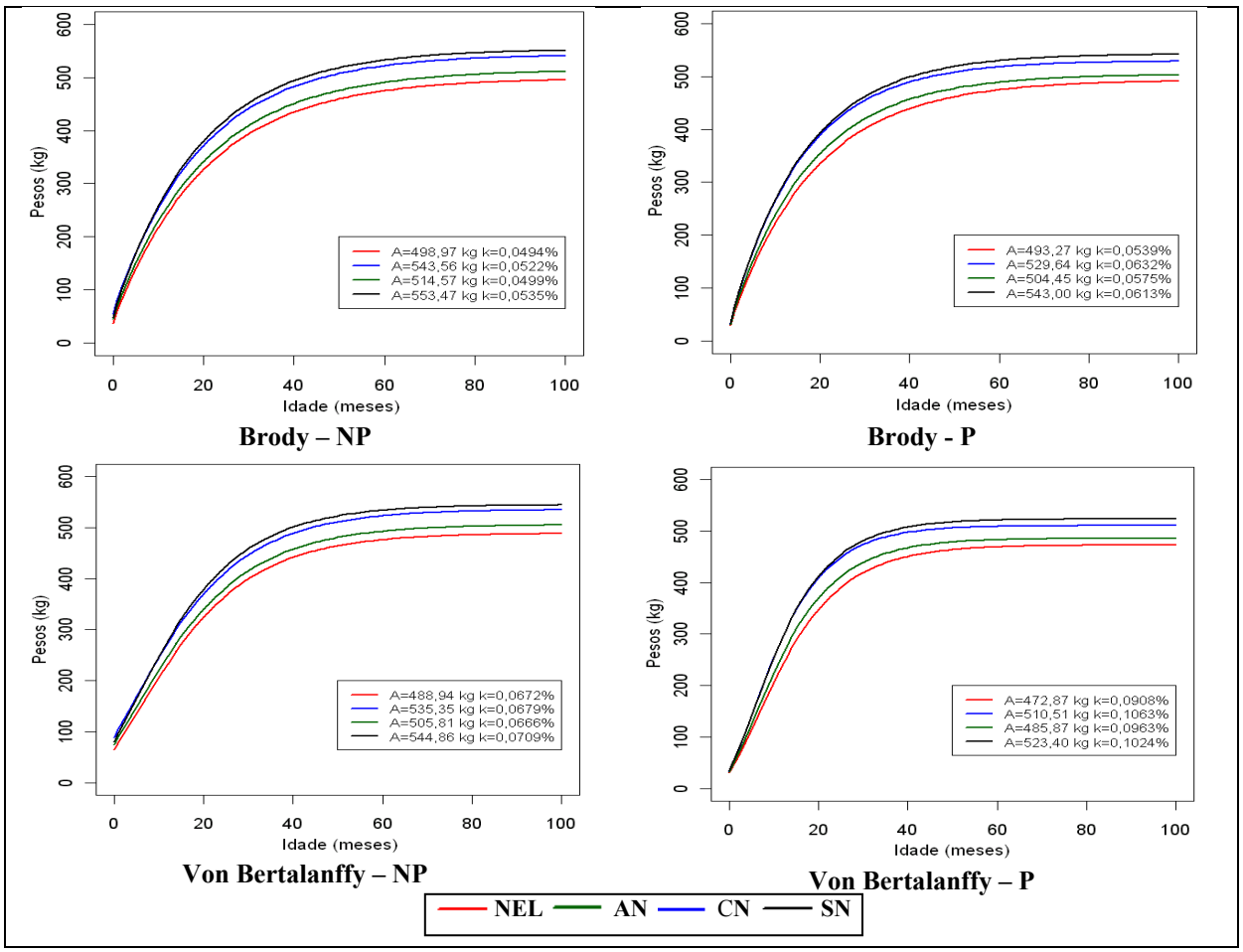

Figura 4 – Curvas de crescimento estimadas pelos modelos Brody e Von Bertalanffy não ponderado e ponderado para fêmeas dos grupos genéticos: Nelore (NEL), ½Canchim + ½Nelore (CN), ½Aberdeen Angus + ½ Nelore (AN) e ½Simental + ½Nelore (SN)

A análise de variância revelou que os efeitos de grupo genético (G), época de nascimento (P) e suplementação alimentar (M) sobre as estimativas dos parâmetros A e k para cada animal, obtidas através do modelo Brody ponderado (Tabela 4), foram significativos (P<0,01, Tabela 5). Observa-se que, entre as épocas de nascimento estudadas, as fêmeas foram mais pesadas e apresentaram taxa de maturidade elevada no outono, indicando que os animais cresceram mais rápido. Estes resultados concordam com aqueles encontrados por Silva et al. (2004), que observaram efeito significativo de época de nascimento sobre as taxa de crescimento da desmama a um ano de idade e taxa de crescimento de um ano ao sobreano, em que animais nascidos no período seco, apresentaram maiores taxas de crescimento do que os animais que nasceram no período chuvoso. O efeito de época de nascimento é uma importante fonte de variação, visto que ocorrem flutuações tanto na quantidade quanto na qualidade de pastagens. Além disso, ocorrem mudanças no manejo dos animais, em virtude das flutuações de clima e de ambiente. Os animais

mais jovens, ainda dependentes em grande parte da alimentação materna, sofrem as conseqüências de tais modificações de forma indireta, pelo efeito sobre a produção de leite da mãe, e direta, pela redução de dieta sólida de qualidade numa fase de grande exigência nutricional como também variações ocorridas de ano para ano, particularmente têm reflexos diretos sobre o desempenho dos animais (SILVA, 1990). Neste trabalho, o efeito de época de nascimento está confundido com o efeito de níveis de suplementação, uma vez que, no outono, os animais dos diferentes grupos genéticos receberam 0 (controle) e 3,0 kg/concentrado/animal/dia, enquanto que, na primavera, os animais receberam 1,5 e 3,0 kg/concentrado/animal/dia. Rocha et al. (2003), trabalhando com vacas Nelore adultas, relataram que as vacas nascidas na época das águas foram menores que as nascidas na época da seca. Os autores atribuíram essa diferença ao ambiente mais propício encontrado pelos animais nascidos na seca durante os primeiros meses de vida. Almeida et al. (2002) relatam que observa-se menor percentagem de folha de gramíneas nas dietas durante a época das águas (81,2%), do que na época seca (91,4%). Provavelmente, isto é conseqüência da menor disponibilidade de folhas durante a época das águas, com concomitante acréscimo de colmos de gramínea na dieta. Estes autores verificaram ainda, que animais da Nelore apresentaram maiores ganhos ($P<0,10$) durante as águas do que na seca, 490 e 194 g/dia, respectivamente, devido à maior ingestão de nutrientes digestíveis. Entretanto, Brown et al. (1972) observaram que a estação de nascimento não foi fonte de variação importante para os parâmetros A e k em animais Angus e Hereford, porém a variação em A tanto para Angus quanto para Hereford foi grandemente inexplicada em ambas as raças.

Com relação ao efeito de grupo genético verifica-se que este foi significativo ($P<0,01$) para o parâmetro A, resultado já esperado, conforme descrito nas Tabelas 3 e 4, e também de suplementação alimentar dentro de época para o efeito k. Quanto a este último, verifica-se, independente de grupo genético, que as fêmeas que receberam a maior suplementação (3,0 kg de concentrado/animal/dia) em ambas as estações de nascimento, tiveram maior velocidade de crescimento dentro do período do nascimento até 100 meses de idade. Contudo, observa-se que a suplementação não influenciou os resultados das estimativas do parâmetro A. Isto pode ser explicado pelo fato de que a velocidade de crescimento (k) pode ter ocorrido em determinadas fases do crescimento, porém, certamente ocorreram efeitos compensatórios que anularam as vantagens na velocidade de crescimento devidas ao efeito da suplementação alimentar. Os resultados mostram que animais F1 (½Simental + ½Nelore) apresentaram maiores pesos adultos em comparação com os demais grupos genéticos. Com base na taxa de

maturidade (k) observa-se que as fêmeas F1 (½Canchim + ½ Nelore, ½Aberdeen Angus + ½Nelore, ½Simental + ½Nelore) apresentam médias semelhantes, sendo ambas mais precoces do que fêmeas Nelore, concordando com Perotto et al. (1992), com dados de peso-idade de fêmeas Gir, Guzerá, Holandês x Gir e Holandês x Guzerá ajustados por meio do modelo Richards os quais verificaram que fatores genéticos podem influenciar as estimativas dos parâmetros deste modelo. Os efeitos da heterozigose aumentaram as estimativas do parâmetro A. Isto se refere ao fato de que cruzamentos aumentam o tamanho adulto, mas não diminui, na mesma proporção, a velocidade com que animais esse tamanho adulto é alcançado.

Tabela 5 – Médias e respectivos erro-padrão das estimativas dos parâmetros: peso assintótico (A) e taxa de maturidade (k) obtidas do modelo Brody ponderado

Fonte de variação	Médias das estimativas dos parâmetros	
	A	k
1) Grupo genético: G		
NEL	496,7 ± 5,02 [b]	0,0548 ± 0,0009 [c]
CN	503,8 ±4,97 [cb]	0,0599 ± 0,0009 [ab]
AN	530,5 ± 5,53 [d]	0,0639 ± 0,0010 [a]
SN	543,4 ± 5,70 [a]	0,0617 ± 0,0011 [a]
2) Época de nascimento: P		
Outono: P_1	532,1 ± 3,54 [a]	0,0610 ± 0,0007 [a]
Primavera: P_2	505,1 ± 3,96 [b]	0,0592 ± 0,0007 [a]
3) Interação: G x P		
P_1		
NEL	505,2 ± 6,85 [a]	0,0532 ± 0,0013 [a]
CN	521,5 ± 7,08 [a]	0,0613 ± 0,0014 [a]
NA	545,3 ± 7,24 [a]	0,0649 ± 0,0014 [a]
SN	556,9 ± 7,17 [a]	0,0644 ± 0,0014 [a]
P_2		
NEL	488,2 ± 7,35 [a]	0,0563 ± 0,0014 [a]
CN	486,0 ± 6,99 [a]	0,0585 ± 0,0013 [a]
NA	515,8 ± 8,38 [a]	0,0628 ± 0,0016 [a]
SN	530,8 ± 8,86 [a]	0,0590 ± 0,0017 [a]
4) Suplementação alimentar dentro época: M(P)		
M_1 (P_1)	528,8 ± 5,10 [a]	0,0574 ± 0,0010 [c]
M_2 (P_1)	535,3 ± 4,93 [a]	0,0645 ± 0,0009 [a]
M_1 (P_2)	511,8 ± 5,69 [a]	0,0575 ± 0,0011 [cb]
M_2 (P_2)	498,4 ± 5,53 [a]	0,0609 ± 0,0010 [abc]
5) Interação tripla		
NEL x M_1 (P_1)	504,3 ± 9,50 [a]	0,0500 ± 0,0018 [a]
NEL x M_2 (P_1)	506,1 ± 9,90 [a]	0,0564 ± 0,0019 [a]
CN x M_1 (P_1)	526,1 ± 9,90 [a]	0,0555 ± 0,0019 [a]
CN x M_2 (P_1)	516,9 ± 10,13 [a]	0,0670 ± 0,0020 [a]
NA x M_1 (P_1)	540,6 ± 10,94 [a]	0,0619 ± 0,0021 [a]
NA x M_2 (P_1)	550,0 ± 9,48 [a]	0,0680 ± 0,0018 [a]
SN x M_1 (P_1)	544,4 10,38 [a]	0,0624 ± 0,0020 [a]
SN x M_2 (P_1)	568,4 ± 9,90 [a]	0,0664 ± 0,0019 [a]
NEL x M_1 (P_2)	496,8 ± 10,65 [a]	0,0556 ± 0,0021 [a]
NEL x M_2 (P_2)	479,6 ± 10,13 [a]	0,0571 ± 0,0020 [a]
CN x M_1 (P_2)	478,1 ± 9,90 [a]	0,0586 ± 0,0019 [a]
CN x M_2 (P_2)	493,9 ± 9,90 [a]	0,0584 ± 0,0019 [a]
NA x M_1 (P_2)	532,3 ± 11,26 [a]	0,0588 ± 0,0022 [a]
NA x M_2 (P_2)	499,2 ± 12,41 [a]	0,0668 ± 0,0024 [a]
SN x M_1 (P_2)	539,9 ±13,40 [a]	0,0569 ± 0,0026 [a]
SN x M_2 (P_2)	521,0 ± 11,61 [a]	0,0612 ±0,0022 [a]

NEL= Nelore; CN = ½Canchim + ½Nelore; AN = ½Aberdeen Angus + ½Nelore; SN = ½Simental + ½Nelore
$M_1(P_1)$ e $M_2(P_1)$=sem concentrado e 3,0 kg de concentrado/animal/dia) no outono, respectivamente.
$M_1(P_2)$ e $M_2(P_2)$=1,5 e 3,0 kg de concentrado/animal/dia) na primavera, respectivamente.
[a,b,c] significância dentro de efeito na coluna ($P < 0,05$)

3.4 Conclusões

Os modelos de Brody e de Von Bertalanffy considerando-se a variância de cada idade, ponderada pelo seu inverso, foram adequados para ajustar o crescimento, do nascimento até 100 meses de idade, dos quatro grupos genéticos estudados: Nelore; ½Canchim + ½Nelore; ½Angus + ½Nelore e ½Simental + ½Nelore. Porém, o modelo de Brody mostrou-se superior em relação ao modelo de Von Bertalanffy.

Houve diferenças significativas das curvas de crescimento médias para os quatro grupos genéticos. Na análise individual do peso assintótico (A) e da taxa de maturidade (k) estimados do modelo Brody ponderado, o parâmetro A foi influenciado ($P<0,05$) pelos grupos genéticos e época de nascimento e k foi influenciado ($P<0,05$) por níveis de suplementação fornecidos aos animais durante quatro meses após desmama. Melhorias no manejo alimentar resultaram em menor variação na forma das curvas de crescimentos e em altas taxas de maturidade.

Referências

ALMEIDA, R.G.; NASCIMENTO JR., D.; EUCLIDES, V.P.B.; MACEDO, C.M.M.; REGAZZI, A.J.; BRANCIO, P.A.; FONSECA, D.M.; OLIVEIRA, M.P. Produção animal em pastos consorciados sob três taxas de lotação, no Cerrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 852-857, 2002. Suplemento.

BROWN, J.E.; BROWN, C.J.; BUTTS, W.T. A discussion of the genetic aspects of weigth, mature weigth and rate of maturing in Hereford and Angus cattle. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 34, n. 4, p. 525-537, 1972a.

_____. Relationships among weigths, gains and earliness of maturing in Hereford and Angus females. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 35, n. 3, p. 507-517, 1972b.

BELTRAN, J.J.; BUTTS JR.; W.T.; OLSON, T.A. Growth patterns of two lines of Angus cattle selected using predicted growth parameters. **Journal Animal Science**, Albany, v. 70, n. 3, p. 734-741, 1992.

BROWN, J.E.; FITZHUGH Jr.; H.A.; CARTWRIGTH, T.C. A comparison of nonlinear models for describing weigth-age relationships in cattle. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 42, n. 4, p. 810-818, 1976.

DUARTE, F.A.M. **Estudo da curva de crescimento de animais da raça Nelore**. 1975. 284 p. (Livre Docência) - Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 1975.

ELIAS, A.M. **Análise de curvas de crescimento de vacas Nelore, Guzerá e Gir**. 1998. 128 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

FORNI, S. **Análise da curva de crescimento de bovinos da raça Nelore utilizando funções não lineares em análises Bayesianas**. 2007. 65 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2007.

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

_____. **Estimativas de curvas de crescimento na produção animal**. 2007. Disponível em: <http://www.cppse.embrapa.br/080servicos/.../documentos/Documentos68.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2008.

GARNERO, A.V.; MARCONDES, C.R.; BEZERRA, L.A.F.; OLIVEIRA, H.N.; LÔBO, R.B. Parâmetros genéticos da taxa de maturação e do peso assintótico de fêmeas da raça Nelore. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 57, n. 5, p. 652-662, 2005.

GUEDES, M.F.; MUNIZ, J.A.; PEREZ, J.R.O.; SILVA, F.F.; AQUINO, L.H.; SANTOS, C.L. Estudo das curvas de crescimento de cordeiros das raças Santa Inês e Bergamácia considerando Heterogeneidade de variâncias. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 2, p. 381-388, 2004.

HARTLEY, H.O. The modified Gauss-Newton method for the fitting of nonlinear regression functions by least squares. **Technometrics**, Alexandria, v. 3, p. 269-280, 1961.

JOHNSON, Z.B., BROWN, C.J.; BROWN Jr., A.H. **Evaluation of growth patterns of beef cows.** Fayetteville: University of Arkansas, Agricultural Experiment Station, 1990. (Bulletin, 923).

LUDWIG, A. **Ajustamento de curvas exponenciais ao crescimento de gado Nelore e análise de seus parâmetros**. 1977. 84 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1977.

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

_____. Curva de crescimento de novilhos Hereford: heterocedasticidade e resíduos autorregressivos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 422-427, 2005.

MENDES, P.N.; MUNIZ, J.A.; SILVA, F.F.; MAZZINI, A.R.A. Modelo logístico difásico no estudo do crescimento de fêmeas da raça Hereford. **Ciência Rural,** Santa Maria, v. 38, n. 7, p. 1984-1990, 2008.

NOBRE, P.R.C.; ROSA, A.N.; SILVA, A.N.; EVANGELISTA, S.R.M. Curvas de crescimento de gado Nelore ajustadas para diferentes freqüências de pesagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 9/10, p. 1027-1037, 1987.

OLIVEIRA, H.N. de; 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.

PASTERNAK, H.; SHALEV, B.A. The effect of a feature of regression disturbance on the efficiency of fitting growth curves. **Growth, Development & Aging**, Bar Harbor, v. 58, n. 1, p. 33-39, 1994.

PAZ, C.C.P. **Associação entre polimorfismos genéticos e parâmetros da curva de crescimento em bovinos de corte.** 2002. 106 p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

PAZ, C.C.P.; PACKER, I.U.; FREITAS, A.R.; REGITANO, L.C.; ALENCAR, M.M. Ajuste de modelos não-lineares em estudos de associação entre polimorfismos genéticos e crescimento em bovinos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1416-1425, 2004.

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**, Ottawa, v. 72, n. 4, p. 773-782, 1992.

ROCHA, E.D.; ANDRADE, V.J.; EUCLIDES FILHO, K.; NOGUEIRA, E.; FIGUEIREDO, G.R. Tamanho de vacas nelore adultas e seus efeitos no sistema de produção de gado de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 55, n. 4, p. 474-479, 2003.

RODRIGUES, A.A.; CRUZ, G.M; ALENCAR, M.M.; BARBOSA, R.T.; CORRÊA, L.A. Efeito de nível nutricional na época da seca no ganho de peso, idade e peso ao primeiro cio de novilhas de diferentes grupos genéticos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41., 2004, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: SBZ, 2004. 1 CD-ROM.

SANTORO, K.R.; BARBOSA, S.B.P.; BARBOSA, S.B.P.; BRASIL, L.H.A.; SANTOS, E.S. Estimativas de parâmetros de curvas de crescimento de bovinos Zebu, criados no Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 2262-2279, 2005.

SARMENTO, J.L.R.; REGAZZI, A.J.; SOUZA, W.H.; TORRES, R.A.; BREDA, F.C.; MENEZES, G.R.O. Estudo da curva de crescimento de ovinos Santa Inês. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 435-442, 2006.

SAS INSTITUTE. **Statistical analysis system user's guide**: version 9.1. Cary, 2004.

SILVA, L.O.C. **Tendência genética e interação genótipo x ambiente em rebanhos Nelore, criados a pasto no Brasil Central.** 1990. 113 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1990.

SILVEIRA JÚNIOR, P. E**studos de alguns modelos exponenciais no crescimento de bovinos da Raça Ibagé**. 1976. 174 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1976.

SOARES, A.P.M. **Ajuste do modelo de Orskov & McDonald (1970) a dados de degradação ruminal *in situ* utilizando mínimos quadrados ponderados**. 2007. 64 p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agronômica) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

SOUZA, G.S. **Introdução aos modelos de regressão linear e não linea**r. Brasília: EMBRAPA, SPI; EMBRAPA, SEA, 1998. 489 p.

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 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

TEDESCHI, L.O.; BOIN, C.; NARDON, R.; LEME, P.R. Estudo da curva de crescimento de animais da raça guzerá e seus cruzamentos alimentados a pasto, com e sem suplementação. 2. avaliação dos parâmetros da curva de crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 9, n. 5, p. 1578-1587, 2000.

4 ASSOCIAÇÃO ENTRE AS ESTIMATIVAS DE PESO ADULTO E TAXA DE MATURIDADE COM CARACTERÍSTICAS DE PRODUTIVIDADE DE VACAS NELORE E CRUZADAS

Resumo

O objetivo neste estudo foi avaliar a qualidade do modelo Brody, ponderado pelo inverso das variâncias dos pesos, quanto ao ajuste de dados peso-idade, do nascimento até 100 meses de idade de vacas de quatro grupos genéticos (G): Nelore (NEL), ½Canchim + ½Nelore (CN), ½Angus + ½Nelore (AN) e ½Simental + ½Nelore (SN) e também a influência das estimativas do peso à maturidade (A) e da taxa de maturidade (k), obtidas deste modelo, sobre características produtivas. Para o ajuste foi utilizado o NLIN do SAS. Os animais considerados neste estudo nasceram de 1998 a 2001 (Ano), na primavera e no outono (EP) e foram criados em sistema de produção intensiva recebendo três níveis de suplementação pós-desmama (M): 0, 1,5; 3,0 kg/animal/dia de concentrado. Foram organizados 10 grupos de contemporâneos (GC) com concatenação dos efeitos fixos Ano-EP-M para cada grupo genético. Utilizando-se modelo misto com efeito de G e GC, foram incluídas, alternadamente, covariáveis linear e quadrática, ora o efeito de A e ora o efeito de k, na análise das seguintes características produtivas: peso à desmama dos bezerros (PD); número (ND8) e kg (KD8) de bezerros desmamados em até 8 anos de permanência da vaca no rebanho; relação PD/peso da vaca ao parto (PD_PVP); relação PD/peso da vaca à desmama do bezerro (PD_PVD); relação PD/unidade metabólica da vaca ($PV^{0,75}$) à desmama do bezerro (PDW). Houve diferença significativa ($P<0,05$) da curva de crescimento entre os grupos genéticos (G) e também entre os grupos de contemporâneos (GC) dentro de G. Verificou-se que estas características foram, em geral, influenciadas ($P<0,01$) tanto pelos efeitos linear e quadrático de A quanto pelos efeitos linear e quadrático de k.

Palavras-chave: Crescimento corporal; Cruzamento; Curvas de crescimento; Modelos não-lineares; Produtividade de vacas

Abstract

The objective of this study was to evaluate the goodness of fit of the Brody nonlinear model weighted by the inverse variance weights, considering weight-age data from birth to 100 months of age of cows from four genetic groups (G): Nellore (NEL), ½Canchim + ½Nellore (CN), ½Angus + ½Nellore (AN) and ½ Simmental + ½Nellore (SN), using NLIN of SAS. The influence of the estimates of mature weight (A) and maturing rate (k) obtained from this model on productivity traits measured in the cows was evaluated. The animals considered in this study were born from 1998 to 2001 (Year) in two seasons (EP), spring and fall, and were managed in intensive production systems and submitted to three levels of post-weaning feed supplementation (M): 0, 1.5, and 3.0 kg /animal/day of concentrate. Considering a mixed model with effects of G and CG (10 contemporaneous groups organized by concatenation Year-EP-M effects), linear and quadratic covariate effects of A and k, were added, alternately, for the analysis of the following traits: weaning weight of calve (WW), number (NW8) and kg (KW8) of calves weaned over 8 years of the cow in the herd; WW/weight of the cow at calving (WW_WC); WW/cow weight at weaning of calf (WW_WWC); and WW/metabolic unit of the cow ($PV^{0,75}$) at weaning of the calf

(MW). There was significant difference (P<0.05) of the growth curve among the genetic groups and also among contemporary groups within G. It was found that the production traits were, in general, influenced (P<0.01) by both linear and quadratic effects of A and k.

Keywords: Body weight; Crossbreeding; Cow productivity; Growth curves; Nonlinear models

4.1 Introdução

A avaliação da eficiência produtiva é de suma importância para a exploração de bovinos de corte e pode ser quantificada por vários critérios que podem ser usados para tornar eficiente a produção de carne bovina. Dentre esses, destaca-se: peso à desmama (PD); relação PD/peso da vaca exposta à monta; relação PD/peso da vaca ao parto, os quais podem refletir sobre a rentabilidade do rebanho (URICK et al., 1971; KRESS et al., 1990; RAHNEFELD et al., 1993).

Em continuidade, as diferenças genéticas existentes entre as raças bovinas podem ser utilizadas para aumentar a eficiência de produção de um rebanho. Entretanto, a identificação do genótipo mais adequado para determinado ambiente faz-se necessário para que as raças sejam caracterizadas biologicamente nos diferentes sistemas de criação. Essa caracterização pode ser feita através da comparação de raças em determinado tipo de ambiente e de manejo (DICKERSON, 1969).

Em virtude disto, o processo de seleção tem por objetivo a obtenção de um ou mais genótipos apropriados para cada sistema de produção, sem aumentar as exigências nutricionais, alterar as formas das curvas de crescimento, mantendo ou reduzindo os tamanhos adultos (MCMANUS et al., 2002), tendo em visto que a utilização de animais de maior tamanho corporal, muitas vezes medido com o peso adulto, e que apresentam taxas de crescimento mais elevadas, somente será viável se as condições de manejo e principalmente a nutrição forem adequadas. Outros inconvenientes observados no aumento do peso da vaca adulta são os problemas reprodutivos e o rápido declínio nos índices de produtividade das vacas ao longo da vida produtiva (LANNA; PACKER, 1998). Alencar et al. (1999), estudando animais de diferentes grupos genéticos, observaram que as vacas mais pesadas, apesar de produzirem bezerros mais pesados à desmama, nem sempre foram as mais eficientes em termos de quilograma de bezerros por quilograma de vaca.

Uma das metodologias mais completas que possibilita estudar em conjunto as características acima são os modelos não-lineares. Dentre as aplicações destes modelos na produção animal, destacam-se as curvas de crescimento que relacionam os pesos (y) e as idades (t) dos animais, do nascimento até a idade adulta. Informações que relacionam os parâmetros da curva e as características de produtividade podem ser encontradas na literatura (URICK et al., 1971; STEWART; MARTIN, 1981; BARBOSA et al., 2002). Alguns trabalhos indicam claramente a existência de um tamanho ótimo das vacas em termos de certas medidas de eficiência e produtividade. No entanto, para as condições brasileiras, são escassos os trabalhos que relacionem tais características em fêmeas da raça Nelore e cruzadas.

O objetivo do presente estudo foi avaliar as associações existentes entre as estimativas do peso adulto e da taxa de maturidade obtidas do ajuste de modelos não-lineares com medidas de produtividade de vacas da raça Nelore e cruzadas, criadas em sistema de produção intensiva.

4.2 Material e Métodos

Os dados utilizados neste estudo referem-se à peso-idade de fêmeas mensuradas do nascimento até 100 meses de idade, nascidas entre os anos de 1998 e 2001, em duas estações de nascimento, e pertencentes aos grupos genéticos (G): Nelore (NEL), ½Canchim + ½Nelore (CN), ½Aberdeen Angus + ½Nelore (AN) e ½Simental + ½Nelore (SN), pertencentes a Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP.

As fêmeas nascidas no outono (abril a junho) de 1998, 1999 e 2000, após à desmama, receberam dois níveis de suplementação (M): sem concentrado e 3,0 kg de concentrado/animal/dia, durante quatro meses. No período da seca seguinte os animais foram suplementados com cana-de-açúcar e uréia e 1,5 kg do mesmo concentrado. Este manejo foi realizado até a puberdade das novilhas, avaliada pela apresentação de dois cios consecutivos com intervalo normal de 17 a 25 dias.

As fêmeas dos quatro grupos genéticos nascidas na primavera (setembro a dezembro) de 2000 e 2001, após a desmama (junho-julho) de 2001 e 2002, receberam duas suplementações distintas: i) 1,5 kg de concentrado/animal ao dia; ii) 3,0 kg de concentrado/animal ao dia). Para este experimento os animais foram mantidos nos mesmos piquetes utilizados para as fêmeas nascidas no outono e foram suplementadas com cana-de-açúcar à vontade. Maiores informações

sobre as condições de criação e manejo dos animais deste estudo podem ser obtidas em Rodrigues et al. (2004).

Em relação ao manejo reprodutivo, as vacas Nelore foram acasaladas com touros Nelore e as fêmeas cruzadas com touros Canchim, até pelo menos o segundo parto. Após esse período, as vacas Nelore continuaram a ser acasaladas com touros Nelore, parte das vacas ½Canchim + ½Nelore foi acasalada com touros Canchim e parte inseminada com sêmen de Charolês, sendo que as fêmeas ½Angus + ½Nelore e ½Simental + ½Nelore foram inseminadas com sêmen de touros das raças Canchim, Angus e Bonsmara. Essas raças foram escolhidas com o objetivo de produzir animais de diferentes grupos genéticos com diferentes proporções de europeu e Zebu e diferentes níveis de adaptação às condições tropicais. Os bezerros das duas primeiras safras receberam, além de pasto, alimento concentrado, no último mês de aleitamento, no sistema "creep feeding", inicialmente à vontade (ALENCAR et al., 2009).

As fêmeas foram mensuradas quanto ao peso nas seguintes idades: ao nascer, aos seis meses, à desmama, ao ano, aos 18 e 24 meses, e em sua fase reprodutiva: entrada e saída de cada estação de monta, à parição e à desmama dos bezerros, sendo considerados para análise apenas os dados de pesos de animais com pelo menos nove pesagens.

Inicialmente foram organizados grupos de contemporâneos (GC) para cada grupo genético, considerando a concatenação de manejo alimentar, época e ano de nascimento (Tabela 1), sendo que para a análise foram considerados apenas os GC que apresentavam no mínimo quatro animais.

Tabela 1 – Informações dos grupos de contemporâneos para vacas pertencentes à quatro grupos genéticos: Nelore (NEL), ½Canchim + ½Nelore (CN), ½Aberdeen Angus + ½Nelore (AN) e ½Simental + ½Nelore (SN), oriundas de um rebanho da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP

Código	**Níveis de suplementação kg/animal ao dia**	**Ano de nascimento**	**Época de nascimento**
GC_1	0	1998	Outono
GC_2	0	1999	Outono
GC_3	0	2000	Outono
GC_4	3,0	1998	Outono
GC_5	3,0	1999	Outono
GC_6	3,0	2000	Outono
GC_7	1,5 kg conc./animal ao dia	2000	Primavera
GC_8	1,5 kg conc./animal ao dia	2001	Primavera
GC_9	3,0 kg conc./animal ao dia	2000	Primavera
GC_{10}	3,0 kg conc./animal ao dia	2001	Primavera

Os dados de peso corporal das vacas, em função da idade, foram ajustados pelo modelo não-linear de Brody (BRODY, 1945) por meio do procedimento NLIN do SAS, sendo as

estimativas dos parâmetros obtidas por meio de processo iterativo de *Gauss-Newton*. No ajuste foi considerada a ponderação pelo inverso da variância dos pesos em diferentes idades, sendo adotada metodologia proposta por Shabenberger (2001) e adaptada por Paz (2002). O critério de convergência para as estimativas foi considerado quando $(SQR_{j-1} - SQR_j)/(SQR_j+10^{-6}) \leq 10^{-8}$, em que SQR_j é a soma de quadrado residual na j-ésima iteração.

No modelo Brody, $y_t = A\,(1\text{-}be^{-kt}) + \varepsilon_t$,, y_t representa o peso corporal à idade t, expressa em meses após o nascimento; A é o peso assintótico ou peso à maturidade quando t tende ao ∞; b é uma constante de integração, sem interpretação biológica; k representa a taxa de maturidade, sendo indicador da velocidade com que o animal atinge o peso adulto e ε_t é o erro aleatório. O modelo completo, nesta análise, proporcionou 10 conjuntos de estimativas dos parâmetros (*A, b* e *k*), individualizadas para cada GC dentro dos grupos genéticos. O modelo reduzido considera que não existem diferenças entre os GC, então o crescimento pode ser descrito por uma única curva de crescimento para cada grupo genético, ou seja, os animais terão os mesmos valores médios para os parâmetros (A, b e k).

Modelo Completo

$$y_{ijt} = GC_i + A(1\text{-}be^{-kt}) + \varepsilon_{ijt}$$

em que:

$i = 1, 2,...., 10; t = 1,2,..., 100; j = 1, 2, ..., n_{it}$

y_{ijt} é a peso observado na idade t do animal j pertencente ao grupo contemporâneo i.

Modelo Reduzido

$$y_t = A(1\text{-}be^{-kt}) + \varepsilon_t$$

As hipóteses testadas foram:

H_0: não há diferença entre os grupos de contemporâneos quanto ao peso estimado para cada grupo genético;

H_A: existe diferença entre os grupos de contemporâneos quanto ao peso estimado para cada grupo genético.

A comparação entre os modelos completo e reduzido foi feita por meio do teste F calculado (F_{calc}), dado por:

$F_{calc}=(SQR_r – SQR_c)/(GLR_r - GLR_c)/QMR_c$,

em que SQR_r = soma de quadrado do resíduo do modelo reduzido; SQR_c = soma de quadrado do resíduo do modelo completo; GLR_r = graus de liberdade do resíduo do modelo reduzido; GLR_c = graus de liberdade do resíduo do modelo completo e QME_c = quadrado médio do resíduo do modelo completo. O valor da probabilidade de F_{calc} ($Prob_{calc} > F$) foi obtido por meio da função PROBF do SAS (SAS@, 2004), a qual retorna a probabilidade de uma distribuição F, conforme abaixo.

$$Prob_{calc} > F = 1 – PROBF\{F_{calc},[GLR_r – GLR_c], [GLR_c]\}$$

em que:

F_{calc} = valor do F calculado utilizado para testar as hipóteses entre os modelos;

GLR_r = graus de liberdade do resíduo do modelo Reduzido;

GLR_c = graus de liberdade do resíduo do modelo Completo;

Para os n pares peso-idade foi calculado a média do erro de predição (EPM), em percentagem: EPM= $\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)/100$ e o desvio médio absoluto dos resíduos DAM = $\sum_{i=1}^{n}| y_i - \hat{y}_i |/n$), em que y_i é o peso observado e $\hat{y}_i$ é o peso estimado para a pesagem i. Valores positivos para EPM indicam que o peso observado foi subestimado, enquanto que valores negativos de EP, indicam superestimativas; valores menores para DAM indicam melhor qualidade de ajuste

Foram calculadas as seguintes características de produtividade das vacas:

PD: peso à desmama dos bezerros;

ND8: número de bezerros desmamados em até 8 anos de permanência no rebanho;

KD8: quilogramas de bezerros desmamados em até 8 anos de permanência no rebanho;

PD_PVP: relação PD e peso da vaca ao parto;

PD_PVD: relação PD e peso da vaca na desmama do bezerro;

PDW: relação PD e unidade metabólica da vaca na desmama do bezerro ($PV^{0,75}$);

Para obtenção das características de produtividade das vacas, o PD de seus respectivos bezerros foram padronizados para 240 dias de idade, por meio do método dos quadrados mínimos utilizando o SAS (SAS@, 2004).

Para as características de produtividade PD, PD_PVD e PDW foi utilizado dados de 208, 305, 287 e 253 e para PD_PVP 253, 344, 343 e 299 bezerros para os grupos genéticos Nelore, ½Canchim + ½Nelore, ½Aberdeen Angus + ½Nelore e ½Simental + ½Nelore, respectivamente. Para estas características foram utilizados os seguintes modelos:

1) $MC1 = y_{ijk} = \mu + g_i + c_j + b_1(A_{ijk} - \bar{A}) + b_2(A_{ijk} - \bar{A})^2 + \varepsilon_{ijk,}$
2) $MC2 = y_{ijk} = \mu + g_i + c_j + b_1(k_{ijk} - \bar{k}) + b_2(k_{ijk} - \bar{k})^2 + \varepsilon_{ijk,}$
3) $MR1 = y_{ijk} = \mu + g_i + c_j + \varepsilon_{ijk,}$

em que y_{ijk} = característica pertencente à vaca i ao grupo contemporâneo j e ao grupo genético k; μ = efeito médio global; g_i = efeito do grupo genético i; c_j = efeito do grupo contemporâneo j (formado pela concatenação dos efeitos fixos de ano de nascimento e sexo dos bezerros e ordem de parto das vacas); b1 e b2 são covariáveis lineares e quadráticas de A e k, respectivamente e ε_{ijk} = erro aleatório.

Para as características ND8 e KD8 foram utilizados dados de pesos de 231, 314, 286 e 249 bezerros para os grupos genéticos Nelore, ½Canchim + ½Nelore, ½Aberdeen Angus + ½Nelore e ½Simental + ½Nelore, respectivamente. Para estas características foram utilizados os seguintes modelos:

1) $MC3 = y_{ijk} = \mu + g_i + c_j + b_1(A_{ijk} - \bar{A}) + b_2(A_{ijk} - \bar{A})^2 + \varepsilon_{ijk,}$
2) $MC4 = y_{ijk} = \mu + g_i + c_j + b_1(k_{ijk} - \bar{k}) + b_2(k_{ijk} - \bar{k})^2 + \varepsilon_{ijk,}$
3) $MR2 = y_{ijk} = \mu + g_i + c_j + \varepsilon_{ijk,}$

em que y_{ijk} = característica avaliada na vaca k, pertencente ao grupo contemporâneo j e ao grupo genético i; μ = efeito médio global; g_i = efeito do grupo genético i; c_j = efeito do grupo contemporâneo j (formado pela concatenação ano de nascimento, época de nascimento, manejo

alimentar e ordem de parto das vacas); b1 e b2 são covariáveis lineares e quadráticas de A e k, respectivamente e ε_{ijk} = erro aleatório.

Foi utilizado o procedimento MIXED do SAS para as análises com a opção DDFM=SATTERTH para calcular o número de graus de liberdade do denominador do quadrado médio residual para obter valor exato de F.

4.3 Resultados e Discussão

Inicialmente, foi avaliada a influência dos efeitos fixos de 10 grupos de contemporâneos (GC) sobre a curva de crescimento dos animais considerando a metodologia de modelos completos (com GC) versus modelos reduzidos (sem GC) e uso da estatística F de Snedecor (Tabela 2). Observa-se, para os quatro grupos genéticos, que o modelo completo diferiu (P<0,0001) do modelo reduzido. Com isso, conclui-se que uma única curva de crescimento para cada grupo genético, quando estimada por meio do modelo Brody, ponderado pelo inverso das variâncias dos pesos nas diferentes pesagens, não é adequada para descrever fielmente o crescimento destes animais. Com isso conclui-se que, para cada grupo genético, deve-se ajustar uma curva dentro de GC.

Estes resultados permitem concluir que mesmo dentro de uma mesma raça, fatores ambientais e fatores genéticos inerentes aos animais podem estar associados ao desenvolvimento ponderal dos mesmos, de modo a acelerar ou limitar o crescimento. Paz et al., (2004), por exemplo, ajustaram o modelo Logístico não ponderado para dados de peso-idade de bovinos cruzados, do nascimento até 18 meses de idade de animais, e observaram que os polimorfismos dos genes da kappa-caseína-*Hinf*I, do hormônio de crescimento-*Alu*I e da β-lactoglobulina-*Hae*III influenciaram a curva de crescimento de animais cruzados.

Tabela 2 - Soma de quadrados do resíduo (SQR), graus de liberdade do resíduo (GLR), quadrado médio do erro (QME), dos modelos Completo e Reduzido, valor de F calculado (F_{calc}) e probabilidade do valor calculado de F ($Prob_{calc} > F$), para vacas Nelore e cruzadas

Grupo genético	Modelo Completo			Modelo Reduzido			
	SQR_c	GLR_c	QME_r	SQR_r	GLR_r	F_{calc}	$Prob_{calc}>F$
NEL	1.890,00	1.939	0,9639	2.011,50	1.966	5,47	0,00001
CN	1.960,00	2.232	0,8781	2.421,30	2.259	19,45	0,00001
AN	1.915,90	1.965	0,9750	2.296,80	1.992	14,47	0,00001
SN	1.568,50	1.775	0,8827	1.937,80	1.804	15,49	0,00001

NEL – Nelore; CN – ½Canchim + ½Nelore, AN – ½Aberdeen Angus + ½Nelore; SN – ½Simental + ½Nelore

Os erros de predição médios (EPM), em porcentagem, e os respectivos erros-padrão, para os animais dos grupos genéticos de animais Nelore, ½Canchim + ½Nelore, ½Aberdeen Angus + ½Nelore, ½Simental + ½Nelore, obtidos do ajuste do modelo Brody estão apresentados na Tabela 3. Com base na média dessa estatística, cujos valores foram negativos, observa-se que o modelo Brody ponderado pelo inverso da variância, superestimou os pesos observados para os quatro grupos genéticos. Contudo, quando analisa a distribuição dos valores de EPM em função da idade, verifica-se, visualmente, distribuição aleatória acima e abaixo do valor zero, que é indicativo de bom ajuste do modelo Brody aos dados peso-idade (Figura 1). Resultado semelhante foi observado por Elias (1998)e por Paz et al. (2004). Com relação ao desvio médio absoluto (DMA), verifica-se que os ajustes mais adequados do modelo Brody, pela ordem, foram, para os grupos genéticos Nelore, ½Canchim + ½Nelore, ½Aberdeen Angus + ½Nelore e ½Simental + ½Nelore, respectivamente.

Tabela 3 – Erros de predição médios (EPM), em %, com respectivos erros-padrão e desvio médio absoluto (DMA) obtidos do ajuste do modelo Brody ponderado a dados peso-idade de vacas Nelore e cruzadas

Grupo genético	EPM (%)	DMA
Nelore	-1,1848±0,2661	0,2511
½Canchim + ½Nelore	-1,2667±0,2670	0,3929
½Aberdeen Angus + ½Nelore	-1,2533±0,2831	0,4381
½Simental + ½Nelore	-1,1548±0,2947	0,9068

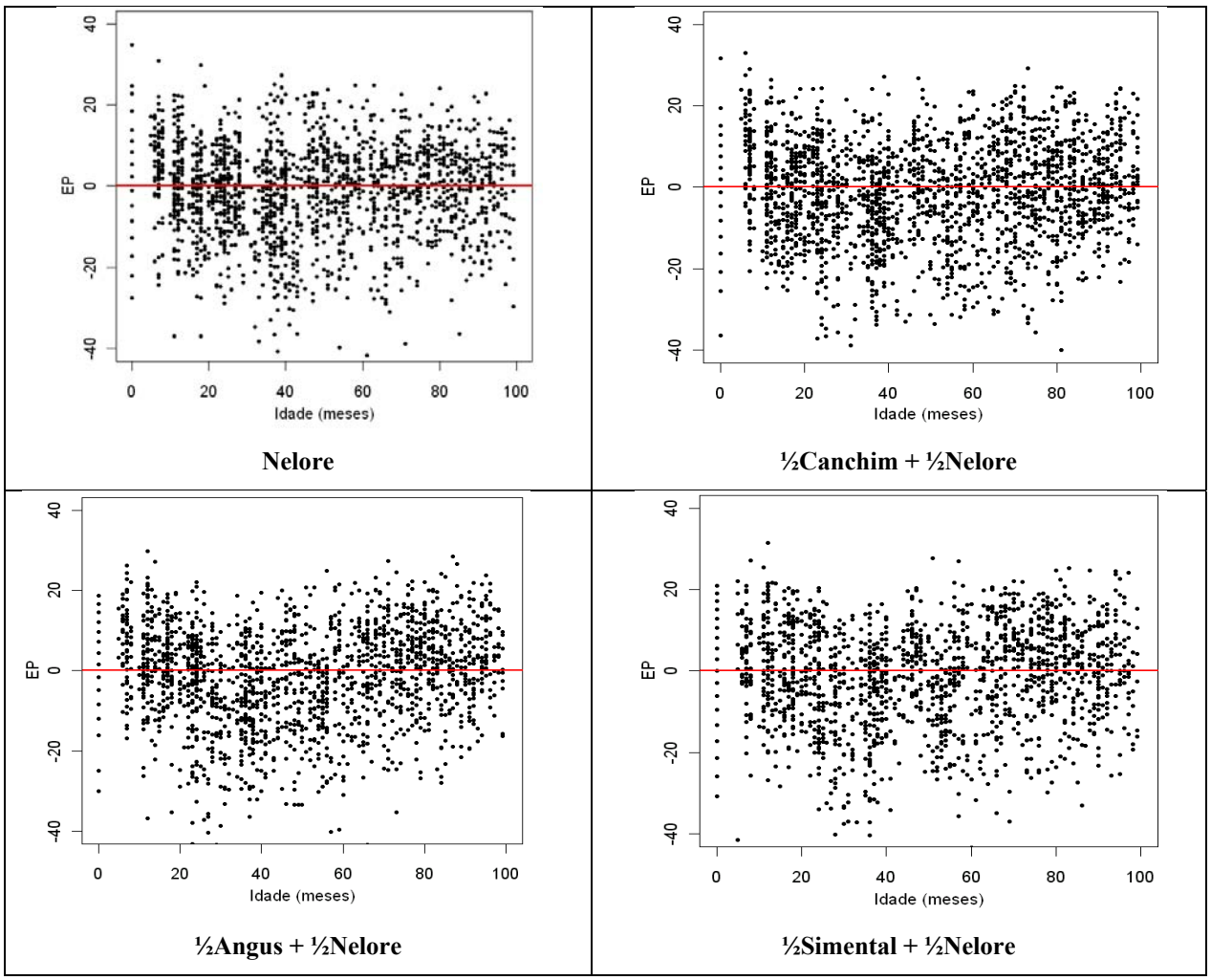

Figura 1 – Estimativas dos erros de predição (EP), em %, em função da idades (meses) obtidas pelo ajuste do modelo Brody ponderado pelo inverso da variância a dados peso-idade de vacas Nelore e cruzadas

Na Tabela 4 estão apresentadas as estimativas de A e k, considerando o grupo de contemporâneos dentro de grupo genético. As médias dos valores das estimativas destes parâmetros foram adequadas, tendo em vista que os erros-padrão foram de magnitude baixa. Observa-se que as vacas nascidas no outono apresentaram maiores pesos adultos (A) e também maiores taxa de maturidade (k) em relação às vacas nascidas na primavera. Estes resultados são concordantes com os obtidos por Barichello et al. (2009), que trabalhando com os mesmos animais, porém com dados de altura-idade ao invés de dados peso-idade, ajustados pelo modelo de Brody e utilizando também a metodologia de modelos completos versus modelos reduzidos, verificaram que as vacas nascidas na primavera (época de chuvas), apresentaram estatura menor em relação aos animais nascidos no outono. Rocha et al. (2003), estudando medidas corporais em vacas Nelore adultas confinadas, verificaram que aquelas nascidas na época das águas tinham

menores valores para altura na cernelha, comprimento corporal, perímetro torácico, altura na garupa e área corporal, quando comparadas com as vacas nascidas na época da seca. Os autores atribuíram essa diferença devido ao ambiente mais propício nos primeiros meses de vida, para os animais nascidos na seca. É conhecido que na época das águas as gramíneas apresentam menor percentagem de folha nas dietas (81,2%), do que na época seca (91,4%), (ALMEIDA et al., 2002).

Observa-se ainda que as vacas ½Simental + ½Nelore apresentam maior peso adulto (Tabela 4), seguida das vacas ½Aberdeen Angus + ½Nelore em todos os grupos de contemporâneos independente do nível de suplementação dentro de época. No outono e sem suplementação, as vacas ½Aberdeen Angus + ½Nelore foram mais precoces em relação às demais, tendo em vista que a taxa de maturidade (k) foi maior. Porém, quando receberam 3,0 kg/conc./animal ao dia, observa-se que as vacas ½Simental + ½Nelore apresentam maior taxa à maturidade. Estes resultados são indicativos de que as condições de alimentação e manejo fornecidas às vacas foram importantes para que diferenças entre os grupos de contemporâneos dentro de grupo genético se manifestasse, embora não se possa afirmar a causa do efeito da alimentação e manejo na expressão do crescimento desses animais, porém, contata-se que as vacas Nelore não cresceram na mesma velocidade do que as vacas mestiças.

Alguns estudos realizados por Ryan (1990) e Owens et al. (1995) mencionam que o tamanho adulto pode ser modificado pela alimentação, pois quando ocorre restrição até os 4 a 5 meses seguintes, o tamanho pode ser diminuído. De forma contrária, o consumo elevado de concentrado pode diminuir o tamanho adulto devido ao fato de que animais superalimentados atingem rapidamente a composição corporal adulta e cessam o seu crescimento normal, mesmo sem terem alcançado o seu tamanho adulto padrão. Barichello et al. (2009), reportaram que vacas mestiças nascidas no outono, vacas ½Simental x ½Nelore, apresentaram maior taxa de maturidade (k), seguidas de ½Canchim x ½Nelore, Nelore e ½Aberdeen Angus x ½Nelore.

Em relação aos animais nascidos na primavera observa-se que as vacas ½Canchim + ½Nelore, apresentaram menor tamanho adulto e taxa de maturidade quando receberam 1,5 kg de conc./animal ao dia. Este resultado não era esperado em virtude desses animais serem oriundos de cruzamento, os quais usufruem da complementaridade entre raças e também da heterose, quando comparado com vacas Nelore, pois espera-se que animais que tenham em sua composição genética a raça Canchim apresentem maior tamanho à maturidade do que as raças zebuínas por se tratar de

uma raça formada com base em uma raça continental, tipicamente com grande tamanho corporal como a Charolêsa. Entretanto, este resultado pode ser consequência do modelo utilizado, pois observam-se nas médias do erro de predição, que tenderam a superestimar os pesos dos grupos genéticos através do modelo de Brody ponderado (Tabela 2).

No entanto, quando receberam 3,0 kg de conc./animal ao dia, as vacas do grupo ½Aberdeen Angus x ½Nelore também foram mais precoces. No trabalho de Barichello et al. (2009), , para os animais nascidos na primavera, a maior taxa de maturação foi estimada para fêmeas Nelore, seguidas por ½Canchim x ½Nelore, Nelore, ½Simental x ½Nelore e ½Aberdeen Angus x ½Nelore.

Constata-se assim a importância de se estudar a curva de crescimento dos animais dentro de grupos contemporâneos (GC), confirmando afirmação de Josahkian et al. (2008). No presente estudo, dentro de GC os animais recebem o mesmo manejo e as mesmas oportunidades e com idades as mais próximas possíveis. Com isso, as diferenças observadas ou medidas nos animais expressem no mais alto grau possível as diferenças genéticas reais.

Tabela 4 - Estimativas dos parâmetros A e k, com respectivos erros-padrão, obtidas pelo modelo Brody, ponderado pelo inverso da variância para os grupos de contemporâneos (GC)* de vacas Nelore e cruzadas

		N	NEL	N	CN	N	AN	N	SN
GC_1	A	8	498,23 ± 6,17	6	516,32 ± 6,81	6	533,39 ± 5,59	8	559,78 ± 5,27
	k		0,0456 ± 0,0017		0,0537 ± 0,0022		0,0646 ± 0,0024		0,0601 ± 0,0021
GC_2	A	8	515,41 ± 5,04	8	555,51 ± 5,85	8	550,36 ± 5,31	8	526,89 ± 5,41
	k		0,0503 ± 0,0016		0,0478 ± 0,0016		0,0569 ± 0,0019		0,0616 ± 0,0023
GC_3	A	8	503,45 ± 7,15	8	515,50 ± 6,15	4	527,23 ± 9,33	4	537,21 ± 8,73
	k		0,0461 ± 0,0018		0,0538 ± 0,0020		0,0570 ± 0,0031		0,0582 ± 0,0032
GC_4	A	8	484,00 ± 5,16	6	517,01 ± 5,21	8	562,10 ± 4,82	6	564,98 ± 5,29
	k		0,0565 ± 0,0020		0,0609 ± 0,0023		0,0674 ± 0,0021		0,0700 ± 0,0026
GC_5	A	7	486,33 ± 5,91	8	533,30 ± 4,40	8	534,89 ± 4,97	8	555,02 ± 5,62
	k		0,0583 ± 0,0022		0,0632 ± 0,0020		0,0673 ± 0,0022		0,0614 ± 0,0022
GC_6	A	7	512,91 ± 6,36	7	512,47 ± 5,47	8	548,92 ± 5,43	8	588,48 ± 6,47
	k		0,0521 ± 0,0019		0,0634 ± 0,0024		0,0610 ± 0,0020		0,0573 ± 0,0021
GC_7	A	10	483,54 ± 5,33	13	473,27 ± 4,59	11	530,90 ± 5,69	4	550,52± 9,09
	k		0,0552 ± 0,0017		0,0555 ± 0,0015		0,0534 ± 0,0017		0,0552± 0,0028
GC_8	A	9	489,69± 6,48	9	504,35 ± 6,79	6	514,33 ± 8,04	8	531,23 ± 7,33
	k		0,0528± 0,0018		0,0512 ± 0,0018		0,0590 ± 0,0027		0,0524 ± 0,0021
GC_9	A	12	508,47 ± 5,73	13	476,65 ± 4,49	7	501,98 ± 6,45	7	509,79 ± 6,3
	k		0,0472 ± 0,0013		0,0578 ± 0,0016		0,0587 ± 0,0024		0,0573 ± 0,0023
GC_{10}	A	9	466,96 ± 5,92	9	511,3 ± 8,61	7	490,56 ± 6,54	9	528,54 ± 6,52
	k		0,0596 ± 0,0020		0,0536 ± 0,0021		0,0675 ± 0,0029		0,0575 ± 0,0021

NEL = Nelore; CN = ½Canchim + ½Nelore, AN = ½Aberdeen Angus + ½Nelore; SN = ½Simental + ½Nelore.
* O1, O2, O3 = nascidas no outono de 1998, 1999, 2000, respectivamente;
P1, P2 = nascidas na primavera de 2000 e 2001, respectivamente;
N1, N2, N3 = suplementação de: 0, 1,5; 3,0 kg/animal/dia de concentrado, respectivamente;
GC_1 = N1+O1; GC_2 = N1+O2; GC_3 = N1+O3; GC_4 = N3+O1; GC_5 = N3+O2;
GC_6 = N3+O3; GC_7 = N2+P1; GC_8 = N2+P2; GC_9 = N3+P1; GC_{10} = N3+P2

Observa-se que, para todas as características de produtividade e modelos utilizados (com e sem covariável), grupo de contemporâneos apresentou efeito significativo (P<0,05 ou P<0,01) (Tabela 5). Este efeito era esperado tendo em vista que as características de crescimento são influenciadas pelas variáveis que o compõem (ano de nascimento e sexo do bezerro, idade da vaca ao parto, e ano e época de nascimento da vaca). O efeito do grupo genético também foi importante (P<0,05 ou P<0,01), o que também era esperado, uma vez que o tamanho dos animais e a sua produção de leite afetam o desenvolvimento dos bezerros e a produtividade das vacas. Além disto, as vacas dos diferentes grupos genéticos foram acasaladas com touros de diferentes raças, resultando em bezerros de diferentes grupos genéticos e percentagens de vigor híbrido. Em razão disto, não será feita discussão dos efeitos de grupo genético da vaca sobre as características estudadas.

Com relação aos efeitos das covariáveis A e k, verifica-se que no modelo 1 houve efeito (P<0,05 ou P<0,01) linear e quadrático de A para PD, PD_W e KD8. Para o modelo 2, houve efeito (P<0,05 ou P<0,01) linear e quadrático da covariável k para PD_PVD, PD_W, ND8 e KD8, enquanto que para PD o efeito foi apenas linear.

Tabela 5 - Resumo das análises de variância das medidas de eficiência produtiva[1] de vacas pertencentes à quatro grupos genéticos: Nelore (NEL), ½Canchim + ½Nelore (CN), ½Aberdeen Angus + ½Nelore (AN) e ½Simental + ½Nelore (SN), oriundas de um rebanho da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP

Fonte de variação	PD	PD_PVD	PD_VP	PD_W	ND8	KD8
Modelo 1:						
Grupo genético	**	**	**	**	**	**
Grupo de contemporâneo dos bezerros	**	**	**	**	-	-
Grupo de contemporâneo das vacas	-	-	-	-	**	**
Peso adulto, linear	**	ns	ns	*	ns	**
Peso adulto, quadrático	**	ns	ns	*	ns	**
Quadrado médio do Resíduo	774,61	0,0284	0,0040	0,9718	0,1000	39992
Modelo 2:						
Grupo genético	**	*	**	**	**	**
Grupo de contemporâneo dos bezerros	**	**	**	**	-	-
Grupo de contemporâneo das vacas	-	-	-	-	**	**
Taxa à maturidade, linear	*	*	ns	*	**	**
Taxa à maturidade, quadrático		*	ns	*	**	**
Quadrado médio do Resíduo	799,74	0,0309	0,0045	0,9994	0,0982	37799
Modelo 3:						
Grupo genético	**	**	**	**	**	**
Grupo de contemporâneo dos bezerros	**	**	**	**	-	-
Grupo de contemporâneo das vacas	-	-	-	-	**	**
Quadrado médio do Resíduo	804,78	0,0319	0,0046	1,0071	0,0583	40836

[1]PD = peso à desmama dos bezerros; PD_PVD = peso à desmama dos bezerros/peso da vaca na desmama dos bezerros; PD_VP = peso à desmama do bezerro/peso da vaca ao parto; PD_W = peso à desmama do bezerro/unidade metabólica da vaca na desmama do bezerro; ND8 = número de bezerros desmamados em até 8 anos de permanência no rebanho; KD8 = quilogramas de bezerros desmamados em até 8 anos de permanência no rebanho.

ns = não significativo; * = (P<0,05); ** =.(P<0,01)

Os coeficientes de regressão das características de produtividade sobre os parâmetros A e k da curva de Brody são apresentados na Tabela 6. Observa-se que para PD, o efeito do parâmetro A é quadrático e a curva apresenta um ponto de máximo para as fêmeas com 619 kg de peso à maturidade, peso este bem acima da média do peso à maturidade (516 kg para todos os grupos genéticos juntos). Isto é indicativo de que o peso à desmama do bezerro aumenta com o aumento do peso à maturidade da vaca até certo ponto e depois reduz. Este resultado era esperado em razão da combinação de efeitos aditivos direto que a vaca transmite para o bezerro e de ambiente materno fornecido pela vaca ao bezerro.

O parâmetro k apresentou efeito linear, indicando que quanto maior a taxa de maturação da vaca maior o peso à desmama do bezerro. Este é um efeito de precocidade de crescimento da vaca e pode estar relacionado positivamente com habilidade materna.

Tabela 6 - Coeficientes de regressão linear e quadrático sobre os parâmetros A (kg) e k (%/mês) da curva de Brody

	Parâmetro			
	A		k	
Característica	Linear	Quadrático	Linear	Quadrático
PD	0,6940 **	-0,00056**	1.738,47 *	-1.241,00
PD_PVD	0,0004 ns	-8,61E-7 ns	6,9253 *	-46,0549 *
PD_W	0,0035 *	-2,92E-6 *	9,0614 *	-64,6044 *
PD_VP	-0,0008 ns	2,305E-7 ns	1,6738 ns	-4,3420 ns
ND8	0,0087 ns	-9,86E-6 ns	42,8349 **	-270,52 **
KD8	7,1292 **	-0,00722 **	38.736 **	-257.223 **

[1]PD = peso à desmama dos bezerros; PD_PVD = peso à desmama dos bezerros/peso da vaca na desmama dos bezerros; PD_VP = peso à desmama do bezerro/peso da vaca ao parto; PD_W = peso à desmama do bezerro/unidade metabólica da vaca na desmama do bezerro; ND8 = número de bezerros desmamados em até 8 anos de permanência no rebanho; KD8 = quilogramas de bezerros desmamados em até 8 anos de permanência no rebanho.
ns = não significativo; * = (P<0,05); ** = (P<0,01)

Para a característica PD_PVD, apenas os efeitos linear e quadrático de k foram significativos, indicando um ponto de máximo para k igual a 0,075%/mês, valor acima da média da taxa de maturação (0,061 para todos os grupos genéticos em conjunto) (Tabela 6). Isto indica que o peso do bezerro à desmama dividido pelo peso da vaca à desmama aumenta com o aumento de k até certo ponto e depois reduz. Este resultado, provavelmente, reflete os efeitos de A e de k sobre as características PD e PVD separadamente. Já para a característica peso do bezerro à desmama dividido pelo peso da vaca ao parto, os parâmetros A e k não apresentaram efeito significativo, talvez como consequência dos efeitos isolados sobre PD e peso da vaca ao parto.

Houve efeitos linear e quadrático de A e de k sobre o peso do bezerro à desmama por unidade metabólica da vaca à desmama do bezerro (PD_W) (Tabela 6), indicando pontos de máximo iguais a 599 kg para o peso à maturidade e 0,070 %/mês para a taxa de maturação, ambos superiores às médias dos parâmetros A e k.

Para a característica número de bezerros produzidos em até oito anos no rebanho (ND8), apenas os efeitos linear e quadrático de k foram significativos (Tabela 6). Neste caso, o ponto de máximo foi para k igual a 0,079%/mês, também bem acima da média que foi de 0,061 %/mês. Como k é uma medida de precocidade, este resultado era esperado, ou seja, maior k maior número de bezerros desmamados. No entanto, o parâmetro A não apresentou efeito sobre a característica ND8, o que não era esperado, pois, normalmente, quanto maior a vaca menor o

número de bezerros produzidos. Entretanto, isto é válido para situações em que há restrições na disponibilidade de forragem, o que não foi o caso do sistema de produção em que as vacas deste trabalho foram mantidas. Este resultado concorda com o observado por Barbosa et al. (2003), que estudando os coeficientes de regressão linear e quadrático do número de bezerros desmamados/vaca sobre o peso à maturidade verificaram efeito não significativos (P>0,05), indicando que não existem relações lineares e quadráticas entre o peso à maturidade e número de bezerros desmamados/vaca. Entretanto, discorda com os mesmos autores sobre os coeficientes de regressão do número de bezerros desmamados/vaca sobre a taxa à maturidade o qual observaram que os coeficientes linear e quadrático foram não significativos (P<0,05).

Para a característica quilogramas de bezerros desmamados em até 8 anos de permanência no rebanho (KD8), houve efeitos significativos linear e quadrático de A e de k (Tabela 6). Neste caso os pontos de máximo foram iguais a 494 kg e 0,075 %/mês para A e k, respectivamente, valores estes próximo e acima das médias para todos os grupos genéticos, respectivamente. Este resultado é produto dos efeitos de A e de k sobre PD e ND8.

4.4 Conclusões

No ajuste do modelo Brody, ponderado pelo inverso das variâncias dos pesos nas diferentes pesagens, para estimar o crescimento corporal, do nascimento até 100 meses de idade, de vacas dos grupos genéticos Nelore, ½Canchim + ½Nelore, ½Angus + ½Nelore e ½Simental + ½Nelore, houve diferença significativa da curva de crescimento entre os grupos genéticos e também entre grupos de contemporâneo dentro de cada grupos genético.

As características produtivas peso à desmama do bezerro, número e kg de bezerros desmamados em até oito anos de permanência da vaca no rebanho e relações PD/peso da vaca à desmama do bezerro e PD/unidade metabólica da vaca: $PV^{0,75}$ à desmama do bezerro foram, em geral, influenciadas significativamente pelos efeitos linear e quadrático de A e de k. Estes resultados mostram que as características de produtividade de vacas dependem do peso à maturidade e taxa de maturidade.

Referências

ALENCAR, M.M. de; TULLIO, R.R.; CORRÊA, L.A. Pesos e relações de peso de bezerros filhos de vacas Nelore e cruzadas Canchim x Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia,** Viçosa, v. 28, n. 5, p. 968-973, 1999.

ALENCAR, M.M.; GONÇALVES, A.C.; BARICHELLO, F.; BARBOSA, P.F.; BARBOSA, R.T.; CRUZ, G.M.; TULLIO, R.R. Desempenho de bezerros cruzados do nascimento à desmama. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE DE ZOOTECNIA, 46., 2009, Maringá. **Anais...** Maringá: SBZ, 2009. 1 CD-ROM.

ALMEIDA, R.G.; NASCIMENTO JR., D.; EUCLIDES, V.P.B.; MACEDO, C.M.M.; REGAZZI, A.J.; BRANCIO, P.A.; FONSECA, D.M.; OLIVEIRA, M.P. Produção animal em pastos consorciados sob três taxas de lotação, no Cerrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 852-857, 2002. Suplemento.

BARBOSA, P.F.; ALENCAR, M.M.; SILVA, A.M. Peso à maturidade, taxa de maturação e eficiência produtiva em fêmeas da raça Canchim. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 54, n. 5, p. 510-517, 2002.

BARICHELLO, F.; ALENCAR, M.M. de; FREITAS, A.R. de; BARBOSA, P.F. Curva de crescimento em altura de fêmeas Nelore, ½Aberdeen Angus x ½Nelore, ½Canchim x ½Nelore e ½Simental x ½Nelore nascidas em duas estações do ano. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE DE ZOOTECNIA, 46., 2009, Maringá. **Anais...** Maringá: SBZ, 2009. 1 CD-ROM.

BRODY, S. **Bioenergetics and growth**. New York: Reinhold, 1945.

DICKERSON, G. Experimental approaches in utilizing breed resources. **Animal Breeding**, Berlin, v. 37, p. 191-202, 1969.

ELIAS, A.M. **Análise de curvas de crescimento de vacas Nelore, Guzerá e Gir**. 1998. 128 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

JOSAHKIAN, L.A.; MACHADO, C.H.C.; GARBELINI, E.C. PMGZ - Programa de Melhoramento Genético de zebuínos. Seleção Corte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DAS RAÇAS ZEBUINAS – Expo Genética o DNA da pecuária Moderna, 7., 2008, Uberaba. **Anais...** Uberaba, 2008. p. 17-46.

KRESS, D.D.; DOORNBOS, D.E.; ANDERSON, D.C. Performance of crosses among Hereford, Angus and Simmental cattle with different levels of Simmental breeding: V. Calf production, milk production and reproduction of three to eight-year-old dams. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 68, p. 1910-1921, 1990.

LANNA, D.P.; PACKER, I.U. Eficiência biológica e econômica de bovino de corte. In: WORKSHOP SOBRE QUALIDADE DA CARNE E MELHORAMENTO GENÉTICO DE BOVINOS DE CORTE, 1998, São Carlos. **Anais...** São Carlos: EMBRAPA, CPPSE, 1998. p. 83-104.

OWENS, F.N.; GILL, D.R.; SECRIST, D.S. Review of some aspects of growth and development of feedlot cattle. **Journal Animal Science,** Champaign, v. 73, n. 10, p. 3152-3172, 1995.

PAZ, C.C.P. **Associação entre polimorfismos genéticos e parâmetros da curva de crescimento em bovinos de corte.** 2002. 106 p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

PAZ, C.C.P.; PACKER, I.U.; FREITAS, A.R.; REGITANO, L.C.; ALENCAR, M.M.A. Influência de polimorfismos genéticos sobre os parâmetros da curva de crescimento em bovinos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 858-869, 2004.

RAHNEFELD, G.W.; WEISS, G.M.; WARD, D.A. Comparison of methods to evaluate beef cows productivity. **Canadian Journal of Animal Sciences**, Ottawa, v. 73, p. 971-996, 1993.

ROCHA, E.D.; ANDRADE, V.J.; EUCLIDES FILHO, K.; NOGUEIRA, E.; FIGUEIREDO, G.R. Tamanho de vacas Nelore adultas e seus efeitos no sistema de produção de gado de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 55, n. 4, p. 474-479, 2003.

RODRIGUES, A.A.; CRUZ, G.M.; ALENCAR, M.M.; BARBOSA, R.T.; CORRÊA, L.A. Efeito de nível nutricional na época da seca no ganho de peso, idade e peso ao primeiro cio de novilhas de diferentes grupos genéticos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41., 2004, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: SBZ, 2004. 1 CD-ROM.

RYAN, W.J. Compensatory growth in cattle and sheep. **Nutrition Abstracts and Reviews**, Series B, Wallingford, v. 60, p. 653-664, 1990.

SAS INSTITUTE. **Statistical analysis system user's guide**: version 9.1. Cary, 2004.

SCHABENBERGER, O. **Nonlinear regression with the SAS system.** Disponível em: <http://www.cas.vt.edu/schabenb/SASNlin.htm>. Acesso em: 10 nov. 2008.

URICK, J.J.; KNAPP, B.W.; BRINKS, J.S.; PAHNISH, O.F.; RILEY, T.M. Relationships between cow weights and calf weaning weights in Angus, Charolais and Hereford breeds. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 33, n. 2, p. 343-348, 1971.