

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**COMPONENTES DE COVARIÂNCIAS ESTIMADOS
POR METODOLOGIA BAYESIANA PARA
PARÂMETROS BIOLÓGICOS OBTIDOS POR
MODELOS NÃO LINEARES PARA BUBALINOS DA
RAÇA MURRAH**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Ronyere Olegário de Araújo

Santa Maria, RS, Brasil

2009

**COMPONENTES DE COVARIÂNCIAS ESTIMADOS POR
METODOLOGIA BAYESIANA PARA PARÂMETROS
BIOLÓGICOS OBTIDOS POR MODELOS NÃO LINEARES
PARA BUBALINOS DA RAÇA MURRAH**

por

Ronyere Olegário de Araújo

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Área de Concentração em Melhoramento Genético Animal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Produção Animal

Orientador: Prof. Paulo Roberto Nogara Rorato

Santa Maria, RS, Brasil

2009

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**COMPONENTES DE COVARIÂNCIAS ESTIMADOS POR
METODOLOGIA BAYESIANA PARA PARÂMETROS BIOLÓGICOS
OBTIDOS POR MODELOS NÃO LINEARES PARA BUBALINOS DA
RAÇA MURRAH**

elaborada por
Ronyere Olegário de Araújo

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Produção Animal

COMISSÃO EXAMINADORA:

Paulo Roberto Nogara Rorato, Dr.
(Presidente/Orientador)

Fernanda Cristina Breda Mello, Dra. (UFSM – Cesnors)

Paulo Santana Pacheco, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 14 de Dezembro de 2009.

*Aos meus maiores Orientadores...
meu Pai José Maria e
minha Mãe Mirna Olegário,
DEDICO integralmente este trabalho*

AGRADECIMENTOS

A DEUS, fonte de inspiração e sabedoria,

Aos meus pais José e Mirna, irmãos Rogério, Dayane, Thauane, que sempre proporcionaram todo suporte e incentivo necessários para que eu pudesse prosseguir, apesar da distância, sempre estiveram presentes apoiando-me irrestritamente na elaboração desta dissertação,

Ao Professor Dr. Paulo Rorato pela orientação, pela grande amizade, pelo incentivo e, sobretudo pelo exemplo,

Aos meus (co)orientadores e grandes amigos(as) Dra. Cintia Marcondes, Professora Dra. Analía Garnero e Professor Dr. Ricardo Gunski pelo confiança, apoio e incentivo à pesquisa durante toda minha vida acadêmica, que me ensinaram a fazer ciência, mostrando caminhos ao invés de meras soluções, minhas estimadas considerações,

Ao Professor Dr. Alencariano Falcão por ter lançado o desafio de estudar curvas de crescimento,

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (*CAPES*) pelo auxílio financeiro,

À EMBRAPA Clima Temperado, na pessoa da MsC. Maria Cecília Damé, pelo banco de dados disponibilizado,

À Universidade Federal de Santa Maria – UFSM e ao Departamento de Zootecnia pelos efeitos de ambiente permanente que me proporcionaram,

Aos Professores, em especial ao Dr. Julio Viégas, Dr. José Henrique, Dr. Luiz Brondani e funcionários do Departamento de Zootecnia – UFSM,

Aos Professores da banca, Dra. Fernanda Mello e Dr. Paulo Pacheco, declaro-me honrado por acrescentar novas idéias neste trabalho,

Aos amigos(as) do Laboratório de Melhoramento Animal (LMA – UFSM), Dionéia, Inajara, Jader, Juliana, Mariana e Tomás, que contribuíram para que um Biólogo torna-se mestre em Zootecnia,

Aos grandes amigos(a) Elton, Fabrício, Juliana, Poliana, Ronaldo, Thompson e Wiris pela amizade consolidada na graduação,

Aos amigos(a) do mestrado Ciência Animal Tropical – UFT, Alysson, Décio, Diego, Fernando e Valdinéia pelo companheirismo,

Aos amigos mineiros Tiago e Victor pela amizade,

À Raquel pela amizade, confiança e por ser fundamental na finalização deste trabalho,

Ao Sr. Luiz Fernandes pela valiosa ajuda na formatação da versão final desta dissertação,

À Isabel e seus estimados pais,

Enfim, gostaria de agradecer aqueles de certa forma auxiliaram a realização deste trabalho, muito obrigado!

Quando você pode medir o que está expondo e explicar o assunto com base em números, quer dizer que você sabe alguma coisa do que está falando... Mas quando você não pode se apoiar em números, seu conhecimento é de um tipo escasso e insatisfatório. (Lord Kelvin)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

COMPONENTES DE COVARIÂNCIAS ESTIMADOS POR METODOLOGIA BAYESIANA PARA PARÂMETROS BIOLÓGICOS OBTIDOS POR MODELOS NÃO LINEARES PARA BUBALINOS DA RAÇA MURRAH

Autor: Ronyere Olegário de Araújo

Orientador: Paulo Roberto Nogara Rorato

Data e Local da defesa: Santa Maria, 14 de dezembro de 2009.

Objetivou-se com este trabalho estudar o ajuste de modelos não-lineares Von Bertalanffy, Brody, Gompertz e Logístico aos dados de crescimento de búfalos(as) da raça Murrah criados em terras baixas no Estado do Rio Grande do Sul e estimar os componentes de (co)variâncias, sob enfoque Bayesiano, para os parâmetros da curva de crescimento com interpretação biológica. No Capítulo 01 foram estudados os ajustes dos modelos não-lineares, supracitados, aos dados de crescimento para um grupo de 63 búfalas, nascidas no período de 1982 a 1989, filhas de três reprodutores e 38 matrizes. Foram avaliadas as características Peso Assintótico (A) e a Taxa de Maturação (K). Os pares de registro peso-idade totalizaram 26 pesagens/fêmea e 1.638 observações. Os critérios utilizados para selecionar o modelo de melhor ajuste à curva de crescimento foram: desvio padrão assintótico (DPA); o coeficiente de determinação (R^2); o desvio médio absoluto dos resíduos (DMA) e o índice assintótico (IA). Em ordem crescente, os modelos Von Bertalanffy, Gompertz, Brody e Logístico superestimaram o PN em 28,55; 32,74; 42,70 e 43,45 kg, respectivamente. O modelo Logístico subestimou o A (-2,09 kg) e os demais modelos (Gompertz, Von Bertalanffy e Brody) superestimaram este parâmetro, em: 8,04; 17,7 e 280,33 kg, respectivamente. Com base nos critérios de ajuste e na visualização das curvas preditas, o modelo Gompertz, seguido dos modelos Logístico e Von Bertalanffy seriam os de melhor ajuste. No Capítulo 02 estudaram-se os ajustes dos mesmos modelos para as mesmas características referenciados no Capítulo 01, aos dados de crescimento para um grupo de 64 búfalos, nascidos no período de 1982 a 1989, filhos de três reprodutores e 42 matrizes. Concluiu-se que todos os modelos superestimaram o PN. Os modelos Von Bertalanffy e Brody superestimaram o A em 14,7 e 167,22 kg, respectivamente, ao passo que os modelos Gompertz e Logístico o subestimaram em 5 e 13 kg, respectivamente. Considerando todos os critérios, o modelo Logístico apresentou o melhor ajuste seguido dos modelos Gompertz e Von Bertalanffy. Sugere-se que o modelo Brody não seja utilizado para descrever a curva de crescimento de búfalos(as) da raça Murrah, criados sob as condições deste trabalho. No Capítulo 03, foram estimados os componentes de (co)variâncias e os parâmetros genéticos sob enfoque Bayesiano, utilizando os programas da Família BLUPF90, dos parâmetros A e K , estimados pelo modelo Gompertz, adotando um modelo animal. Os coeficientes de herdabilidade foram de elevada magnitude tanto para A quanto para K (0,57 e 0,34, respectivamente), indicando que a seleção pode ser usada como instrumento para alterar a forma da curva de crescimento desses animais. Entretanto, o uso dessas informações deve ser feito com grande cautela, uma vez que as características a serem trabalhadas na modificação do formato da curva de crescimento são negativamente correlacionadas, além também, da grande variabilidade das estimativas. Neste caso, os índices de seleção restritos poderiam ser utilizados com maior sucesso.

Palavras-chave: amostragem de gibbs, bubalinos, parâmetros genéticos, peso assintótico, taxa de maturação

ABSTRACT

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

COVARIANCE COMPONENTS ESTIMATED BY BAYESIAN METHODOLOGY FOR BIOLOGICAL PARAMETERS OBTAINED BY NONLINEAR MODELS FOR BUFFALO BREED MURRAH

Author: Ronyere Olegário de Araújo

Advisor: Paulo Roberto Nogara Rorato

Date and Defense's Place: Santa Maria, december, 14, 2009.

The aimed of this work was to study the adjustment of classical non linear models, Von Bertalanffy, Brody, Gompertz, Logistic to growing records of buffaloes of Murrah breed, raised on lowlands in the State of Rio Grande do Sul, and to estimate covariance components by Bayesian focus, for growing curve parameters with biological interpretation. In paper 01 there were studied the adjustment of the classical non linear models already mentioned to growing data for a group of 66 buffaloes females, born from 1982 to 1989, sired by three males and 38 females. There were evaluated the traits Asymptotic weight (A) and Maturity rate (K). The total pair of records weight-age was 26 weighting/female and 1,638 observations. The criterions utilized to select the model that better adjust the growing curve were: asymptotic standard deviation (DPA); the determination coefficient (R^2); the residual absolute average deviation (DMA) and asymptotic index (AI). It was concluded that all the models overestimated the birth weight (PN) in bigger or smaller magnitude. In crescent order, the models Von Bertalanffy, Gompertz, Logistic and Brody overestimated PN by 28.55; 32.74; 42.70 and 43.45 kg, respectively. The Logistic model underestimated A (-2.09 kg) and Von Bertalanffy, Gompertz, and Brody overestimated A in crescent order 8.04, 17.7 and 280.33 kg, respectively. Based on the adjustment criterions and in the predicted curves behavior, the Gompertz model, followed by Logistic and Von Bertalanffy were the best adjustment. In Paper 2 there were studied the adjustments of the same models and for the same traits in Paper 01 for a group of 67 buffaloes, born from 1982 to 1989 sired by three males and 42 females. It was concluded that all the models overestimated PN. Von Bertalanffy and Brody models overestimated A , and Gompertz and Logistic models underestimated it. The smaller DPA was obtained by Brody model characterizing a bigger R^2 but this model presented the bigger DMA. Considering all the criterions, Gompertz model presented the best adjustment followed by Logistic and Von Bertalanffy. It is suggested do not use Brody model to describe the growing curve for animals of Murrah breed raised in the conditions of this work. In Paper 3 there were estimated covariance components and genetic parameters by Bayesian focus, using the Family BLUPF90, for the parameters A and K , estimated by Gompertz model and adopting an animal model. The heritability coefficients presented elevated values for A and for K (0.57 and 0.34, respectively), indicating that selection can be used as an instrument for change the curve shape of this population. However, the use of this information must be done with to much attention because these traits are negatively correlated. In this case a restricted selection index should be used with more success.

Key words: asymptotic weight, buffaloes, genetic parameters, gibbs samples, maturity rate

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 01

FIGURA 01 – Curvas de crescimento obtido pela média dos pesos observados e pelos pesos preditos pelo modelo Von Bertalanffy para as diferentes idades	26
FIGURA 02 – Curvas de crescimento obtido pela média dos pesos observados e pelos pesos preditos pelo modelo Brody para as diferentes idades	26
FIGURA 03 – Curvas de crescimento obtido pela média dos pesos observados e pelos pesos preditos pelo modelo Gompertz para as diferentes idades	27
FIGURA 04 – Curvas de crescimento obtido pela média dos pesos observados e pelos pesos preditos pelo modelo Logístico para as diferentes idades	28
FIGURA 05 – Taxa de crescimento absoluto (TCA) predita pelo modelo Gompertz	29
FIGURA 06 – Curva de Crescimento estimada pelo Modelo Gompertz para três animais com diferentes taxas de crescimento	30

CAPÍTULO 02

FIGURA 01 – Curvas de crescimento obtidas pela média dos pesos observados e pelos pesos preditos pelo modelo Von Bertalanffy nas diferentes idades	44
FIGURA 02 – Curvas de crescimento obtidas pela média dos pesos observados e pelos pesos preditos pelo modelo Brody nas diferentes idades	45
FIGURA 03 – Curvas de crescimento obtidas pela média dos pesos observados e pelos pesos preditos pelo modelo Gompertz nas diferentes idades	46
FIGURA 04 – Curvas de crescimento obtidas pela média dos pesos observados e pelos pesos preditos pelo modelo Logístico nas diferentes idades	46
FIGURA 05 – Taxa de crescimento absoluto (TCA) predita pelo modelo Logístico	48
FIGURA 06 – Curva de Crescimento estimada pelo Modelo Logístico para três animais com diferentes taxas de crescimento	49

CAPÍTULO 03

FIGURA 01 – Distribuição da densidade média <i>a posteriori</i> da herdabilidade do Peso Assintótico (A)	64
FIGURA 02 – Distribuição da densidade da média <i>a posteriori</i> da herdabilidade para a Taxa de Maturação (K)	64
FIGURA 03 – Distribuição da densidade <i>a posteriori</i> da correlação genética entre o Peso Assintótico (A) e a Taxa de Maturação (K)	65

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 01

TABELA 01 – Modelos não lineares utilizados para descrever o padrão médio de crescimento e os parâmetros individuais dos animais 21

TABELA 02 – Análise descritiva de características ponderais do nascimento aos 750 dias de idade para fêmeas da raça Murrah 23

TABELA 03 – Estimativa dos parâmetros (A , B , K e M), com seus respectivos erros-padrão (ep), Desvio Padrão Assintótico (DPA), Coeficiente de Determinação (R^2), Desvio médio absoluto (DMA) e Índice Assintótico (IA) a partir dos modelos utilizados para búfalas da raça Murrah 24

ARTIGO 02

TABELA 01 – Modelos não lineares utilizados para descrever o padrão médio de crescimento e os parâmetros individuais dos animais 39

TABELA 02 – Análise descritiva de características ponderais do nascimento aos 750 dias de idade para machos da raça Murrah 41

TABELA 03 – Estimativa dos parâmetros (A , B , K e M), com seus respectivos erros-padrão (ep), Desvio Padrão Assintótico em % (DPA), Coeficiente de Determinação em % (R^2), Desvio médio absoluto em % (DMA) e Índice Assintótico (IA) a partir dos modelos utilizados para búfalos da raça Murrah 42

ARTIGO 03

TABELA 01 – Análise de Variância (sob método GLM) para as características Peso Assintótico (A) e Taxa de Maturação (K) 60

TABELA 02 – Correlações Fenotípicas entre os parâmetros A e K , preditos pelo modelo Gompertz com os pesos do nascimento aos 750 dias de idade 61

TABELA 03 – Correlação Serial (Correl. Serial), Média (Me), Moda (Mo), Mediana (Med), valor mínimo (Min) e valor máximo (Max) para as variâncias genéticas aditivas (v_a) obtidas para as características Peso Assintótico (A) e Taxa de Maturação (K)

61

TABELA 04 - Correlação Serial (Correl. Serial), Média (Me), Erro-Padrão (EP), Moda (Mo), Mediana (Med), valor mínimo (Min) e valor máximo (Max) das estimativas de herdabilidade (h^2_a) obtidas para características Peso Assintótico (A) e Taxa de Maturação (K)

62

TABELA 05 – Região de Credibilidade a 95% para as variâncias genéticas aditivas (v_a), herdabilidades direta (h^2_a) e correlação genética (r_g) entre as características estudadas

63

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL-----	14
CAPÍTULO 01-----	16
RESUMO-----	17
ABSTRACT-----	18
INTRODUÇÃO-----	19
MATERIAL E MÉTODOS-----	20
RESULTADOS E DISCUSSÃO-----	22
CONCLUSÕES-----	31
AGRADECIMENTOS-----	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----	31
CAPÍTULO 02-----	34
RESUMO-----	35
ABSTRACT-----	36
INTRODUÇÃO-----	37
MATERIAL E MÉTODOS-----	38
RESULTADOS E DISCUSSÃO-----	40
CONCLUSÕES-----	49
AGRADECIMENTOS-----	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----	50
CAPÍTULO 03-----	53
RESUMO-----	54
ABSTRACT-----	55
INTRODUÇÃO-----	56
MATERIAL E MÉTODOS-----	57
RESULTADOS E DISCUSSÃO-----	59
CONCLUSÕES-----	66
AGRADECIMENTOS-----	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS GERAL-----	69

INTRODUÇÃO GERAL

No sistema estatístico oficial do Brasil existem particularidades onde, em muitas situações, o registro de bubalinos se confunde com o de bovinos, resultando em eventuais discrepâncias da dimensão real do rebanho. Estimativas do IBGE (2008) e do CPATU - Embrapa Amazônia Oriental (2006) reportam que o Brasil possui entre 1,2 e 1,6 milhões de cabeças, respectivamente. Já a Associação Brasileira de Criadores de Búfalos (ABCB, 2007) estima, por levantamentos indiretos e avaliações de abate/desfrute, que o rebanho bubalino brasileiro atinge hoje cerca de 3,5 milhões de animais. Por outro lado, os dados do Ministério da Agricultura (BRASIL, 1983) e do Censo agropecuário (IBGE, 2005), relativo ao ano de 2003, apresentavam valores do efetivo do rebanho bubalino de 1,1 milhões de cabeças distribuídas nas cinco regiões do país, nas seguintes quantidades e proporções, respectivamente.

No último levantamento realizado pela FAO (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação - 2006), também se confirma o crescimento mundial da bubalinocultura. Segundo a FAO (2006), o rebanho bubalino mundial apresentou crescimento numérico de 50% nos últimos 28 anos, com estimativa atual de 190 milhões de animais. Consideradas em conjunto, essas estatísticas demonstram as possibilidades futuras da bubalinocultura como atividade emergente no Brasil e no mundo. Uma das características que diferenciam o búfalo dos outros ruminantes é a sua grande eficiência na conversão de fibra de baixa qualidade em energia disponível para crescimento e produção (BORGHESE, 2005).

Os bubalinos apresentam deposição mais precoce de gordura subcutânea, e assim, apresentam carne mais magra, quando comparada à dos bovinos (JORGE et al., 1997(a); OSWIN, 1999). Vale ressaltar que entre as características inerentes à espécie, destacam-se: rusticidade, adaptabilidade, vida útil até os 15 anos, precocidade sexual/produtiva, docilidade e elevada taxa de produtividade de leite, carne e trabalho, aliadas à taxa de natalidade superior a 80% e mortalidade inferior a 3% ao ano (DAMÉ, 1989; MOREIRA et al., 1994; BORGHESE; MAZZI, 2005). Todos esses fatores positivos ajudam a explicar as taxas de expansão da bubalinocultura no Brasil e no mundo.

Diante deste cenário e para que essa atividade torne-se competitiva, tanto nacional quanto internacionalmente, é necessário que sejam procedidas mudanças nos sistemas de produção, visando o aumento da produtividade e a melhoria da qualidade do produto ofertado (GIANLORENÇO et al., 2003). Neste sentido, os recursos do melhoramento genético animal,

atuando por meio da seleção, podem contribuir para o aumento da produtividade, levando a alterações nas frequências gênicas das características de interesse nas próximas gerações.

Por isso, as análises de dados de medidas repetidas se mostram de grande importância no melhoramento genético, pois incluem as situações em que as unidades experimentais ou indivíduos, de diferentes subpopulações ou tratamentos (sexo, raça, etc.), são analisados ao longo de diversas condições de avaliação (tempo, doses etc). Entre essas análises, destacam-se as curvas de crescimento dos animais que relacionam os pesos (y) e as idades (t), por meio de modelos não-lineares que apresentam parâmetros com interpretação biológica (FITZHUGH JR., 1976).

Esses modelos são utilizados para descrever o crescimento do animal ao longo do tempo, o que possibilita avaliar os fatores genéticos e de ambiente que influenciam a forma da curva de crescimento e, desse modo, alterá-la por meio da identificação e seleção de animais com maior velocidade de crescimento, sem alterar o peso adulto, em vez de selecionar animais cada vez maiores (OLIVEIRA et al., 2000; GARNERO et al., 2005, 2006).

Neste contexto, a necessidade de se conhecer o potencial genético do rebanho bubalino decorre da sua importância econômica, não apenas na Região Sul, mas em todo o país. Embora muitos trabalhos tenham sido realizados no país, com vistas a conhecer melhor os aspectos ligados à Bubalinocultura, há grande deficiência de informações sobre estimativas dos parâmetros genéticos na espécie. Associado a isso, o conhecimento do progresso genético alcançado pelos diferentes rebanhos é desconhecido, tanto por criadores que realizam a seleção de maneira empírica, como por aqueles que participam de programas de melhoramento genético (RAMOS et al., 2006).

CAPÍTULO 01

AJUSTE DE MODELOS NÃO-LINEARES AOS DADOS DE CRESCIMENTO DE BÚFALAS DA RAÇA MURRAH CRIADAS EM TERRAS BAIXAS NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

AJUSTE DE MODELOS NÃO-LINEARES AOS DADOS DE CRESCIMENTO DE BÚFALAS DA RAÇA MURRAH CRIADAS EM TERRAS BAIXAS NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

RESUMO

Com o objetivo de ajustar modelos não-lineares ao crescimento ponderal de búfalas criadas em terras baixas do Estado do Rio Grande do Sul, foram utilizados registros mensais (do nascimento aos dois anos de idade) de 63 animais nascidos no período de 1982 a 1989, totalizando-se 1.638 pares de observação peso-idade. Os modelos utilizados foram: Von Bertalanffy, Brody, Gompertz e Logístico. Os parâmetros foram estimados usando-se o procedimento NLIN do SAS (2001). Em ordem crescente, os modelos Von Bertalanffy, Gompertz, Brody e Logístico superestimaram o peso ao nascimento em 28,55; 32,74; 42,70 e 43,45 kg. O modelo Logístico subestimou o peso assintótico (-2,09 kg) e os modelos Gompertz, Von Bertalanffy e Brody superestimaram este parâmetro em: 8,04; 17,7 e 280,33 kg, respectivamente. A correlação fenotípica entre as estimativas do peso assintótico (A) e da taxa de maturação (K), obtidas pelo modelo Gompertz, foi de -0,69, evidenciando o antagonismo existente entre taxa de crescimento e peso à maturidade. Com base no índice de ajuste e na visualização das curvas preditas, o modelo Gompertz, seguido dos modelos Logístico e Von Bertalanffy seriam os de melhor ajuste. Sugere-se que o modelo Brody não seja utilizado para descrever a curva de crescimento de búfalas da raça Murrah, criadas sob as condições deste trabalho.

Palavras-chave: bubalinos, peso assintótico, taxa de maturação, terras inundáveis

ADJUSTMENT OF NONLINEAR MODELS TO DEAL WITH GROWTH DATA FOR FEMALE MURRAH BUFFALO RAISED IN LOWLANDS, RIO GRANDE DO SUL, BRAZIL

ABSTRACT

This study aimed to adjust nonlinear models to deal with growth curve data for female buffalo raised in lowlands in the State of Rio Grande do Sul, Brazil. Monthly records made between birth and two years of age were used from 63 animals born between 1982 and 1989, a total of 1,638 weight-age pairs of data. The Von Bertalanffy, Brody, Gompertz and Logistic models were used in the study. The parameters were estimated by the NLIN procedure, SAS (2001). All the models overestimated weight at birth. In ascending order, the Von Bertalanffy, Gompertz, Brody and Logistic models have each overestimated weight at birth at 28.55; 32.74; 42.70 and 43.45 kg. The asymptotic weight was underestimated only by the Logistic model (-2.09 kg), whereas the other models (Gompertz, Von Bertalanffy and Brody) overestimated this parameter in ascending order at: 8.04; 17.7 and 280.33 kg, respectively. The phenotypic correlation between the estimates of asymptotic weight (A) and maturation rate (K), obtained by the Gompertz model, was -0.69, indicating antagonism between growth rate and mature weight. Based on the index adjustment and the predicted curves, the Gompertz model, followed by the Logistic and Von Bertalanffy showed best adjustment. However, it is recommended that the Brody model should not be used to describe growth curve of female Murrah buffalo under the conditions of this study.

Keywords: asymptotic weight, buffalo, floodable lands, maturation rate

INTRODUÇÃO

O conhecimento e o controle do crescimento e desenvolvimento dos animais são temas de grande interesse para os pesquisadores/criadores, pois o seu domínio permite direcionar o manejo nutricional para que se possa ter um sistema mais eficiente, além de permitir que programas de seleção animal sejam elaborados para as características de crescimento inerentes a cada raça/espécie. Com isso, as curvas de crescimento na produção animal vêm recebendo muita atenção, pois relacionam os pesos (y) e as idades (t) dos animais, por meio de modelos não-lineares que apresentam parâmetros com interpretação biológica (FITZHUGH JR., 1976).

Os ajustes dos dados peso-idade de cada animal ou grupo de animais permitem obter informações descritivas da presente curva de crescimento do animal e/ou informações de prognósticos futuros para animais do mesmo grupo racial sob a mesma situação ambiental. Portanto, o conhecimento da função de crescimento, que é utilizada para descrever o crescimento do animal tanto para fins de exigência nutricional como para seleção genética, é de extrema importância (TEDESCHI et al., 2000).

Enquanto para bovinos zebuínos (OLIVEIRA et al., 2000; GARNERO et al., 2005, 2006), ovinos (McMANUS et al., 2003; SARMENTO et al., 2006), e outros animais (FREITAS, 2005) são encontrados vários estudos recentes sobre curvas de crescimento, poucos são os relatos para bubalinos com estimativas de parâmetro da curva de crescimento o que dificulta sua discussão. Salama & Schalles (1992) estudaram a curva de crescimento de búfalos (*Bubalus arnee*) no Egito, sob modelo não linear com uso do peso ao nascer e não do peso adulto ou peso assintótico e encontraram taxas de crescimento superiores nos machos. Nogueira et al. (1998) observaram que o modelo Brody subestima os pesos dos animais aos 720 dias de idade de búfalos da raça Mediterrâneo criados no Estado de São Paulo, mesmo apresentando um bom ajuste do modelo aos dados. Para búfalos da raça Jafarabadi, Gimenez et al. (2004) testaram 14 modelos de regressão e concluíram que a equação de regressão logarítmica descrevia de maneira satisfatória a curva de crescimento dos animais. Malhado et al. (2008) concluíram que o modelo Logístico foi o melhor em descrever o crescimento de bubalinos da raça Murrah criados no Nordeste brasileiro, seguido dos modelos Gompertz e Von Bertalanffy.

Assim, objetivou-se com este trabalho estudar o ajuste de modelos não-lineares clássicos, Von Bertalanffy, Brody, Gompertz e Logístico, aos dados de crescimento de búfalas da raça Murrah criadas em terras baixas no Estado do Rio Grande do Sul.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido na Estação Experimental de Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, localizada no município do Capão do Leão, na região litoral Sul do Rio Grande do Sul, tendo como altitude média 13,24 metros e coordenadas geográficas 31° 52'00" de latitude sul e 52°21'24" de longitude oeste (DAMÉ, 1989). O solo predominante caracteriza-se por ser do tipo Glei Húmico, sendo pobremente drenado. O clima predominante na região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical de verão subúmido com o resto do ano úmido e superúmido. A temperatura média anual é de 17,5°C, sendo janeiro o mês mais quente (23°C) e julho o mais frio (11,9°C). A média anual de precipitação pluviométrica é de cerca de 1200 mm (DAMÉ, 1989). A vegetação era composta por gramíneas (grama forquilha - *Paspalum notatum*, gramas boiadeiras - *Leersia hexandra*), e por espécies pertencentes as famílias das ciperáceas e juncáceas (DAMÉ, 1989).

O arquivo de dados corresponde a um grupo de 66 fêmeas, nascidas no período de 1982 a 1989, filhas de três reprodutores e 38 matrizes. Os pares de registro peso-idade foram obtidos por meio de pesagens periódicas (a intervalos de aproximadamente 28 dias), ocorridas do nascimento até os dois anos ou 750 dias de idade, totalizando 26 pesagens/fêmea e 1.638 observações. Os animais foram criados em áreas de terras baixas, dos quais um terço está sujeito a inundações periódicas e, o restante, formado por matas, que dificilmente ficam submersas

Foram avaliadas as características Peso Assintótico (A) que corresponde ao peso do animal a maturidade e a Taxa de Maturação (K) que caracteriza a velocidade em que o animal se aproxima do peso adulto. Estes parâmetros foram preditos utilizando quatro modelos matemáticos não-lineares clássicos os quais são apresentados na Tabela 01:

Tabela 01 – Modelos não lineares utilizados para descrever o padrão médio de crescimento e os parâmetros individuais dos animais

Modelo	Autor	¹ Equação
Von Bertalanffy	(Bertalanffy, 1957)	$Y_t = A(1 - Be^{-Kt})^3 + \varepsilon$
Brody	(Brody, 1945)	$Y_t = A(1 - Be^{-Kt}) + \varepsilon$
Gompertz	(Laird, 1966)	$Y_t = Ae^{-Be^{(-Kt)}} + \varepsilon$
Logístico	(Nelder, 1961)	$Y_t = A(1 + e^{-Kt})^{-M} + \varepsilon$

¹sendo que: Y representa o peso do animal a uma determinada idade (t); B a constante de integração a qual está relacionado com os pesos iniciais (grau de maturidade do animal ao nascimento); M é o parâmetro que dá forma a curva; e é o logaritmo em base natural; ε representa o erro aleatório associado a cada pesagem.

Os parâmetros dos modelos foram estimados pelo algoritmo de *Gauss Newton* por meio do procedimento NLIN do *Statistical Analysis System – SAS for Windows* (SAS, 2001). No caso dos modelos não-lineares, segundo Sarmiento et al. (2006), não é possível resolver o sistema de equações formado diretamente, como ocorre no caso linear, uma vez que a resolução do sistema é dependente dos próprios parâmetros a serem estimados. Desta forma, usa-se um processo iterativo para obtenção das estimativas dos parâmetros, o qual começa com valores iniciais, atribuídos aos próprios parâmetros a serem estimados, calcula-se a soma de quadrado do erro e, a cada passo, obtém-se um conjunto de estimativas atualizadas até o procedimento convergir para um vetor final de estimativas, obtendo-se a soma mínima de quadrados do erro.

Os critérios utilizados para selecionar o modelo de melhor ajuste a curva de crescimento foram: desvio padrão assintótico (DPA), calculado a partir da raiz quadrada do quadrado médio do resíduo de cada modelo; análise gráfica das curvas observadas e estimadas; coeficiente de determinação (R^2) calculado como o quadrado da correlação entre os pesos observados e estimados segundo Sampaio (2007) e o desvio médio absoluto dos resíduos (DMA) estatística proposta por Sarmiento et al. (2006), calculado como a seguir:

$$DMA = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|}{n}$$

em que Y_i é o valor observado; \hat{Y}_i , o valor estimado e n o tamanho da amostra. Quanto menor o valor do DMA, melhor o ajuste.

Para proceder à escolha do melhor modelo, foi criado um índice assintótico (IA) como descrito por Ratkowsky (1990) que combinou os critérios de DPA, R^2 e DMA, em que a maior estimativa de cada critério foi atribuída como valor máximo (100%) e os demais ponderados em comparação a este, com isso, quanto menor o índice melhor o ajuste do modelo.

Para melhorar o ajuste dos modelos, foram eliminados do arquivo original os animais que apresentaram valor assintótico, predito pelos modelos, maior que 2.500 kg.

Uma vez estabelecido o melhor modelo, calculou-se a taxa de crescimento absoluto (TCA), obtida a partir da primeira derivada do modelo ajustado, em função do tempo ($\partial Y/\partial t$), permitindo que se verifique graficamente a taxa de crescimento diário dos animais dentro da população (SARMENTO et al., 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O valor do peso ao nascimento – PN (Tabela 02) está ligeiramente acima dos $35,41 \pm 5,25$ kg para o PN relatado por Malhado et al. (2008) para fêmeas da raça Murrah, criadas no Nordeste brasileiro, e dos 31,90 kg reportados por Nascimento e Guimarães (1970), para búfalos pretos independente de sexo. Entretanto, este resultado está compatível com os $37,71 \pm 8,25$ kg relatados por Jorge et al. (2005), também para animais da raça Murrah criados no Centro-oeste do Estado de São Paulo. Para esta característica, Nogueira et al. (1997a), ressalta que os bezerros bubalinos com maiores pesos ao nascimento, frequentemente, tendem a ganhar peso mais rapidamente antes e depois da desmama. Entretanto, as pesquisas com bubalinos relatam variações consideráveis, e são escassas quando se restringe à raça Murrah (JORGE et al., 2005). É interessante também, notar o restrito limite fisiológico inerente a esta característica, representado pelo valor do desvio-padrão, fato este extremamente importante para o monitoramento desta característica, evitando o nascimento de animais muito pesados, os quais estão relacionados com partos distócitos.

Tabela 02 – Análise descritiva de características ponderais do nascimento aos 750 dias de idade para fêmeas da raça Murrah

Peso	¹ PN	² PD	³ P365	⁴ P550	⁵ P750
Média (kg)	38,27	203,65	272,32	314,69	409,05
Desvio-Padrão (kg)	4,23	31,39	42,06	38,22	44,92
Coefficiente de Variação (%)	11,81	15,42	15,44	12,44	10,97

¹PN = Peso ao Nascimento; ²PD = Peso à Desmama; ³P365 = Peso aos doze meses de idade; ⁴P550 = Peso aos 550 dias de idade; ⁵P750 = Peso aos 750 dias de idade.

O peso médio obtido ao desmame (PD), foi superior ao relatado por Nascimento et al. (1979) para animais no sétimo mês de vida (150,30 kg); aos 155 e 155,2 kg reportados por Pacola et al. (1979) e Tomar & Desai (1967), respectivamente, para as raças Jafarabadi e Murrah.

Com relação ao peso médio aos doze meses de idade (272,32 kg), este foi superior aos 250,3 kg reportado por Gronein et al. (1959) e aos 213,40 kg de Nascimento et al. (1979).

O peso aos 550 dias de idade - P550 foi ligeiramente acima dos $301,80 \pm 47,87$ kg relatados por Malhado et al. (2008) mas inferior aos $326,13 \pm 39,27$ kg encontrados por Jorge et al. (2005).

Para o peso aos 750 dias de idade (P750), o valor encontrado no presente trabalho foi superior aos $389,80 \pm 31,26$ kg e $366,38 \pm 34,17$ kg encontrados, respectivamente, por Jorge et al. (2005) e por Malhado et al. (2008), ambos para os 730 dias de idade para rebanhos da raça Murrah.

Ao observar o coeficiente de variação, nota-se que todos os pesos apresentaram valores baixos. Isto era esperado visto que estes animais fazem parte de uma população relativamente pequena, criada em condições semelhantes de ambiente e manejo. Assim, analisando o desenvolvimento ponderal deste rebanho e comparando aos relatos disponíveis na literatura, pode-se dizer, em um primeiro momento, que estes animais se adaptaram bem as condições climáticas encontradas na região do Estado do Rio Grande do Sul, onde são criados.

Observou-se que três animais apresentaram peso assintótico (*A*) maior que 2.500 kg, sendo então, eliminados do arquivo original.

Os valores dos coeficientes de determinação - R^2 (Tabela 03) foram altos e iguais para todos os modelos utilizados no trabalho. Paralelamente, pequenas variações podem ser constatadas ao observar o DPA, em que o modelo Brody apresentou a menor variação e o

modelo Logístico a maior, assim como o número de iterações, em que o modelo Gompertz necessitou de um menor número para estimar os parâmetros da curva. Porém, são variações de pequenas magnitudes impossibilitando qualquer conclusão sobre o melhor modelo de ajuste.

Tabela 03 – Estimativa dos parâmetros (A , B , K e M), com seus respectivos erros-padrão (ep), Desvio Padrão Assintótico % (DPA), Coeficiente de Determinação % (R^2), Desvio médio absoluto % (DMA) e Índice Assintótico (IA) a partir dos modelos utilizados para búfalas da raça Murrah

Modelo	Estimativas dos Parâmetros $\pm ep$				DPA	R^2	DMA	I
	A (kg)	B	K (kg/dia)	M				
Von Bertalanffy	426,75 \pm 4,1	0,485 \pm 0,001	0,0034 \pm 0,00003	-	97,2	0,981	14,06	11,39
Brody*	689,38 \pm 39,8	0,911 \pm 0,001	0,0020 \pm 0,00002	-	94,8	0,982	100	94,82
Gompertz	412,75 \pm 2,9	1,866 \pm 0,005	0,0041 \pm 0,00003	-	98,5	0,981	10,76	9,37
Logístico	403,98 \pm 2,6	-	0,0049 \pm 0,00004	2,540 \pm 0,0064	100	0,981	9,69	9,80

*Três animais não atingiram convergência

Por outro lado, ao analisar o desvio médio absoluto (DMA), nota-se que o maior valor foi estimado pelo modelo Brody, em relação aos demais modelos, fato este comprovado na Figura 03, indicando que este modelo não seria adequado para descrever a curva média para fêmeas da raça Murrah. O menor valor de DMA foi observado para o modelo Logístico (9,69) seguido do Gompertz (10,76) e do Von Bertalanffy (14,06).

Neste contexto, observa-se que o menor valor para o índice foi estimado pelo modelo Gompertz (9,37) seguido dos modelos Logístico (9,80) e Von Bertalanffy (11,39).

O peso assintótico – A não é necessariamente o peso adulto dos animais, mas sim o peso médio a ser atingido por eles na fase adulta, independente das condições sazonais (BROWN et al., 1976). Os valores estimados por todos os modelos para este parâmetro (Tabela 03), foram inferiores aos relatados por Malhado et al. (2008), apresentando, conseqüentemente, maior taxa de maturação (K), uma vez que são parâmetros correlacionados negativamente (GARNERO et al., 2005); contudo, deve ser levado em consideração um viés causado pela não separação dos animais em função do sexo por estes autores. O modelo Brody foi a função que estimou o maior A (689,38 kg), ao passo que o menor valor foi obtido pelo modelo Logístico (403,98 kg), fato semelhante foi relatado por Malhado et al. (2008) e por outros autores em rebanhos bovinos (PEROTTO et al., 1992; OLIVEIRA et al., 2000).

O parâmetro K representa a taxa de maturidade e indica a velocidade de crescimento no sentido de atingir o peso assintótico a partir de seu peso inicial. Quanto maior o valor de K , mais rapidamente o animal se aproxima do seu peso assintótico, ou seja, maior a velocidade de seu crescimento (GARNERO et al., 2005). Animais com alto valor de K apresentam maturidade precoce em comparação com indivíduos de valor mais baixo de K . Como os pesos iniciais são aproximadamente iguais, a variação de K representa, com boa precisão, a velocidade relativa de crescimento do animal (GARNERO et al., 2005). O modelo Logístico estimou o maior valor para K (0,0049 kg/dia) e o menor foi obtido pelo modelo Brody (0,0020 kg/dia). A exemplo disso, podem-se citar trabalhos como os de Stewart e Martin (1981), para vacas das raças Angus e para animais da raça Shorthorn, os quais obtiveram, respectivamente, valores de K iguais a 0,058 kg/dia e 0,066 kg/dia, semelhantes aos 0,059 kg/dia relatados por Marshall et al. (1984) para vacas Red Poll. Garner et al. (2005), ao utilizar o modelo Brody para ajustar dados de fêmeas da raça Nelore, obtiveram valor médio de K igual a 0,0045 kg/dia, ganho este superior aos observados no presente trabalho. Estes resultados denotam o quão tardia esta espécie é em relação a bovina de uma forma geral.

Em ordem crescente, os modelos Von Bertalanffy, Gompertz, Brody e Logístico superestimaram o PN em 28,55; 32,74; 42,70 e 43,45 kg (Figuras 01, 02, 03 e 04). Segundo Freitas (2005) parece haver tendência dos modelos não lineares superestimarem os pesos iniciais, pois, em seu estudo sobre o crescimento de bovinos da raça Canchim, verificou que os modelos Brody, Von Bertalanffy, Gompertz e Logístico superestimaram esta característica. A possível causa para a superestimação frequente desta característica está na utilização do peso assintótico para a estimação de todo o desenvolvimento ponderal dos animais dentro daquele intervalo predeterminado.

Observa-se que os modelos não-lineares Von Bertalanffy (Figura 01) e Brody (Figura 02) tenderam a superestimar todos os pesos observados.

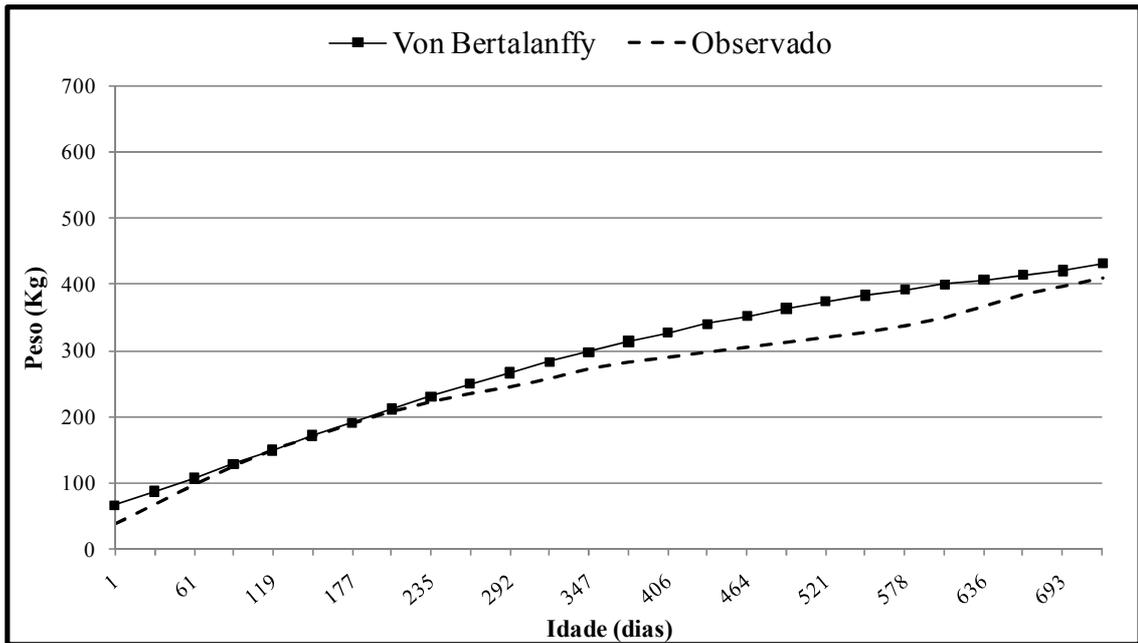


Figura 01 – Curvas de crescimento obtido pela média dos pesos observados e pelos pesos preditos pelo modelo Von Bertalanffy para as diferentes idades

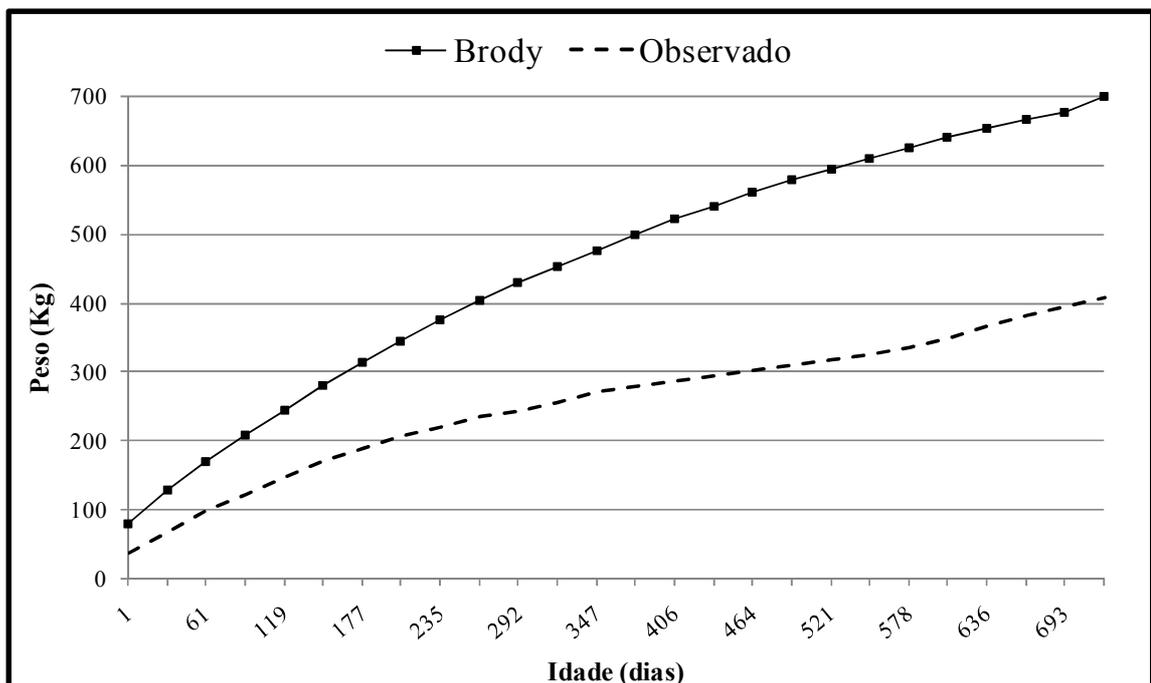


Figura 02 – Curvas de crescimento obtido pela média dos pesos observados e pelos pesos preditos pelo modelo Brody para as diferentes idades

Vale destacar que a maior superestimação ocorreu, para o modelo Von Bertalanffy, na idade de 549 dias, em que o peso observado foi superestimado em 17,7%, o que representa 57,6 kg. O melhor ajuste deste modelo ocorreu em 119 dias de idade, em que foi observada superestimação de 0,062 kg, ou seja, menos de 0,05%. Para o modelo Brody, a maior

superestimação, em valor absoluto, ocorreu aos 750 dias de idade, em que o peso observado foi superestimado em 71,06%, o que representa 290,67 kg e a maior em magnitude ocorreu para o PN, em que sua superestimação correspondeu a 42,70 kg, representando 111,59% do valor observado.

No período que antecede a desmama (119 a 206 dias de idade), e diferentemente dos modelos anteriores (Von Bertalanffy e Brody), o modelo Gompertz (Figura 03) subestimou os pesos observados neste período; a maior subestimação foi de - 7,54 kg na idade de 147 dias, o que representa - 4,4% do valor observado para esta idade. Por outro lado, todos os demais pontos da curva foram superestimados, em que o maior, em valor absoluto, foi de 47,35 kg para a idade de 549 dias, o que representa 14,52% do valor observado para esta idade. O melhor ajuste ocorreu aos 90 dias de idade, em que o valor observado foi superestimado em 0,72 kg, o que representa 0,5% do peso para esta idade. Em relação ao P750, a superestimação foi de 8,04 kg, representando 1,97% do valor observado para esta idade.

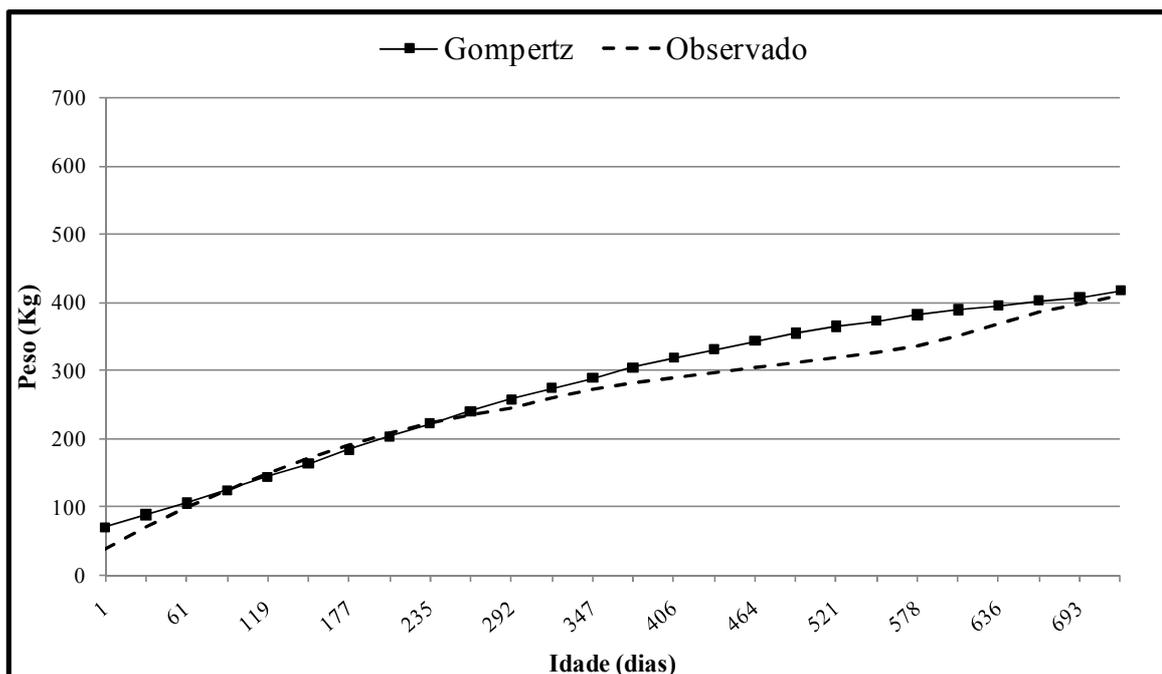


Figura 03 – Curvas de crescimento obtido pela média dos pesos observados e pelos pesos preditos pelo modelo Gompertz para as diferentes idades

Para o modelo Logístico (Figura 04), semelhante ao que ocorreu com o modelo Gompertz, a subestimação coincidiu com o período de 90 – 235 dias de idade, em que a maior foi de - 11,35 kg na idade 177 dias, o que representa - 5,9% do valor observado para esta idade. Por outro lado, todos os demais pontos da curva foram superestimados pelo modelo Logístico, em que o maior foi de 45,16 kg aos 549 dias de idade, representando 13,9% do

valor observado neste ponto e o melhor ajuste ocorreu aos 90 dias de idade, em que o peso observado foi subestimado em 0,18 kg, representando 0,1% deste peso. Aos 750 dias, ocorreu uma superestimação de 2,09 kg, o que representa 0,51% do valor neste ponto.

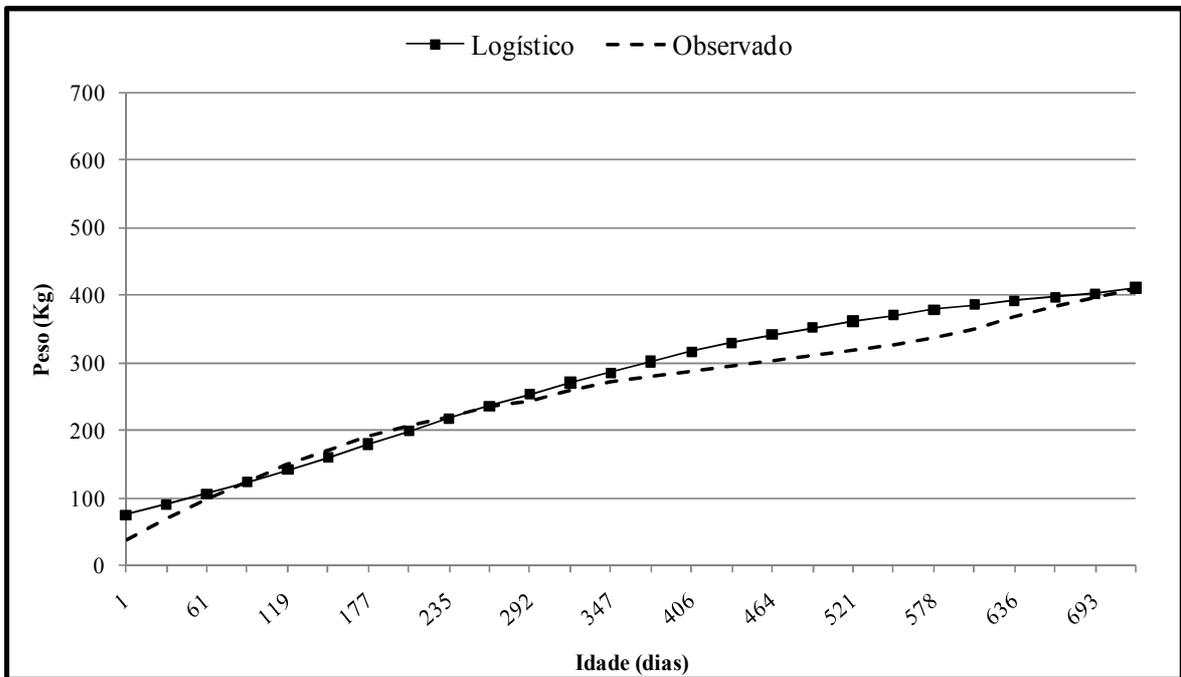


Figura 04 – Curvas de crescimento obtido pela média dos pesos observados e pelos pesos preditos pelo modelo Logístico para as diferentes idades

A idade em que ocorreu o maior grau de superestimação, para todos os modelos exceto o modelo Brody, coincide com o segundo inverno destes animais (549 dias de idade) e, diferentemente do primeiro, neste período os mesmos dependem somente do seu potencial para continuar ganhando ou ao menos mantendo seu peso com a diminuição da oferta de forragem, levando, naturalmente, à uma queda na taxa de crescimento.

Com base no Índice Assintótico (Tabela 03) e na visualização do comportamento das curvas preditas (Figuras 01, 02, 03 e 04), verifica-se que o modelo Gompertz, seguido do Logístico e Von Bertalanffy, foram os que conferiram melhor ajuste para descrever a curva de crescimento de fêmeas bubalinas da raça Murrah. Malhado et al. (2008), concluíram que o modelo Logístico apresentou o melhor ajuste na descrição da curva de crescimento para esta mesma raça criada no Nordeste brasileiro, divergência esta, provavelmente devida a grande diferença ambiental a que estas populações foram submetidas além do fato de que a curva estudada por estes últimos autores não tenha separado os animais por sexo. Contudo, são

divergentes dos obtidos por Nogueira et al. (1998), os quais recomendaram o modelo Brody para descrever a curva de crescimentos para animais da raça Mediterrâneo.

A taxa de crescimento absoluto – TCA (Figura 05), originada em função do tempo a partir da primeira derivada dos parâmetros médios do modelo Gompertz, foi crescente até o ponto máximo em torno de 0,690 kg por dia ($K.A^{-1}$) decrescendo posteriormente com o aumento da idade. Observa-se que o ponto de inflexão, que representa a idade em que a curva muda de crescente para decrescente (ponto máximo), foi obtida aos 147 dias de idade (K^{-1}) com aproximadamente 171,9 kg (A^{-1}) evidenciando que a taxa máxima de crescimento foi obtida muito cedo.

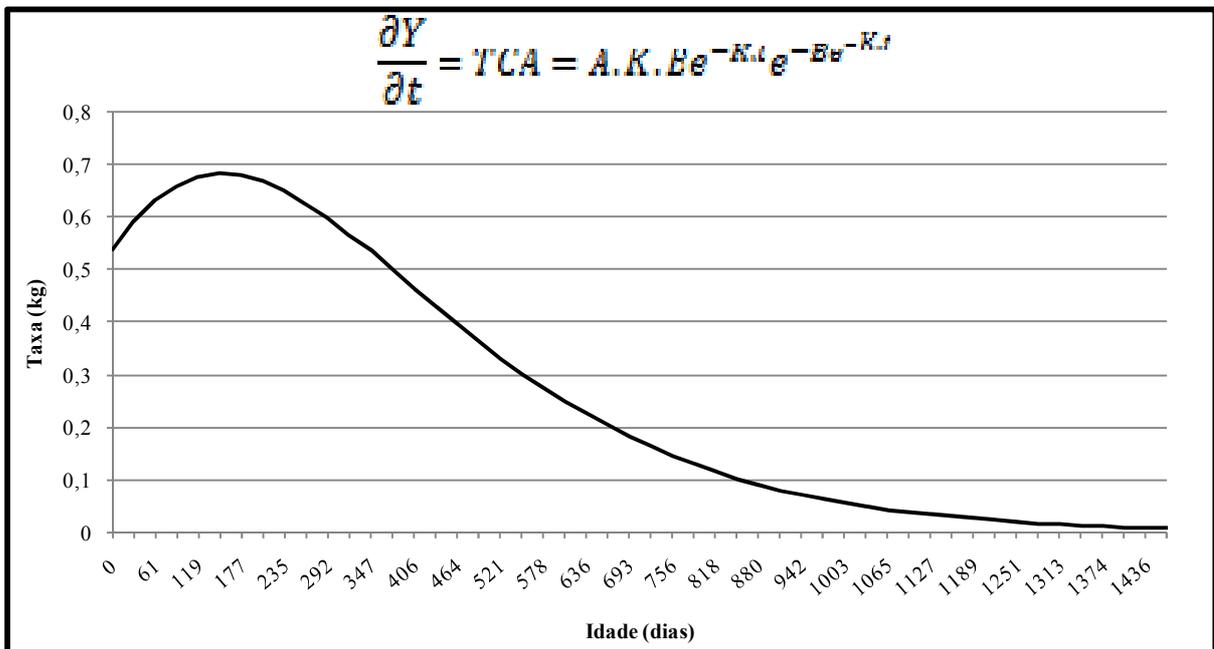


Figura 05 – Taxa de crescimento absoluto (TCA) predita pelo modelo Gompertz

Sarmiento et al. (2006) ressaltaram que este comportamento pode indicar que os animais se adaptaram ao ambiente a que foram expostos, adquirindo este tipo de padrão de crescimento, isto é, com taxa de crescimento maior em idades mais jovens e taxas lentas em idades posteriores, proporcionando menores pesos a maturidade.

Outra abordagem sobre este ponto de inflexão precoce pode estar associada a tendência para alcançar o *fitness*, pois com este padrão de crescimento, animais que possuem maiores exigências nutricionais em idade adulta não seriam favorecidos. Assim, este fato se torna perfeitamente compreensível biologicamente ao avaliarmos as condições climáticas a que estes animais foram submetidos, principalmente considerando que parte dos animais

originou-se do Estado do Pará. Esse padrão de crescimento mostra que estes animais se adaptaram bem às condições ambientais a que foram expostos no extremo sul do Rio Grande do Sul.

A TCA no final do período estudado foi de 0,145 kg diários, mostrando que a partir de 40 meses de idade o ganho de peso é muito pequeno.

Garnero et al. (2006) descrevendo a curva de crescimento para fêmeas da raça Nelore, consideraram o ponto de inflexão como um indicativo de idade a puberdade, uma vez que este ponto ocorreu entre os 6,81 e os 10,6 meses de vida dos animais, diferentemente do que pode ser concluído do presente trabalho.

A Figura 06 representa curvas de crescimento de três animais com diferentes taxas de crescimento, tardio, mediano e precoce. Observa-se que a curva de crescimento que representa o tipo morfológico precoce inicia a desaceleração do crescimento por volta dos 420 dias de idade (platô), e, conseqüentemente inicia maior deposição de gordura de acabamento. Esse processo ocorre no animal precoce de forma bem distinta quando comparado aos outros dois biotipos, tanto na idade, que é mais jovem, quanto no peso vivo, que é também menor. Vale ressaltar que, para bovinos, existem relatos na literatura que afirmam que a precocidade em deposição de gordura coincide fisiologicamente com a precocidade em maturação sexual (FRIES, 1996).

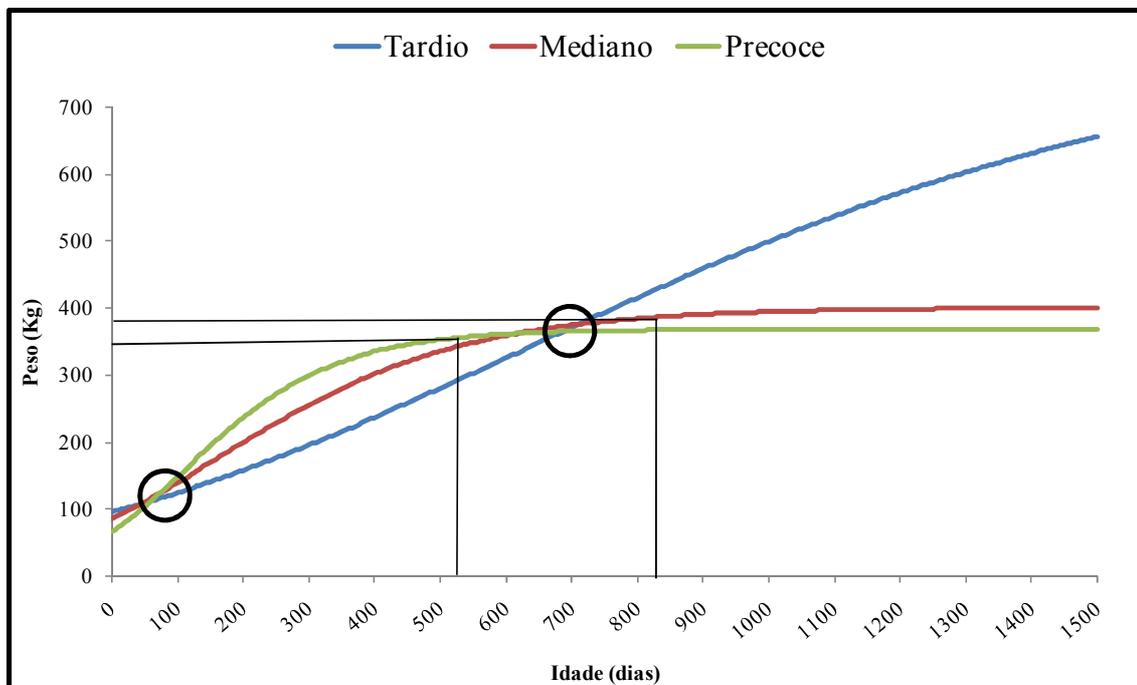


Figura 06 – Curva de Crescimento estimada pelo Modelo Gompertz para três animais com diferentes taxas de crescimento

Os círculos em destaque na Figura 06 representam o momento em que as distintas curvas se cruzam. Nesses pontos os animais estão com o mesmo peso, logo poder-se-ia concluir que estes indivíduos são semelhantes, quando na realidade são tipos morfológicos completamente diferentes, permitindo que se obtenham conclusões errôneas ao se analisar somente a característica peso.

CONCLUSÕES

Com base no índice assintótico adotado neste trabalho, recomenda-se o modelo Gompertz para ajustar a curva de crescimento de búfalas da raça Murrah seguido dos modelos Logístico e Von Bertalanffy.

AGRADECIMENTOS

À EMBRAPA Clima Temperado, pela cessão do arquivo de dados e a *CAPES* pelo apoio financeiro para a execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRODY, S. **Bioenergetics and growth**. New York: Rheinhold Pub. Corp., 645p. 1945.
- BROWN, J.E.; FITHUGH JUNIOR, H.A.; CARTWRIGHT, T.C. A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. **Journal of Animal Science**, v.42, p.810- 818, 1976.
- DAMÉ, M.C.F. **Puberdade em fêmeas bubalinas no Rio Grande do Sul**. 1989. 60 p. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) - Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1989.
- FITZHUGH JR., H.A. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. **Journal of Animal Science**, v.42, n.4, p.1036-1051, 1976.
- FREITAS, A. R. Curvas de Crescimento na Produção Animal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.3, p.786-795, 2005.
- FRIES, L.A. Uso de escores visuais em programas de seleção para a produtividade em gado de corte. In: SEMINÁRIO NACIONAL - REVISÃO DE CRITÉRIO DE JULGAMENTO E SELEÇÃO EM GADO DE CORTE. 1996, Uberaba. **Anais...** Uberaba: Associação Brasileira de Criadores de Zebu, 1996. p.1-6.

- GARNERO, A. DEL V.; MARCONDES, C.R.; BEZERRA, L.A.F.; OLIVEIRA, H.N.; LOBO, R.B. Parâmetros genéticos da taxa de maturação e do peso assintótico de fêmeas da raça Nelore. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.57, n.5, p.652-662, 2005.
- GARNERO, A. DEL V.; MARCONDES, C. R.; GUNSKI, R. J.; OLIVEIRA, H. N.; LÔBO, R. B. Genetic trends in the expected progeny difference of the asymptotic weight of Nelore females. **Genetics and Molecular Biology**, v.29, n.4, p.648-652, 2006.
- GHONEIM, A.; TAHA EL-KATIB, M.; EL-MAGHRABI, M. Study of growth in Egyptian and buffaloes up to 1 1/2 years-old. Cairo: University of Cairo, (**Bulletin**, n.133, p.24). 1959.
- GIMENEZ, J.N.; RAMOS, A.A.; PICCININ, A.; MALHADO, C. H. GONÇALVES, H. C. Estudo da curva de crescimento em búfalos da raça Jafarabadi. In: Reunião Anual da SBZ, 41, Campo Grande: MS, 2004. **Anais...** Campo Grande: UFMS, 2004. (CD-ROM, resumo MELH 086, 3p.)
- JORGE, A.M.; ANDRIGHETTO, C; CASTRO, V.S. Desenvolvimento ponderal de bubalinos da raça Murrah criados em pastagem de *Brachiaria brizantha* no Centro-Oeste do Estado de São Paulo, Brasil. **Ciência Rural**, v35, n.2, p.417-421, 2005.
- LAIRD, A. K. Dynamics of relative growth. **Growth**, Bar Harbor, v.29, p.249-263, 1966
- MALHADO, C. H. M.; RAMOS, A. A.; CARNEIRO, P. L. S.; SOUZA, J. C.; WECHSLER, F. S.; ELER, J. P.; AZEVÊDO, D. M. M. R.; SERENO, J. R. B. Modelos no lineales para describir el crecimiento de bufalinos de la raza Murrah. **Archivos de Zootecnia**, v. 57, p.497-503, 2008.
- MARSHALL, T.E.; MOHLER, M.A.; STEWART, T.S. Relationship of lifetime productivity with mature weight and maturation rate in Red Poll cows. **Animal Production**, v.39, p.383-387, 1984.
- McMANUS, C.; EVANGELISTA, C.; FERNANDES, L.A.C.; MIRANDA, R.M.; BERNAL, F.E.M.; SANTOS, N.R. Curvas de crescimento de ovinos Bergamácia criados no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.5, p.1207-1212, 2003.
- NASCIMENTO, C.N.B.; GUIMARÃES, J.M.A.B. Fatores afetando o peso ao nascer de búfalos pretos. Belém: IPEAN. **Estudos sobre bubalinos**, v.1, n.2. p.41-57. 1970.
- NASCIMENTO, C.N.B.; SALIMOS, E.P.; MOURA CARVALHO, L.O.D.; LOURENÇO JÚNIOR, J.R. Peso ao nascer e desenvolvimento ponderal de búfalos em pastagem nativa. In: ENCONTRO SOBRE BUBALINOS, 1979, Araçatuba, SP. **Anais...** Araçatuba: Associação Brasileira de Criadores de Búfalos/UNESP/CATI/SBZ. p.218-219. 1979.
- NELDER, J. A. The fitting of a generalization of the logistic curve. **Biometrics**, v.17, p.89-94, 1961.
- NOGUEIRA, J. R.; LIMA, M. L. P.; GADINI, C. H.; SOARES, W. V. B. Estimativas de parâmetros de curvas de crescimento de búfalos da raça Mediterrâneo. In: Reunião Anual da SBZ, 35, Botucatu: SP, 1998. **Anais...** Botucatu: UNESP, p. 374-376, 1998.

NOGUEIRA, J.R. et al. Sistema de produção de bubalinos para carne em pastagens de capim colonião na região noroeste do estado de São Paulo. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, SP, v.54, n.1, p.25-32, 1997.

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

PACOLA, L.J.; NASCIMENTO, J.; REICHERT, R.H.; RAZOOK, A.G. Desempenho de bubalinos em Sertãozinho, São Paulo. In: ENCONTRO SOBRE BUBALINOS, 1979, Araçatuba, SP. Anais... Araçatuba: Associação Brasileira de Criadores de Búfalos/UNESP/CAT/SBZ. p.160-161. 1979.

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**, v.72, p.773-782, 1992.

RATKOWSKY, D. A. **Handbook of nonlinear regression models**. New York and Basel, Marcel Dekker, p. 241, 1990.

SALAMA, M. A. M. e SCHALLES, R. P. Growth of water buffalo, *Bubalus arnee*. **Tropical Agriculture**, v. 69, n. 3, p. 239-242, 1992.

SAMPAIO, I. B. M. **Estatística aplicada à experimentação animal**. FEPMVZ. Edição: 3ª. Belo Horizonte. 2007.

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

SAS, **SAS user's guide**: Statistical Analysis System Institute, Inc., Cary, NC, 2001.

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

TOMAR, S.P.S.; DESAI, R.N. Factors influencing the inheritance of birth weigh of buffalo calves on military farms. **Indian Veterinary Journal**, v. 44, n.7 p.694-701,1967.

TEDESCHI, L.O.; BOIN, C.; NARDON, R.F.; LEME, P.R. Estudo da Curva de Crescimento de Animais da Raça Guzerá e seus Cruzamentos Alimentados a Pasto, com e sem Suplementação. 1. Análise e Seleção das Funções Não-Lineares. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.2, p.630-637, 2000.

von BERTALANFFY, L. Quantitative laws in metabolism and growth. **Quarterly Review of Biology**, v.32, p.218, 1957.

CAPÍTULO 02

MODELOS NÃO-LINEARES CLÁSSICOS PARA DESCREVER A CURVA DE CRESCIMENTO DE BÚFALOS DA RAÇA MURRAH CRIADOS EM TERRAS BAIXAS NO ESTADO RIO GRANDE DO SUL

MODELOS NÃO-LINEARES CLÁSSICOS PARA DESCREVER A CURVA DE CRESCIMENTO DE BÚFALOS DA RAÇA MURRAH CRIADOS EM TERRAS BAIXAS NO ESTADO RIO GRANDE DO SUL

RESUMO

Com o objetivo de ajustar modelos não-lineares clássicos ao crescimento ponderal para búfalos criados em terras baixas do Estado do Rio Grande do Sul, foram utilizados registros mensais mensurados do nascimento aos dois anos de idade, de 64 machos nascidos no período de 1982 a 1989, totalizando-se 1.664 pares de observação peso-idade. Os modelos utilizados foram: Von Bertalanffy, Brody, Gompertz e Logístico. Os parâmetros foram estimados usando o procedimento NLIN do aplicativo SAS (2001). Os critérios utilizados para verificar o ajuste dos modelos foram: desvio padrão assintótico; coeficiente de determinação; desvio médio absoluto dos resíduos e o índice assintótico. Todos os modelos superestimaram o peso ao nascimento. Os modelos Von Bertalanffy e Brody superestimaram o peso assintótico ao passo que os modelos Gompertz e Logístico o subestimaram. O menor desvio padrão assintótico foi estimado pelo modelo Brody, caracterizando um maior coeficiente de determinação, entretanto este modelo apresentou o maior desvio médio absoluto. A correlação fenotípica entre as estimativas obtidas para o peso assintótico (A) e para a taxa de maturação (K), obtidas pelo modelo Logístico, foi de -0,55, confirmando o antagonismo existente entre eles, uma vez que animais que apresentam maior peso à maturidade possuem baixa taxa de crescimento. Considerando todos os critérios, o modelo Logístico apresentou o melhor ajuste seguido dos modelos Gompertz e Von Bertalanffy.

Palavras-Chave: bubalinos, peso assintótico, taxa de maturação, terras inundáveis

CLASSICAL NONLINEAR MODELS TO DESCRIBE THE GROWTH CURVE FOR MURRAH BUFFALO RAISED IN LOWLANDS IN THE STATE OF RIO GRANDE DO SUL

ABSTRACT

With the objective of adjusting classical nonlinear models to assess the weight gain of buffalo raised in lowlands in the state of Rio Grande do Sul, Brazil, monthly readings taken between birth and two years of age were used from 64 males born between 1982 and 1989, a total of 1,664 weight-age pairs of data. The Von Bertalanffy, Brody, Gompertz and Logistic models were used in the study. The parameters were estimated by the NLIN procedure, SAS *software* (2001). All the models overestimated weight at birth. The criteria used to check the fit of the models were: asymptotic standard deviation, coefficient of determination, mean absolute deviation and the asymptotic index. The Von Bertalanffy and Brody models led to overestimated asymptotic weight, whereas the Gompertz and Logistic models underestimated this parameter. The lowest asymptotic standard deviation was estimated by the Brody model, which represents a higher coefficient of determination. However, this model presented the largest average absolute error. The phenotypic correlation between the estimates obtained for the weight asymptotic (A) and the maturation rate (K), obtained by the model Logistic, was -0.55, confirming the antagonism between them, since animals that are more mature weight have low growth rate. Considering all the criteria, the Logistic model presented the best adjustment followed by the Gompertz and Von Bertalanffy.

Keywords: asymptotic weight, buffalo, floodable lands, maturation rate

INTRODUÇÃO

Os búfalos foram introduzidos no Brasil há pouco mais de um século, e adaptaram-se bem, tanto ao sistema extensivo em áreas alagadas na região Norte, quanto ao pastejo em áreas de cerrado na região Sudeste (AMARAL & ESCRIVÃO, 2005). Estes animais são extremamente adaptados as condições da Amazônia em relação ao clima e aos tipos de pastagens disponíveis, tanto nas várzeas quanto em terra firme, produzindo em locais onde nenhum outro animal doméstico seria capaz de produzir. Talvez por este argumento, as pesquisas relacionadas aos búfalos não tenham, até hoje, um caráter mais arrojado, mais inovador, com a aplicação de métodos e de ferramentas modernas.

A Região Sul apresenta o maior índice de crescimento da população de bubalinos, sendo o Rio Grande do Sul o estado onde a criação mais cresce no país. O plantel está estimado em cerca de 300 mil cabeças. No Estado as pesquisas com a espécie começaram em 1981, com os primeiros búfalos oriundos do Pará (DAMÉ, 1989). Desde então a Embrapa Clima Temperado desenvolve trabalhos em várias áreas (produção, reprodução, sanidade, alimentação e manejo).

Diante deste cenário e para que essa atividade torne-se competitiva, tanto nacional quanto internacionalmente, é necessário que sejam procedidas mudanças nos sistemas de produção, visando o aumento da produtividade e a melhoria da qualidade do produto ofertado (GIANLORENÇO et al., 2003). Neste sentido, os recursos do melhoramento genético animal, atuando por meio da seleção, podem contribuir para o aumento da produtividade, levando a alterações nas frequências gênicas das características de interesse, nas próximas gerações.

Com isso, as análises de dados de medidas repetidas se mostram de grande importância no melhoramento genético, pois incluem as situações em que as unidades experimentais ou indivíduos, de diferentes subpopulações ou tratamentos (sexo, raça, entre outros), são analisados ao longo de diversas condições de avaliação (tempo, doses etc). Entre essas análises, destacam-se as curvas de crescimento dos animais que relacionam os pesos (y) e as idades (t), por meio de modelos não-lineares que apresentam parâmetros com interpretação biológica (FITZHUGH JR., 1976).

Esses modelos são utilizados para descrever o crescimento do animal ao longo do tempo, o que possibilita avaliar os fatores genéticos e de ambiente que influenciam a forma da curva de crescimento e, desse modo, alterá-la por meio de seleção, identificando e selecionando animais com maior velocidade de crescimento, sem alterar o peso adulto, em

vez de selecionar animais cada vez maiores (OLIVEIRA et al., 2000; GARNERO et al., 2005, 2006).

Enquanto para bovinos (DOREN et al., 1989; OLIVEIRA et al., 2000; GARNERO et al., 2005, 2006), ovinos (McMANUS et al., 2003; SARMENTO et al., 2006), trutas (McKAY et al., 2002) e outros animais (FREITAS, 2005), são encontrados vários estudos recentes sobre curvas de crescimento, raros são os relatos para bubalinos. Salama e Schalles (1992) estudaram a curva de crescimento de búfalos (*Bubalus arnee*) no Egito, sob modelo não linear com uso do peso ao nascer e não do peso adulto (ou peso assintótico) e encontraram taxas de crescimento superiores nos machos. Nogueira et al. (1998) estimaram parâmetros da curva de crescimento (modelo Brody) para 99 machos e 112 fêmeas da raça Mediterrâneo (*Bubalus bubalis*), criados para a produção de carne. Observaram que o modelo Brody subestimou os pesos dos animais aos 720 dias de idade, mesmo apresentando um bom ajuste do modelo aos dados. Para búfalos da raça Jafarabadi, Gimenez et al. (2004) testaram 14 modelos de regressão, concluindo que a equação de regressão logarítmica descrevia de maneira satisfatória a curva de crescimento dos animais. Malhado et al. (2008) concluíram que o modelo Logístico apresentou o melhor ajuste para descrever o crescimento de bubalinos da taça Murrah criados no Nordeste brasileiro, seguido dos modelos Gompertz e Von Bertalanffy.

Assim, objetivou-se com este trabalho estudar o ajuste de modelos não-lineares clássicos, Von Bertalanffy, Brody, Gompertz e Logístico, aos dados de crescimento de búfalos da raça Murrah criados em terras baixas no Estado do Rio Grande do Sul.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido na Estação Experimental de Terras Baixas da EMBRAPA Clima Temperado, localizada no município do Capão do Leão, na região litoral Sul do Rio Grande do Sul, tendo como altitude média 13,24 metros e coordenadas geográficas 31° 52'00" de latitude sul e 52°21'24" de longitude oeste (DAMÉ, 1989). O solo predominante caracteriza-se por ser do tipo Glei Húmico, sendo pobremente drenado. O clima predominante na região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical de verão subúmido com o resto do ano úmido e superúmido. A temperatura média anual é de 17,5°C, sendo janeiro o mês mais quente (23°C) e julho o mais frio (11,9°C). A média anual de precipitação pluviométrica é de cerca de 1200 mm (DAMÉ, 1989). A vegetação era composta por gramíneas (grama forquilha - *Paspalum notatum*, gramas boiadeiras - *Leersia hexandra*), e por espécies pertencentes às famílias das ciperáceas e juncáceas (DAMÉ, 1989).

O arquivo de dados correspondem a uma população de 67 machos, nascidos no período de 1982 a 1989, filhos de três reprodutores e 42 matrizes. Os pares de registro peso-idade foram obtidos por meio de pesagens periódicas (a intervalos de aproximadamente 28 dias), ocorridas do nascimento até os dois anos ou 750 dias de idade, totalizando 26 pesagens/macho e 1.664 observações. Os animais foram criados em áreas de terras baixas, dos quais um terço está sujeito a inundações periódicas e, o restante, formado por matas, que dificilmente ficam submersas

Foram avaliadas as características Peso Assintótico (A) que corresponde ao peso do animal a maturidade e a Taxa de Maturação (K) que caracteriza a velocidade em que o animal se aproxima do peso adulto. Estes parâmetros foram preditos utilizando quatro modelos matemáticos não-lineares clássicos os quais são apresentados na Tabela 01:

Tabela 01 – Modelos não lineares utilizados para descrever o padrão médio de crescimento e os parâmetros individuais dos animais

Modelo	Autor	¹ Equação
Von Bertalanffy	(von Bertalanffy, 1957)	$Y_t = A(1 - Be^{-Kt})^3 + \varepsilon$
Brody	(Brody, 1945)	$Y_t = A(1 - Be^{-Kt}) + \varepsilon$
Gompertz	(Laird, 1966)	$Y_t = Ae^{-Be^{(-Kt)}} + \varepsilon$
Logístico	(Nelder, 1961)	$Y_t = A(1 + e^{-Kt})^{-M} + \varepsilon$

¹sendo que: Y representa o peso do animal a uma determinada idade (t); B a constante de integração o qual está relacionado com os pesos iniciais (grau de maturidade do animal ao nascimento); M é o parâmetro que dá forma a curva; e é o logaritmo em base natural; ε representa o erro aleatório associado a cada pesagem.

Os parâmetros dos modelos foram estimados pelo algoritmo de *Gauss Newton* por meio do procedimento NLIN do *Statistical Analysis System – SAS for Windows* (SAS, 2001). No caso dos modelos não-lineares, segundo Sarmiento et al. (2006), não é possível resolver o sistema de equações formado diretamente, como ocorre no caso linear, uma vez que a resolução do sistema é dependente dos próprios parâmetros a serem estimados. Desta forma, usa-se um processo iterativo para obtenção das estimativas dos parâmetros, o qual começa com valores iniciais, atribuídos aos próprios parâmetros a serem estimados, calcula-se a soma

de quadrado do erro e, a cada passo, obtém-se um conjunto de estimativas atualizadas até o procedimento convergir para um vetor final de estimativas, obtendo-se a soma mínima de quadrados do erro.

Os critérios utilizados para selecionar o modelo de melhor ajuste a curva de crescimento foram: desvio padrão assintótico (DPA), calculado a partir da raiz quadrada do quadrado médio do resíduo de cada modelo; análise gráfica das curvas observadas e estimadas; coeficiente de determinação (R^2) calculado como o quadrado da correlação entre os pesos observados e estimados segundo Sampaio (2007) e o desvio médio absoluto dos resíduos (DMA) estatística proposta por Sarmiento et al. (2006), calculado como a seguir:

$$DMA = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|}{n}$$

em que Y_i é o valor observado; \hat{Y}_i , o valor estimado e n o tamanho da amostra. Quanto menor o valor do DMA, melhor o ajuste.

Para proceder à escolha do melhor modelo, foi criado um índice assintótico (IA) como descrito por Ratkowsky (1990) que combinou os critérios de DPA, DMA e R^2 , em que a maior estimativa de cada foi atribuída como valor máximo (100%) e os demais ponderados em comparação a este, com isso, quanto menor o IA melhor o ajuste do modelo.

Para melhorar o ajuste dos modelos, foram eliminados do arquivo original os animais que apresentaram valor assintótico, predito pelos modelos, maior que 2.500 kg.

Uma vez estabelecido o melhor modelo, calculou-se a taxa de crescimento absoluto (TCA), obtida a partir da primeira derivada do modelo ajustado, em função do tempo ($\partial Y/\partial t$), permitindo que se verifique graficamente a taxa de crescimento diário dos animais dentro da população (SARMENTO et al., 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O valor médio do peso ao nascimento – PN (Tabela 02) concorda com os $36,61 \pm 4,84$ kg relatados por Malhado et al. (2008) e aos $37,91 \pm 4,94$ obtidos por Jorge et al. (2005) para machos da raça Murrah, criados no centro-oeste do estado de São Paulo. Contudo, foi superior aos 31,90 kg reportados por Nascimento & Guimarães (1970) independente de sexo, para búfalos pretos. Por outro lado, Pacola et al. (1978), trabalhando com a raça Jafarabadi, encontraram 44,6 kg para esta característica, superior aos relatados no presente trabalho.

Segundo Jorge et al. (2005), o conhecimento de dados de peso ao nascimento, passando pelo conhecimento de desenvolvimento ponderal é muito importante para avaliarmos o potencial produtivo dos rebanhos. O peso ao nascimento e o desenvolvimento ponderal são características que indicam a capacidade de adaptação dos animais aos mais diversos fatores ambientais. De acordo com Nogueira et al. (1997), os bezerros bubalinos que apresentam pesos ao nascimento maiores, frequentemente, tendem a ganhar peso mais rapidamente antes e depois da desmama. Entretanto, as pesquisas com bubalinos relatam variações consideráveis, e são escassos quando se restringe a raça Murrah (JORGE et al., 2005). É interessante também, notar o restrito limite fisiológico inerente a esta característica, representado pelo valor do desvio-padrão, fato este extremamente importante para o monitoramento desta característica, evitando o nascimento de animais muito pesados, que estão relacionados com partos distócitos.

Tabela 02 – Análise descritiva de características ponderais do nascimento aos 750 dias de idade para machos da raça Murrah

Peso	¹ PN	² PD	³ P365	⁴ P550	⁵ P750
Média	39,89	233,77	294,89	336,40	439,78
Desvio-Padrão (kg)	5,38	52,24	52,68	51,69	59,98
Coefficiente de Variação (%)	11,92	10,95	11,86	11,37	10,69

¹PN = Peso ao Nascimento; ²PD = Peso a Desmama; ³P365 = Peso aos doze meses de idade; ⁴P550 = Peso referente a 550 dias de idade; ⁵P750 = Peso referente a 750 dias de idade.

O peso médio obtido ao desmame (PD) encontrado neste trabalho (Tabela 02), foi superior aos relatados por Nascimento et al. (1979) com animais no sétimo mês de vida (150,30 kg); aos 155,00 e 155,2 kg reportados por Pacola et al. (1979) e Tomar & Desai (1965), respectivamente para as raças Jafarabadi e Murrah.

Com relação ao peso médio aos doze meses de idade (294,89 kg), este foi superior ao 250,3 kg reportado por Gronein et al. (1959) e aos 213,40 kg por Nascimento et al. (1979).

Os pesos aos 550 (P550) e aos 750 (P750) dias de idade, encontrados neste trabalho, estão acima dos $326,13 \pm 39,27$ kg e $389,80 \pm 31,26$ kg (JORGE et al., 2005) e aos $317,17 \pm 82,55$ kg e $373,18 \pm 68,02$ kg (MALHADO et al., 2008), ambos para respectivamente os pesos aos 550 e 730 dias de idade, respectivamente.

Contudo, observando o coeficiente de variação, nota-se que todos os pesos apresentaram valores baixos, sendo esperados, visto que estes animais fazem parte de uma

população relativamente pequena, criada em condições semelhantes de ambiente e manejo. Assim, analisando o desenvolvimento ponderal deste rebanho e comparando aos relatos disponíveis na literatura, pode-se dizer, em um primeiro momento, que estes animais se adaptaram bem as condições climáticas encontradas na região do Estado do Rio Grande do Sul, onde foram criados.

Observou-se que três animais apresentaram peso assintótico (A) maior que 2.500 kg, sendo então, eliminados do arquivo original.

Os valores dos coeficientes de determinação - R^2 (Tabela 03) foram altos e iguais para todos os modelos utilizados no trabalho. Paralelamente, pequenas variações podem ser constatadas ao observar o DPA, em que o modelo Brody apresentou a menor variação e o modelo Logístico a maior. Porém, são variações de pequenas magnitudes impossibilitando qualquer conclusão sobre o melhor modelo de ajuste.

Tabela 03 - Estimativa dos parâmetros (A , B , K e M), com seus respectivos erros-padrão (ep), Desvio Padrão Assintótico em % (DPA), Coeficiente de Determinação em % (R^2), Desvio médio absoluto em % (DMA) e Índice Assintótico (IA) a partir dos modelos utilizados para búfalos da raça Murrah

Modelo	Estimativas dos Parâmetros \pm ep				DPA	R^2	DMA	IA
	A (kg)	B	K (kg/dia)	M				
Von Bertalanffy	454,5 \pm 5,8	0,4831 \pm 0,001	0,0041 \pm 0,00003	-	97,66	99,89	26,09	23,86
Brody*	607,0 \pm 21,0	0,9076 \pm 0,001	0,0024 \pm 0,00003	-	95,76	100	100	95,76
Gompertz	434,8 \pm 3,5	1,8543 \pm 0,005	0,0047 \pm 0,00004	-	98,70	99,89	18,34	17,15
Logístico	426,5 \pm 2,8	-	0,0069 \pm 0,00004	4,089 \pm 0,006	100	99,79	16,91	17,12

*Dois animais não atingiram convergência

Por outro lado, ao analisar o desvio médio absoluto – DMA (Tabela 03) nota-se que o maior valor foi estimado para o modelo Brody, em relação aos demais modelos, fato este corroborado pela Figura 03, indicando que este modelo não seria adequado para descrever a curva média para machos da raça Murrah. Com base neste critério, menores desvios podem ser observados entre o modelo Logístico e o Gompertz, seguido do modelo Von Bertalanffy.

O peso assintótico – A , que segundo Brown et al. (1976), não é necessariamente o peso adulto dos animais, mas sim o peso médio a ser atingido na fase adulta, independente

das condições sazonais. Os valores estimados por todos os modelos para este parâmetro (Tabela 03) foram inferiores aos relatados por Malhado et al. (2008), apresentando, conseqüentemente, maior taxa de maturação – K (GARNERO et al., 2005). Contudo, deve ser levado em consideração um viés causado pela não separação dos animais em função do sexo por estes autores. O modelo Brody foi a função que estimou o maior A (607 kg), ao passo que o menor valor foi obtido pelo modelo Logístico (426,5 kg), fato semelhante foi relatado por Malhado et al. (2008) e por outros autores em rebanhos bovinos (PEROTTO et al., 1992; OLIVEIRA et al., 2000).

O parâmetro K representa a taxa de maturidade e indica a velocidade de crescimento no sentido de atingir o peso assintótico a partir de seu peso inicial. Quanto maior o valor de K , mais rapidamente o animal se aproxima do seu peso assintótico, ou seja, maior a velocidade de seu crescimento (GARNERO et al., 2005). Animais com alto valor de K apresentam maturidade precoce em comparação com indivíduos de valor mais baixo de K . Como os pesos iniciais são aproximadamente iguais, a variação de K representa, com boa precisão, a velocidade relativa de crescimento do animal (GARNERO et al., 2005). O modelo Logístico estimou o maior valor para K (0,0069 kg/dia) e o menor foi obtido pelo modelo Brody (0,0024 kg/dia). A exemplo disso, Stewart & Martin (1981), para animais da raça Angus, obtiveram valores de K igual a 0,058 e 0,066 para a raça Shorthorn, e por Marshall et al. (1984) para animais da raça Red Poll (0,059). Barbosa et al. (2002) relataram valor de K igual a 0,056, utilizando o modelo Von Bertalanffy em rebanhos da raça Canchim. Garnerio et al. (2005), ao utilizar o modelo Brody para ajustar dados de fêmeas da raça Nelore, obtiveram valor médio para K igual a 0,0045 kg/dia. Todos estes resultados denotam o quão tardia esta espécie é em relação aos bovinos de uma forma geral.

Em ordem crescente, os modelos Brody, Von Bertalanffy, Gompertz e Logístico superestimaram o PN em 28,35; 29,14; 33,16 e 38,13 kg (Figuras 01, 02, 03 e 04). Segundo Freitas (2005), parece haver tendência dos modelos não lineares superestimarem os pesos iniciais, pois, em seu estudo sobre o crescimento de bovinos da raça Canchim, verificou que os modelos Brody, Von Bertalanffy, Gompertz e Logístico superestimaram esta característica. A possível causa da superestimação frequente desta característica está na utilização do peso assintótico para a estimação de todo o desenvolvimento ponderal dos animais dentro daquele intervalo predeterminado.

Observa-se que os modelos não-lineares Von Bertalanffy (Figura 01) e Brody (Figura 02) superestimaram todos os pesos observados.

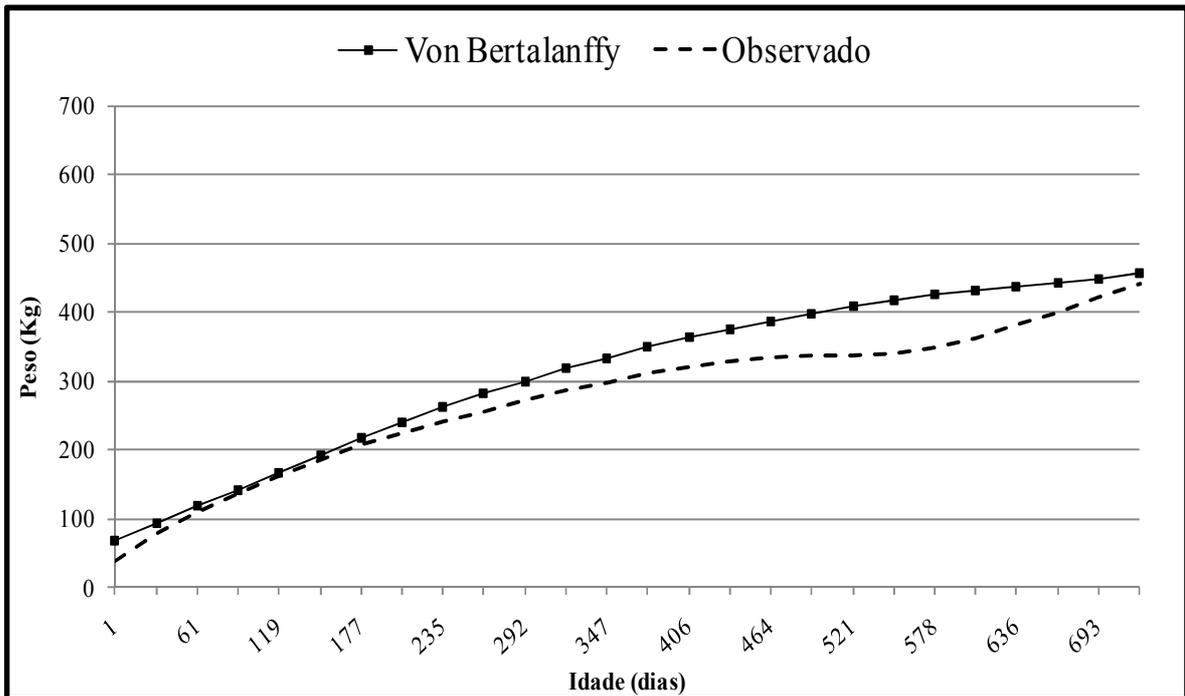


Figura 01 – Curvas de crescimento obtidas pela média dos pesos observados e pelos pesos preditos pelo modelo Von Bertalanffy nas diferentes idades

Para o modelo Von Bertalanffy, a maior superestimação ocorreu aos 578 dias de idade, em que o valor observado foi superestimado em 22%, o que representa 76,3 kg. Por outro lado, o melhor ajuste ocorreu aos 119 dias de idade, com superestimação de 4,5 kg, representando 3% do valor observado.

Ao analisar o modelo Brody, observa-se que a maior superestimação ocorreu aos 578 dias de idade, em que o valor observado foi superestimado em 60%, o que representa 210,1 kg.

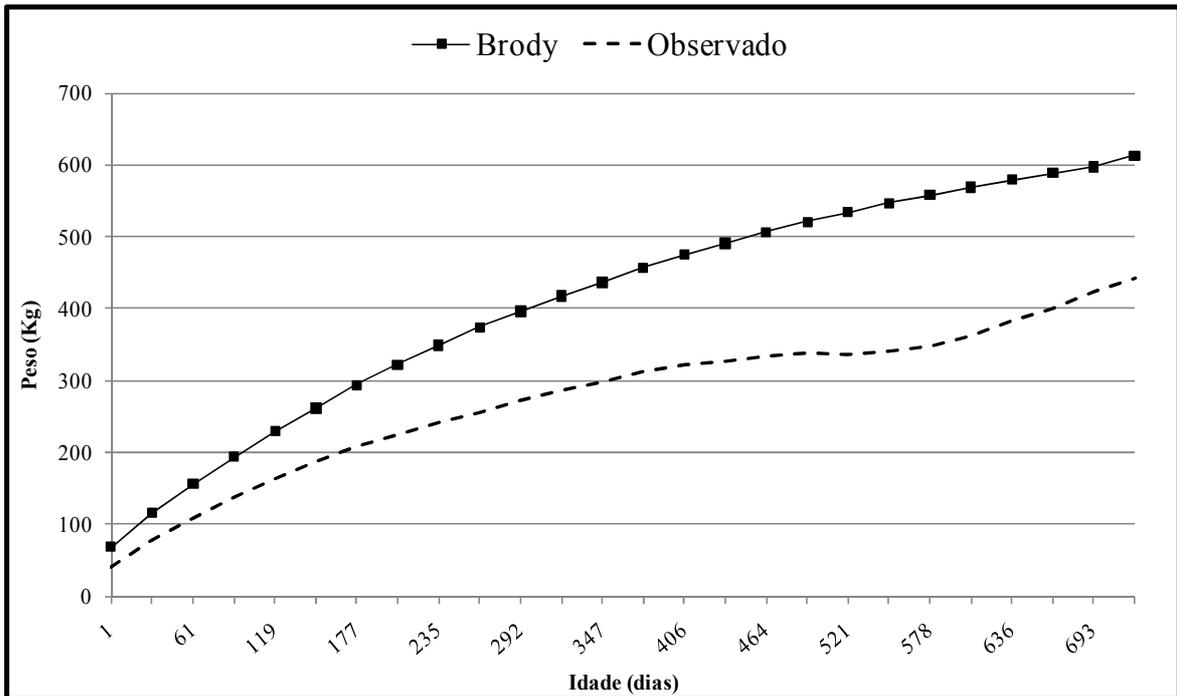


Figura 02 – Curvas de crescimento obtidas pela média dos pesos observados e pelos pesos preditos pelo modelo Brody nas diferentes idades

No período que antecedeu a desmama (177 dias de idade), o modelo Gompertz (Figura 03) subestimou o peso observado em 3,9 kg e o Logístico em 8,6 kg, representando 2% e 4,56%, respectivamente, e no P750 em que o modelo Gompertz subestimou esta medida em 7,37 kg e o modelo Logístico (Figura 04) em 15,7 kg, o que representa 1,7% e 3,5%, respectivamente, do valor observado.

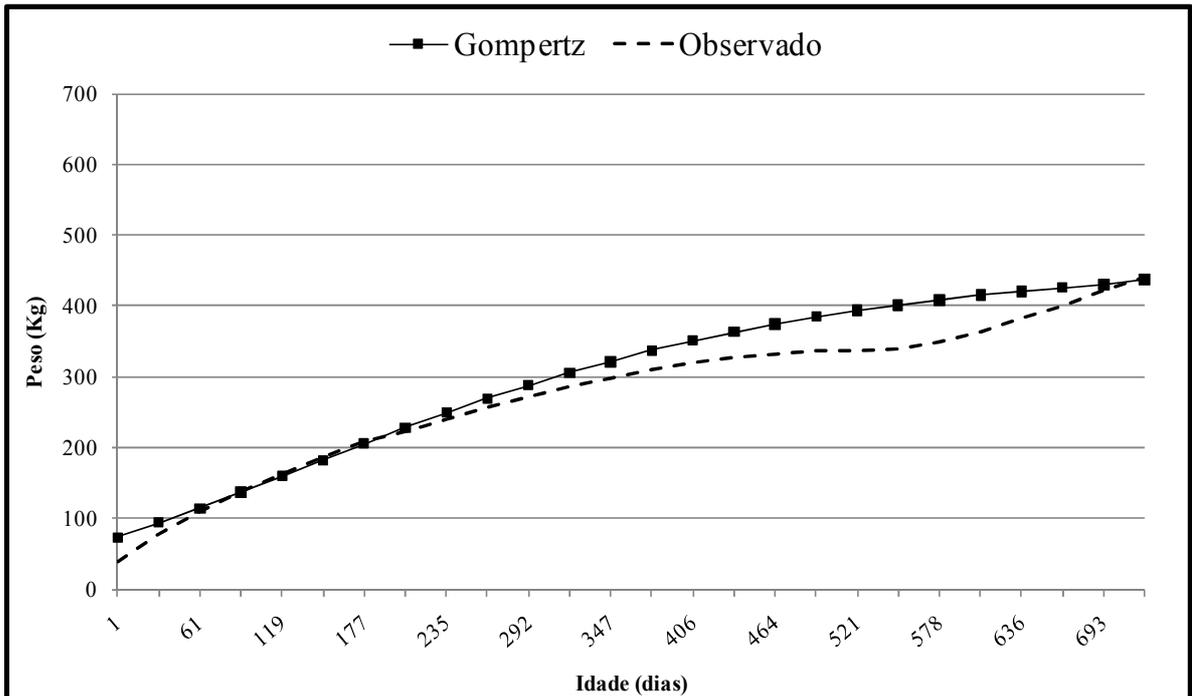


Figura 03 – Curvas de crescimento obtidas pela média dos pesos observados e pelos pesos preditos pelo modelo Gompertz nas diferentes idades

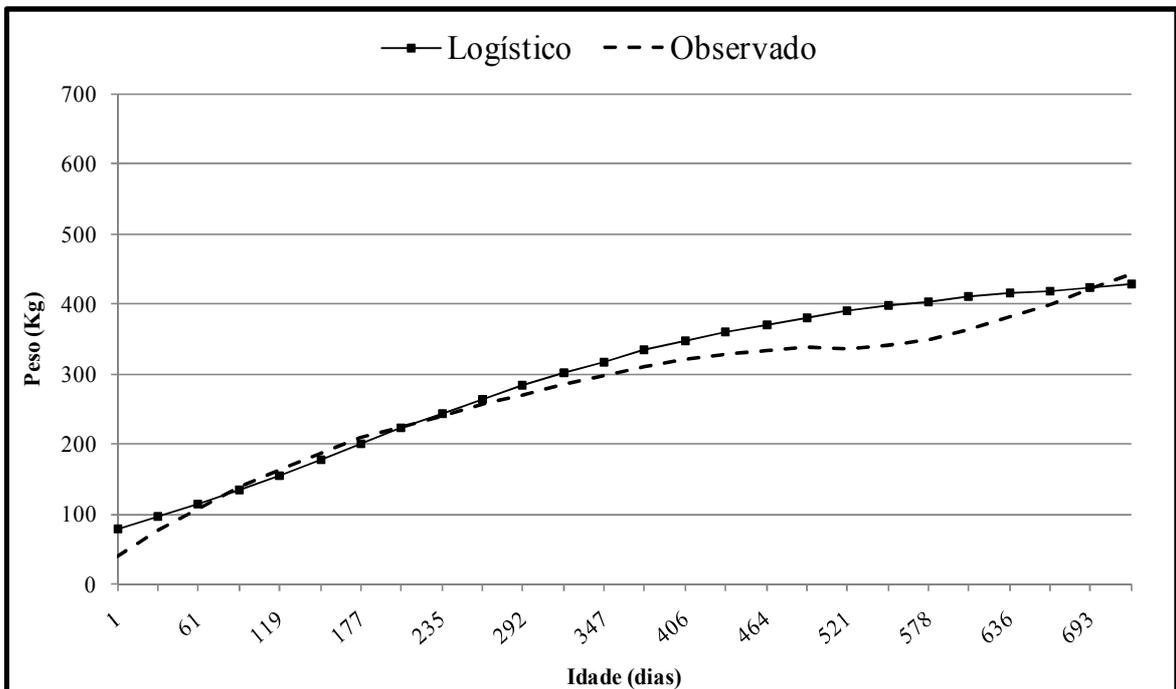


Figura 04 – Curvas de crescimento obtidas pela média dos pesos observados e pelos pesos preditos pelo modelo Logístico nas diferentes idades

Semelhantemente ao que ocorreu nos modelos Von Bertalanffy e Brody, os modelos Gompertz e Logístico superestimaram em maior grau a idade aos 578 dias. O modelo Gompertz superestimou esta medida em 17%, o que corresponde a 60 kg do peso observado, e o modelo logístico superestimou em 16%, correspondendo a 55,7 kg. Esta idade coincide com o segundo inverno dos animais e, diferentemente do primeiro, neste eles dependem somente do seu potencial para continuar ganhando/mantendo seu peso com a diminuição da oferta de forragem.

Com base no IA (Tabela 03) e na visualização do comportamento das curvas preditas (Figuras 01, 02, 03 e 04), verifica-se que o modelo Logístico, seguido do Gompertz e do Von Bertalanffy, foram os que melhor se ajustaram a curva de crescimento de machos bubalinos da raça Murrah. Estes resultados estão de acordo com os relatados por Malhado et al. (2008), os quais concluíram que o modelo Logístico apresentou o melhor ajuste na descrição da curva de crescimento para esta mesma raça criada no Nordeste brasileiro. Contudo, estes resultados são divergentes dos obtidos por Nogueira et al. (1998), os quais recomendaram o modelo Brody para descrever a curva de crescimentos para animais da raça Mediterrâneo.

A taxa de crescimento absoluto – TCA (Figura 05), originada em função do tempo a partir da primeira derivada dos parâmetros médios do modelo Logístico, foi crescente até o ponto máximo, em torno de 0,800 kg por dia ($K.A^{-1}$) decrescendo posteriormente com o aumento da idade. Observa-se que o ponto de inflexão, que representa a idade em que a curva muda de crescente para decrescente (ponto máximo), foi obtido aos 147 dias de idade (K^{-1}) com aproximadamente 186,28 kg (A^{-1}) evidenciando que a taxa máxima de crescimento foi obtida muito cedo.

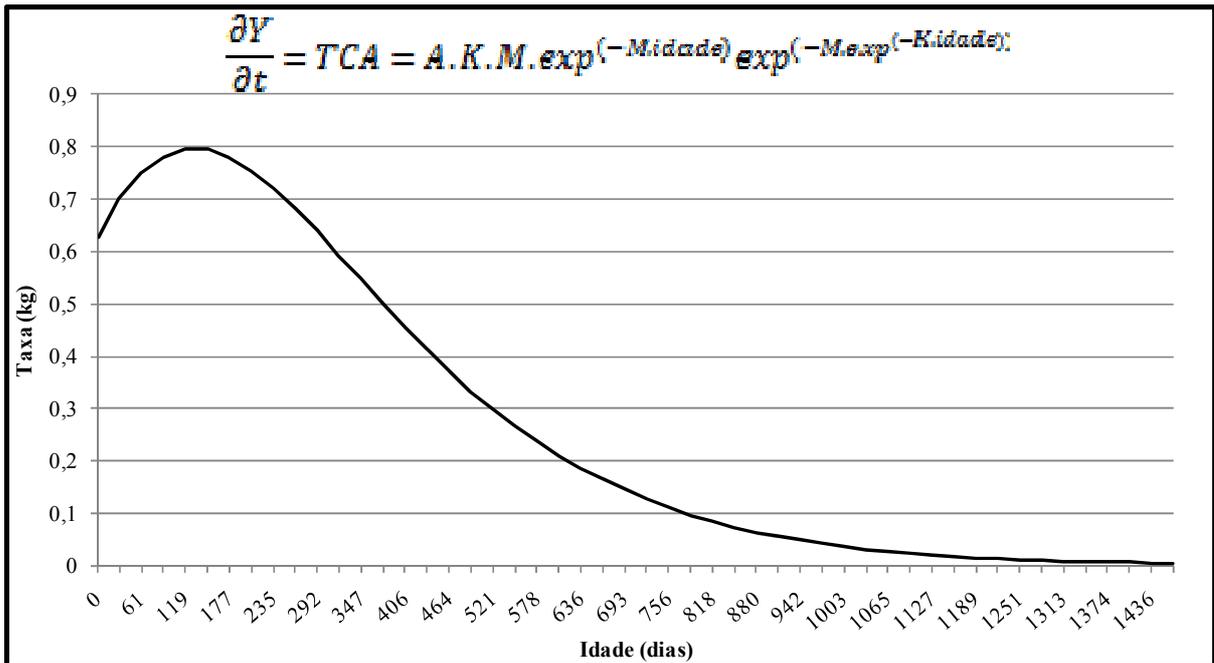


Figura 05 – Taxa de crescimento absoluto (TCA) predita pelo modelo Logístico

Sarmento et al. (2006) ressaltaram que este comportamento pode indicar que os animais se adaptaram ao ambiente a que foram expostos, adquirindo este tipo de padrão de crescimento, isto é, com taxa de crescimento maior em idades mais jovens e taxas lentas em idades posteriores, proporcionando menores pesos a maturidade.

Outra abordagem sobre este ponto de inflexão precoce pode estar associada a tendências para alcançar o *fitness*, pois com este padrão de crescimento, animais que possuem maiores exigências nutricionais em idade adulta não seriam favorecidos. Assim, este fato se torna perfeitamente compreensível biologicamente ao avaliarmos as condições climáticas a que estes animais foram submetidos, principalmente considerando que partes dos animais originou-se do Estado do Pará. Esse padrão de crescimento mostra que estes animais se adaptaram bem às condições ambientais a que foram expostos no extremo sul do Rio Grande do Sul.

A TCA no final do período estudado foi de 0,110 kg diários, mostrando que a partir de 40 meses de idade o ganho de peso é muito pequeno.

A Figura 06 representa curvas de crescimento de três animais com diferentes taxas de crescimento, tardio, mediano e precoce. Observa-se que a curva de crescimento que representa o tipo morfológico precoce inicia a desaceleração do crescimento muscular por volta dos 420 dias de idade (platô), e, conseqüentemente inicia maior deposição de gordura de acabamento. Esse processo ocorre no animal precoce de forma bem distinta quando

comparado aos outros dois biotipos, tanto na idade, que é mais jovem, quanto no peso vivo, que é também menor. Vale ressaltar que existem relatos na literatura que afirmam que a precocidade em deposição de gordura coincide fisiologicamente com a precocidade em maturação sexual (FRIES, 1996).

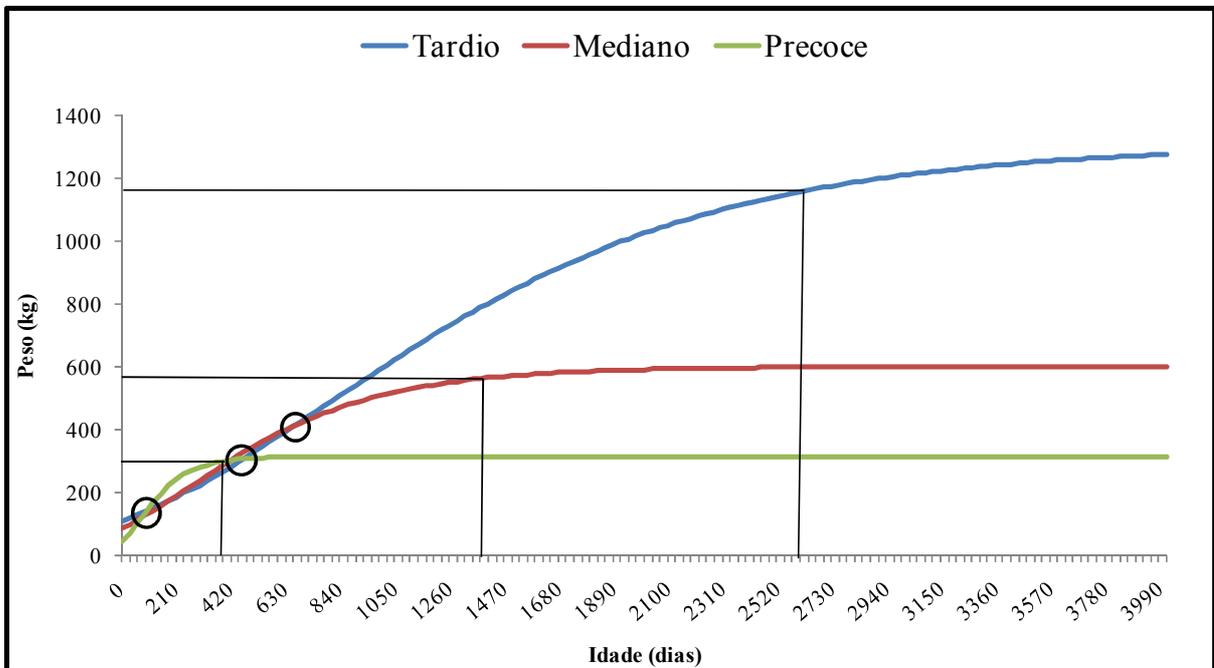


Figura 06 – Curva de Crescimento estimada pelo Modelo Logístico para três animais com diferentes taxas de crescimento

Os círculos em destaque na Figura 06 representam o momento em que as distintas curvas se cruzam. Nesses pontos os animais estão com o mesmo peso, logo poder-se-ia concluir que estes indivíduos são semelhantes, quando na realidade são tipos morfológicos completamente diferentes, permitindo que se obtenham conclusões errôneas ao se analisar somente a característica peso.

CONCLUSÕES

Com base nos critérios de ajuste e no comportamento das curvas preditas, recomenda-se o modelo Logístico para ajustar a curva de crescimento de búfalos da raça Murrah seguido dos modelos Gompertz e Von Bertalanffy. O modelo Brody não deve ser utilizado para ajustar a curva de crescimento da presente raça.

AGRADECIMENTOS

À EMBRAPA Clima Temperado, pela cessão do arquivo de dados e a CAPES pelo apoio financeiro para a execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, F. R. e ESCRIVÃO, S. C. Aspectos Relacionados à Búfala Leiteira. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**. Belo Horizonte, MG, v. 29, n. 2, p. 11–117, abril/jun. 2005. Disponível <http://www.cbra.org.br>
- 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**. v.54, n.5, p. 510-517, 2002.
- BRODY, S. Bioenergetics and growth. New York: **Rheinhold** Pub. Corp., 645p. 1945.
- BROWN, J.E.; FITZHUGH JUNIOR, H.A.; CARTWRIGHT, T.C. A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. **Journal of Animal Science**, v.42, p.810- 818, 1976.
- DAMÉ, M.C.F. **Puberdade em fêmeas bubalinas no Rio Grande do Sul**. 1989. 60 p. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) - Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1989.
- DOREN, P.E.; BAKER, J.F.; LONG, C.R.; CARTWRIGHT, T.C. Estimating parameters of growth curves of bulls. **Journal of Animal Science**. v. 67, n. 6, p. 1432-1445, 1989.
- FITZHUGH JR., H.A. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. **Journal of Animal Science**, v.42, n.4, p.1036-1051, 1976.
- FREITAS, A. R.; **Curvas de Crescimento na Produção Animal**. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.3, p.786-795, 2005.
- FRIES, L.A. Uso de escores visuais em programas de seleção para a produtividade em gado de corte. In: SEMINÁRIO NACIONAL - REVISÃO DE CRITÉRIO DE JULGAMENTO E SELEÇÃO EM GADO DE CORTE. 1996, Uberaba. **Anais...** Uberaba: Associação Brasileira de Criadores de Zebú, 1996. p.1-6.
- GARNERO, A. DEL V.; MARCONDES, C.R.; BEZERRA, L.A.F.; OLIVEIRA, H.N.; LOBO, R.B. Parâmetros genéticos da taxa de maturação e do peso assintótico de fêmeas da raça Nelore. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.57, n.5, p.652-662, 2005.
- GARNERO, A. DEL V.; MARCONDES, C. R.; GUNSKI, R. J.; OLIVEIRA, H. N.; LÔBO, R. B. Genetic trends in the expected progeny difference of the asymptotic weight of Nelore females. **Genetics and Molecular Biology**, v.29, n.4, p.648-652, 2006.
- GIANLORENÇO, V. K.; ALENCAR, M. M.; TORAL, F. L. B.; MELLO, S. P.; FREITAS, A. R.; BARBOSA, P. F. Herdabilidades e Correlações Genéticas de Características de Machos e Fêmeas, em um Rebanho Bovino da Raça Canchim. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.6, p.1587-1593, 2003 (Supl. 1).

- GIMENEZ, J.N.; RAMOS, A.A.; PICCININ, A.; MALHADO, C. H. GONÇALVES, H. C. Estudo da curva de crescimento em búfalos da raça Jafarabadi. In: Reunião Anual da SBZ, 41, Campo Grande: MS, 2004. **Anais...** Campo Grande: UFMS, 2004. (CD-ROM, resumo MELH 086, 3p.)
- JORGE, A.M.; ANDRIGHETTO, C; CASTRO, V.S. Desenvolvimento ponderal de bubalinos da raça Murrah criados em pastagem de *Brachiaria brizantha* no Centro-Oeste do Estado de São Paulo, Brasil. **Ciência Rural**, v35, n.2, p.417-421, 2005.
- LAIRD, A. K. Dynamics of relative growth. *Growth*, Bar Harbor, v.29, p.249-263, 1966
- MALHADO, C. H. M.; RAMOS, A. A.; CARNEIRO, P. L. S.; SOUZA, J. C.; WECHSLER, F. S.; ELER, J. P.; AZEVÊDO, D. M. M. R.; SERENO, J. R. B. Modelos no lineales para describir el crecimiento de bufalinos de la raza Murrah. **Archivos de Zootecnia**. v. 57, p.497-503, 2008.
- MARSHALL, T.E.; MOHLER, M.A.; STEWART, T.S. Relationship of lifetime productivity with mature weight and maturation rate in Red Poll cows. *Animal Production*., v.39, p.383-387, 1984.
- McKAY, L. R.; SCHAEFFER, L. R.; McMILLAN, I. Analysis of growth curves in rainbow trout using random regression. In: World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, 7, Montpellier, France, 2002. **Proceedings....** Montpellier, France (Session 06, Fish and shellfish breeding, Communication N° 06-11)
- McMANUS, C.; EVANGELISTA, C.; FERNANDES, L.A.C.; MIRANDA, R.M.; BERNAL, F.E.M.; SANTOS, N.R. Curvas de crescimento de ovinos bergamácia criados no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.5, p.1207-1212, 2003.
- NASCIMENTO, C.N.B.; GUIMARÃES, J.M.A.B. Fatores afetando o peso ao nascer de búfalos pretos. Belém: IPEAN. **Estudos sobre bubalinos**, v.1, n.2. p.41-57. 1970.
- NASCIMENTO, C.N.B.; SALIMOS, E.P.; MOURA CARVALHO, L.O.D.; LOURENÇO JÚNIOR, J.R. Peso ao nascer e desenvolvimento ponderal de búfalos em pastagem nativa. In: ENCONTRO SOBRE BUBALINOS, 1979, Araçatuba, SP. **Anais...** Araçatuba: Associação Brasileira de Criadores de Búfalos/UNESP/CATI/SBZ. p.218-219. 1979.
- NELDER, J. A. The fitting of a generalization of the logistic curve. **Biometrics**, v.17, p.89-94, 1961.
- NOGUEIRA, J.R. et al. Sistema de produção de bubalinos para carne em pastagens de capim colônia na região noroeste do estado de São Paulo. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, SP, v.54, n.1, p.25-32, 1997.
- NOGUEIRA, J. R.; LIMA, M. L. P.; GADINI, C. H.; SOARES, W. V. B. Estimativas de parâmetros de curvas de crescimento de búfalos da raça Mediterrâneo. In: Reunião Anual da SBZ, 35, Botucatu: SP, 1998. **Anais...** Botucatu: UNESP, p. 374-376, 1998.
- OLIVEIRA, H.N.; LÔBO, R.B.; PEREIRA, C.S. Comparação de modelos não lineares para descrever o crescimento de fêmeas da raça Guzerá. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.1843-1851, 2000.

PACOLA, L.J. et al. Desempenho de bubalinos em Sertãozinho (SP). **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, SP, v.35, n.2, p.135-141, 1978.

PACOLA, L.J.; NASCIMENTO, J. ; REICHERT, R.H.; RAZOOK, A.G. Desempenho de bubalinos em Sertãozinho, São Paulo. In: ENCONTRO SOBRE BUBALINOS, 1979, Araçatuba, SP. Anais... Araçatuba: Associação Brasileira de Criadores de Búfalos/UNESP/CAT/SBZ. p.160-161. 1979.

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**, v.72, p.773-782, 1992.

RATKOWSKY, D. A. **Handbook of nonlinear regression models**. New York and Basel, Marcel Dekker, p. 241, 1990.

SALAMA, M. A. M. e SCHALLES, R. P. Growth of water buffalo, *Bubalus arnee*. **Tropical Agriculture**. v. 69, n. 3, p. 239-242, 1992.

SAMPAIO, I. B. M. **Estatística aplicada à experimentação animal**. FEPMVZ. Edição: 3^a. Belo Horizonte. 2007.

SARMENTO, J.LR.; REZAZZI, 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**, v. 35, n.2., p.435-442, 2006.

SAS, **SAS user's guide: statistical**, Analysis System Institute, Inc., Cary, NC, 2001.

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

TOMAR, S.P.S.; DESAI, R.N. Factors influencing the inheritance of birth weigh of buffalo calves on military farms. **Indian Veterinary Journal**, v. 44, n.7 p.694-701,1967.

Von BERTALANFFY, L. Quantitative laws in metabolism and growth. **Quarterly Review of Biology**, v.32, p.218, 1957.

CAPÍTULO 03

COMPONENTES DE COVARIÂNCIAS ESTIMADOS POR METODOLOGIA BAYESIANA PARA PARÂMETROS BIOLÓGICOS OBTIDOS POR MODELOS NÃO LINEARES PARA BUBALINOS DA RAÇA MURRAH

COMPONENTES DE COVARIÂNCIAS ESTIMADOS POR METODOLOGIA BAYESIANA PARA PARÂMETROS BIOLÓGICOS OBTIDOS POR MODELOS NÃO LINEARES PARA BUBALINOS DA RAÇA MURRAH

RESUMO

Com o objetivo de estimar os componentes de (co)variâncias e os parâmetros genéticos dos parâmetros da curva de crescimento com interpretação biológica, utilizaram-se registros de 67 machos e 66 fêmeas pertencentes a um grupo de búfalos da raça Murrah criados em terras baixas no Estado do Rio Grande do Sul, nascidos no período de 1982 a 1989, filhos de três reprodutores e 42 matrizes. Para a estimação desses parâmetros foi utilizada metodologia Bayesiana através dos programas da Família BLUPF90. Foi adotada uma cadeia de dois milhões de rodadas com descarte inicial de cem mil amostras. As amostragens (a cada 500 ciclos – *thinning interval*) assim como as análises posteriores (*post-gibbs*) foram realizadas no programa POSTGIBBSF90. Os coeficientes de herdabilidade foram de elevada magnitude tanto para A quanto para K (0,57 e 0,34, respectivamente), indicando que a seleção poderia ser usada como instrumento para alterar a forma da curva de crescimento desses animais. Para a correlação genética, observa-se que a amplitude para o este coeficiente variou de -0,80 a 0,80, tendência esperada considerando a instabilidade da distribuição dos parâmetros A e K . Contudo, nota-se uma tendência trimodal desta distribuição, com a primeira moda entre -0,2 a -0,1, a segunda na região de maior densidade (0,01 a 0,02) e uma terceira entre 0,4 a 0,5, porém mais destacada próximo a zero. Entretanto, o uso dessas informações deve ser feito com grande cautela, uma vez que as características a serem trabalhadas na modificação do formato da curva de crescimento seriam negativamente correlacionadas, além também, da grande variabilidade das estimativas. Neste caso, os índices de seleção restritos poderiam ser utilizados com mais sucesso.

Palavras-chave: amostragem de gibbs, análise bayesiana, búfalos, curva de crescimento, parâmetros genéticos

**COVARIANCE COMPONENTS ESTIMATED BY BAYESIAN METHODOLOGY
FOR BIOLOGICAL PARAMETERS OBTAINED BY NONLINEAR MODELS FOR
BUFFALO BREED MURRAH**

ABSTRACT

With the objective of to estimate co variance components and genetic parameters for the parameters of the growing curve with biological interpretation, there were used records on 67 males and 66 females from a buffaloes herd of Murrah breed raised in lowlands in the State of Rio Grande do Sul, born from 1982 to 1989, sired by three males and 42 females. There was used Bayesian methodology with a program of the Family BLUPF90. There was adopted a chain of two million rounds with a initial of one hundred of samples. The samples (each 500 cycles - *thinning interval*), as the post analysis (*post-gibbs*) were analyzed in the program POSTGIBBSF90. The heritability coefficients presented elevated values for A and K (0.57 and 0.34, respectively), indicating that selection can be used to change the shape of the growing curve for this population. The genetic correlation ranged from -0.80 to 0.80, expected because of the instability of the distribution of the parameters A and K . The three modal tendency of this distribution with the first mode between -0.2 and -0.1, the second in the region of bigger density (0.01 to 0.02) and the third between 0.4 and 0.5, near to zero. However the utilization of this information must be done carefully because of the correlation between these traits is negative. In this case a restricted selection index must be used with more success.

Key words: Bayesian analysis, buffaloes, genetic parameters, gibbs samples,

INTRODUÇÃO

A necessidade de se conhecer o potencial genético do rebanho bubalino decorre da sua importância econômica, não apenas na Região Sul, mas em todo o país. Embora muitos trabalhos tenham sido realizados no país, com vistas a conhecer melhor os aspectos ligados à Bubalinocultura, há grande deficiência de informações sobre estimativas dos parâmetros genéticos na espécie. Associado a isso, o conhecimento do progresso genético alcançado pelos diferentes rebanhos é desconhecido, tanto por criadores que realizam a seleção de maneira empírica, como por aqueles que participam de programas de melhoramento genético (RAMOS et al., 2006).

Segundo Silveira (2001), o conhecimento de parâmetros genéticos é necessário para a estimativa de valores genéticos, na combinação de características em índices de seleção, na otimização de esquema de seleção, bem como na previsão de respostas a seleção. É imprescindível para fornecer informações que auxiliem na identificação de animais geneticamente superiores e na tomada de decisão quanto aos acasalamentos mais adequados, visando maior progresso genético nos programas de seleção.

Existem vários métodos para estimação dos componentes de (co)variâncias, entretanto, o mais utilizado atualmente é o método da Máxima Verossimilhança Restrita – REML (“*Restricted Maximum Likelihood*”), desenvolvido por Patterson e Thompson (1971). O REML fundamenta-se no princípio da maximização do logaritmo da função densidade de probabilidade das observações, que considera a perda de graus de liberdade dos efeitos fixos. Faria et al. (2007), relataram que o uso do método REML é foi intensificado pela disponibilidade de programas computacionais como o MTDFREML (BOLDMAN et al., 1995).

Outro método que vem sendo utilizado para a obtenção destes parâmetros e para a avaliação genética baseia-se na teoria Bayesiana, iniciada no século XVIII. A inferência Bayesiana utiliza métodos probabilísticos para descrever a incerteza sobre o verdadeiro valor de algum parâmetro (BLASCO, 2001), ou seja, consiste em descrever todos os erros que podem existir em torno de um parâmetro, usando como medida do erro a probabilidade do parâmetro apresentar valores dentro do intervalo de alta densidade *a posteriori*. No caso em que se necessita de uma estimação pontual de dado parâmetro pode-se usar a moda, a média ou a mediana (FARIA et al., 2007).

De acordo com GIANOLA et al. (1994), com o uso dos métodos frequentistas, obtêm-se somente estimativas pontuais da variância genética. Assim, diante de uma simples medida

de erro, que só teria sentido em amostras muito grandes, e diante de dados distribuídos de forma normal e em análises em que não há o conhecimento das médias e variâncias, haveria de se utilizar as estimativas da máxima verossimilhança como se fossem os parâmetros verdadeiros, ignorando o seu erro. As análises bayesianas, segundo Faria et al. (2007), permitem calcular a densidade marginal posterior do parâmetro de interesse e com tal distribuição quantifica-se exatamente o erro de um parâmetro desconhecido, apresentando maior precisão dos parâmetros estimados.

Devido à flexibilidade na aplicação dos modelos de análise, os métodos bayesianos vêm sendo utilizados como opção para soluções de problemas relacionados à avaliação de mérito genético em populações animais. A aplicação de métodos de integração numérica de Monte Carlo baseados em Cadeias de Markov (MCMC), dentre os quais se destaca a Amostragem de Gibbs (GS), permitiu a aplicação da inferência Bayesiana em modelos mais complexos. Por meio desse algoritmo é possível gerar amostras aleatórias de estimativas de parâmetros, a partir das denominadas distribuições posteriores conjuntas dos parâmetros. Dado um conjunto de observações e a distribuição inicial dos parâmetros, a distribuição posterior é proporcional ao produto das probabilidades das duas. A marginalização da distribuição posterior (realizada por meio dos métodos de MCMC) permite conhecer a distribuição posterior de cada parâmetro. Tal situação permite a aplicação da inferência Bayesiana no melhoramento animal (FARIA et al. 2007).

Assim, objetivou-se estudar os efeitos ambientais e estimar os componentes de (co)variâncias e os parâmetros genéticos sob enfoque Bayesiano, dos parâmetros da curva de crescimento com interpretação biológica, de búfalos da raça Murrah criados em terras baixas no Estado do Rio Grande do Sul.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados neste estudo foram fornecidos pela EMBRAPA Clima Temperado e correspondem a um grupo de 67 machos e 66 fêmeas, nascidos no período de 1982 a 1989, filhos de três reprodutores e 42 matrizes, criados na Estação Experimental de Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, localizada no município do Capão do Leão, na região litoral Sul do Rio Grande do Sul, tendo como altitude média 13,24 metros e coordenadas geográficas 31° 52'00" de latitude Sul e 52°21'24" de longitude Oeste (DAMÉ, 1989).

Foram avaliadas as características Peso Assintótico (A) que corresponde ao peso do animal à maturidade e a Taxa de Maturação (K) que caracteriza a velocidade em que o animal se aproxima do peso adulto. Estes parâmetros foram preditos utilizando o modelo Gompertz.

Estes parâmetros foram analisados utilizando-se os procedimentos GLM e CORR do SAS (2001) para determinação da influência de efeitos ambientais sobre a expressão desses parâmetros, além das correlações entre os mesmos.

O modelo estatístico aplicado aos parâmetros de interesse, separadamente, foi:

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + S_j + MN_j + AN_j + CIBP_k + \varepsilon_{ijk}$$

em que: Y_{ijk} = estimativa dos parâmetros A e K ; μ = média geral; R_i = efeito do reprodutor i ; S_j = Sexo do animal j ; MN_j = mês de nascimento do animal j ; AN_j = Ano de nascimento do animal j ; $CIBP_k$ = Classe da Idade da Búfala k ao Parto; ε_{ijk} = erro aleatório associado a cada pesagem.

A classe da idade da búfala ao parto (CIBP) foi distribuída em cinco níveis: búfalas com menos de 45 meses, classe 1; entre 46 e 60 meses, classe 2; entre 61 e 80 meses, classe 3; entre 81 e 105 meses, classe 4; e acima 106 meses, classe 5.

Para a estimação dos parâmetros genéticos e correlações genéticas, sob enfoque Bayesiano, foram utilizados os programas de análise disponíveis em (<http://nce.ads.uga.edu/~ignacy/>). O arquivo de parâmetros foi, inicialmente, submetido ao programa RENUMF90. Neste arquivo, os valores iniciais foram obtidos por meio de análises frequentistas bicaráter através do programa REMLF90. Para evitar a obtenção de uma matriz positiva não definida, pela fixação das covariâncias, foi aplicado, às respectivas matrizes o PROC IML do SAS (SAS, 2001), para assim, proceder aos ajustes necessários nos valores das variâncias.

Nesta análise, foi adotado um modelo animal que apresentava como aleatórios os efeitos genéticos aditivos diretos e residuais e como fixos os efeitos do mês e o ano de nascimento do animal, além do efeito de sexo aplicado somente para o parâmetro K .

Em termos matriciais, as Equações de Modelos Mistos para obtenção dos BLUP (Melhor Predição Linear não Viesada), podem ser descritas como:

$$y = X\beta + Za + \varepsilon,$$

em que; y = vetor das observações de cada característica (A e K); X = matriz de incidência dos efeitos fixos; β = vetor dos efeitos fixos; Z = matriz de incidência do efeito genético

direto de cada animal; a = vetor de efeitos genéticos diretos aleatórios; ε = vetor de efeitos residuais aleatórios.

As pressuposições do modelo foram: $E[y] = Xb$; $\text{Var}(a) = A \otimes \Sigma_a$; $\text{Var}(\varepsilon) = I_N \otimes \Sigma_\varepsilon$, em que Σ_a = matriz de covariâncias genética aditiva direta entre as características; Σ_ε = matriz de covariâncias residuais; A = matriz de parentesco; I = matriz identidade; N = número de animais com registros; e \otimes = produto direto entre matrizes.

Em seguida, as estimativas dos componentes de (co)variâncias foram obtidas utilizando ao programa GIBBSF90, que usa metodologia Bayesiana para características contínuas. Nesta análise, foi implementada uma cadeia de dois milhões de rodadas com descarte inicial de cem mil amostras. As amostragens (a cada 500 ciclos – *thinning interval*) assim como as análises posteriores (*post-gibbs*) foram realizadas no programa POSTGIBBSF90 (TSURUTA et al., 2006), resultando em 3.800 amostras. As saídas foram trabalhadas utilizando o pacote estatístico SAS (2001), para calcular as estimativas de herdabilidade (h^2_a) e as correlações genéticas (r_g), segundo Pereira (2008), bem como obter a Região de Credibilidade a 95% para a h^2_a e r_g . O arquivo gerado pelo SAS foi submetido a análises pelo programa GIBANAL (Van KAAM, 1997), para a estimação da correlação serial entre as amostras além da obtenção das densidades marginais posteriores para edição dos gráficos da distribuição posterior das h^2_a da característica peso assintótico e da taxa de maturação e a r_g entre elas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o peso assintótico (A), a análise de variância (Tabela 01) mostrou como não significativos os efeitos de Sexo e CIBP. O sexo não teve influência, possivelmente, dada a pequena diferença no peso assintótico de machos e fêmeas. Quanto à CIBP, observou-se desigualdade na distribuição de frequência. Por outro lado, os demais efeitos foram significativos a $P < 0,0001$, incluindo o efeito aleatório de reprodutor, que pode ser explicado pelos fatores genéticos e comprovados pelas médias *a posteriori*, pelas estimativas dos componentes de (co)variâncias. A contribuição do mês de nascimento para a variação total foi de aproximadamente 32% para o parâmetro A , mostrando ser um efeito importante e que deve ser levado em consideração para o estudo de crescimento de búfalos.

Tabela 01 – Análise de Variância (sob método GLM) para as características Peso Assintótico (*A*) e Taxa de Maturação (*K*) estimados pelo modelo Gompertz

Característica	FV	GL	SS	F	P
<i>A</i>	Reprodutor	2	432814,99	59,65	<0,0001
	Sexo	1	1,5199	0,01	0,9885
	Mês_MN	10	48278,36	6,65	<0,0001
	Ano_AN	3	215205,19	29,66	<0,0001
	CIBP	4	5540,39	0,76	0,5519
<i>K</i>	Reprodutor	2	0,0481	4,02	0,0483
	Sexo	1	0,0840	7,02	0,0096
	Mês_MN	10	0,4449	3,71	0,0004
	Ano_AN	3	0,2375	6,61	0,0005
	CIBP	4	0,0235	0,49	0,7430

Mês_MN = mês de nascimento do animal; Ano_AN = ano de nascimento do animal; CIVP = Classe da Idade da Vaca ao Parto; SS = Soma de Quadrados

Para o taxa de maturação (*K*), somente a CIBP não foi significativa ($P < 0,7830$) pois assim como para *A*, houve desigualdade nas classes quanto à distribuição de frequências.

Vale destacar que o sexo foi significativo para o parâmetro *K*, demonstrando que existe diferença na taxa de crescimento de animais de sexos diferentes. Assim a não separação dos animais em função deste efeito acrescentaria um viés que inviabilizaria o ajuste de um modelo ao padrão de crescimento dos animais.

A correlação fenotípica entre os parâmetros *A* e *K* (Tabela 02) foi negativa, concordando com resultados obtidos em estudos da curva de crescimento para ovinos (McMANUS et al., 2003; SARMENTO et al., 2006; MALHADO et al., 2008a), para bovinos (OLIVEIRA et al., 2000; GARNERO et al., 2006) e para bubalinos (MALHADO et al., 2008b). A explicação seria que animais com maiores taxas de crescimento têm menor probabilidade de atingir maiores pesos a maturidade que aqueles que crescem mais lentamente no início da vida, assim animais mais pesados teriam menores taxas de crescimento.

Tabela 02 – Correlações Fenotípicas entre os parâmetros A e K , preditos pelo modelo Gompertz com os pesos do nascimento aos 750 dias de idade

A	K	Peso					
		PN	PD	P365	P550	P750	
A	-	-0,63*	-0,03	-0,01	-0,38	-0,001	0,29
K	-	-	0,02	0,32	0,58*	0,31	-0,34

PN = Peso ao Nascimento; PD = Peso a Desmama; P365 = Peso aos 365 dias de idade; P550 = Peso aos 550 dias de idade; P750 = Peso aos 750 dias de idade

*significativo a $P < 0,0001$

A única correlação positiva entre o parâmetro A com os pesos foi à idade de 750 dias (P750), contudo não houve significância estatística entre estas estimativas, resultado não esperado visto que a seleção para maiores pesos tende, indiretamente, a selecionar maiores peso a maturidade.

Por outro lado, para o parâmetro K , a correlação foi positiva e crescente até peso à um ano de idade (P365), decrescendo posteriormente até chegar a ser negativa ao P750, evento perfeitamente compreensível visto ser negativa a correlação entre os parâmetros A e K , assim, quanto maior a taxa de maturação maior será o crescimento inicial, atingindo um P365 maior, tendendo a estabilizar após este período. Biologicamente, segundo McManus et al. (2003), a relação mais importante para uma única curva é entre os parâmetros A e K .

Nos componentes de variância estimados para os parâmetros da curva, com maior significado biológico (A e K), houve ampla variação, o que confirma as estatísticas básicas apresentadas na Tabela 03.

Tabela 03 – Correlação Serial (Correl. Serial), Média (Me), Moda (Mo), Mediana (Med), valor mínimo (Min) e valor máximo (Max) para as variâncias genéticas aditivas (va) obtidas para as características Peso Assintótico (A) e Taxa de Maturação (K)

Característica	Correl. Serial	Variância Aditiva (va)				
		Me	Mo	Med	Min	Max
A	0,081	9800	8766	9093	10	29750
K	0,018	0,024	0,002	0,001	0,000	2,301

Considerando que a correlação serial indica o grau de informação fornecido por cada amostra para a média *a posteriori*, ou seja, refere-se à parte da medição das amostras

relacionadas ao tempo de variação do efeito estocástico causador da correlação entre as observações dentro de um curto intervalo de tempo, tal efeito é menos correlacionado quando as medições forem mais espaçadas, assim deseja-se que as amostragens forneçam a menor correlação possível. Neste sentido, a análise adotada foi suficiente para atingir os critérios de convergência e para minimizar os efeitos causados por esta variação.

Tabela 04 – Correlação Serial (Correl. Serial), Média (Me), Erro-Padrão (EP), Moda (Mo), Mediana (Med), valor mínimo (Min) e valor máximo (Max) das estimativas de herdabilidade (h^2_a) obtidas para características Peso Assintótico (A) e Taxa de Maturação (K)

Característica	Correl. Serial	Herdabilidade (h^2_a)					
		Me	EP	Mo	Med	Min	Max
A	0,086	0,574	0,311	0,653	0,599	0,01	0,99
K	-0,01	0,341	0,266	0,495	0,589	0,01	0,99

Os coeficientes de herdabilidade foram de elevada magnitude para os parâmetros estudados (Tabela 04), o que indica que a seleção poderia ser usada como instrumento para alterar a forma da curva de crescimento desses animais. Entretanto, o uso das informações obtidas nos rebanhos estudados em um programa de melhoramento genético visando a alteração da curva de crescimento dos animais, deve ser feito com grande cautela, uma vez que as características a serem trabalhadas na modificação do formato da curva de crescimento (peso assintótico e taxa de maturação) seriam negativamente correlacionadas (FITZHUGH JR., 1976), além também, da grande variabilidade das estimativas. Neste caso, os índices de seleção restritos poderiam ser utilizados com mais sucesso (ROSA et al., 1979; ATCHLEY et al., 1997; DZAMA et al., 2001; SANTORO et al., 2005). Brown et al. (1976) destacaram que a taxa de maturidade (K) poderia ser o único parâmetro disponível para o trabalho da indústria.

Estes coeficientes foram superiores aos 0,39 estimados para o parâmetro A por Garnero et al. (2005), aos 0,28 obtidos por Silva et al. (2002) e aos 0,04 estimados por Ludwig (1977), todos para animais da raça Nelore, mas compatíveis aos relatados por Santoro et al. (2005) em estudo de curvas de crescimento em espécies bovinas, os quais encontraram valores de herdabilidade variando de 0,21 a 0,57.

Para o parâmetro K , o valor descrito neste trabalho foi semelhante aos 0,39 publicados por Garner et al. (2005) e aos 0,36 relatados por Silva et al. (2002) ambos para animais da raça Nelore, mas inferior aos 0,64 obtidos por Santoro et al. (2005) para rebanhos da raça Guzerá. Por outro lado, Oliveira (2000), estudando o crescimento de fêmeas da raça Guzerá, concluíram que a taxa de maturidade apresentou baixa herdabilidade (0,08), utilizando a função de Von Bertalanffy, valor este inferior aos relatados no presente trabalho.

O reduzido número de trabalhos publicados para bubalinos e o reduzido número de trabalhos sobre a herdabilidade para os parâmetros de curvas de crescimento de modelos não-lineares para raças bovinas, impossibilitaram uma análise comparativa mais aprofundada dos resultados.

As Regiões de Credibilidade a 95% para os coeficientes de herdabilidade apresentaram considerável variação (Tabela 05), destacando-se, no entanto, valores expressivos para ambas as características, o que já era esperado, visto a grande amplitude das estimativas visualizadas na Tabela 04.

Tabela 05 – Região de Credibilidade a 95% para as variâncias genéticas aditivas (v_a), herdabilidades direta (h^2_a) e correlação genética (r_g) entre as características estudadas

Característica	*RC a 95% (v_a)	*RC a 95% (h^2_a)	*RC a 95% (r_g)
A	2515 a 16610	0,10 a 0,95	
K	0,0001 a 0,0911	0,01 a 0,92	-0,61 a 0,38

*Região de Credibilidade (limite inferior igual a 2,5% e superior igual a 97,5%)

As Figuras 01 a 03 ilustram graficamente a distribuição das estimativas de herdabilidade direta para a característica A , K e a correlação genética entre elas. Analisando-se o parâmetro A (Figura 01) nota-se ampla distribuição da densidade *a posteriori*, com o valor modal próximo a 0,60. Apesar do reduzido número de animais na matriz de parentesco foi possível detectar variabilidade genética, pois os fatores ambientais estavam, até certo ponto, mais controlados por se tratar de um grupo de animais envolvidos em experimentação. O incremento no arquivo de dados e de genealogia permitiria uma melhor estrutura na matriz de parentesco e, conseqüentemente, estimativas menos heterogêneas.

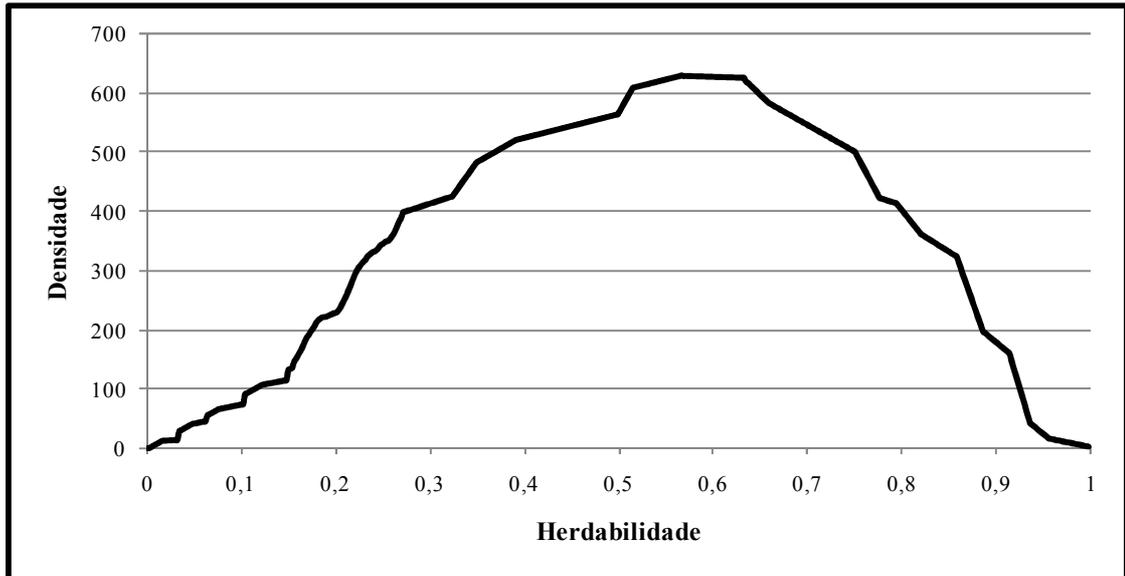


Figura 01 – Distribuição da densidade da média *a posteriori* da herdabilidade do Peso Assintótico (*A*)

Para o parâmetro *K* (Figura 02), pode-se observar que, semelhantemente ao parâmetro *A*, a maior concentração da densidade ficou próxima a 0,50, contudo, esta distribuição apresentou menor amplitude em relação ao *A* que, conseqüentemente, menor erro-padrão.

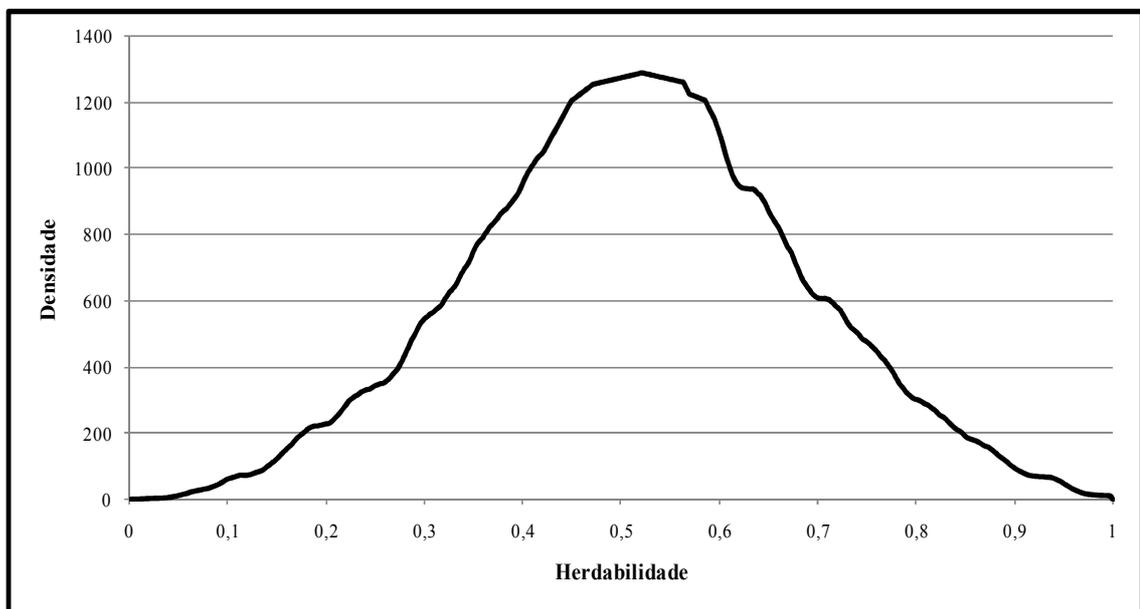


Figura 02 – Distribuição da densidade da média *a posteriori* da herdabilidade para a Taxa de Maturação (*K*)

Para a correlação genética (Figura 03), observa-se que a amplitude para o este coeficiente variou de -0,80 a 0,80, com média igual a -0,1 tendência esperada considerando a

instabilidade da distribuição dos parâmetros A e K . Contudo, nota-se uma tendência trimodal desta distribuição, com a primeira moda entre $-0,2$ a $-0,1$, a segunda na região de maior densidade ($0,01$ a $0,02$) e uma terceira entre $0,4$ a $0,5$, porém mais destacada próximo a zero. Entretanto, visto ser comprovado o antagonismo genético entre os efeitos desses parâmetros (GARNERO et al., 2006), era esperado que essa densidade estivesse concentrada em uma magnitude negativa.

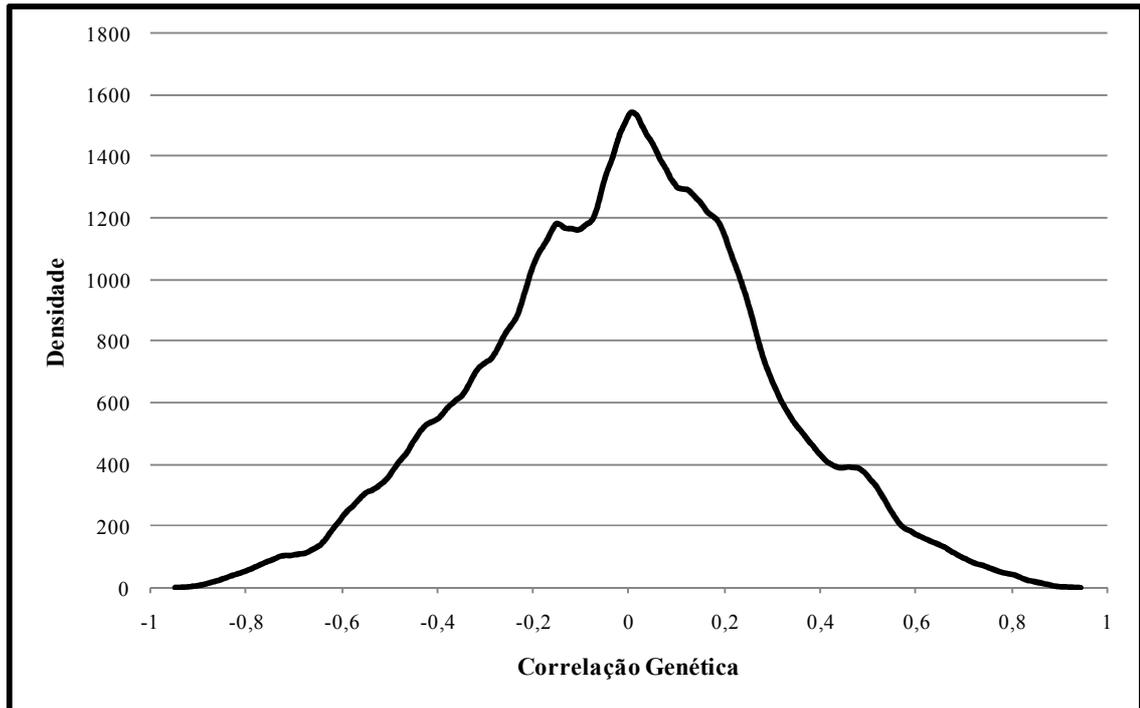


Figura 03 – Distribuição da densidade *a posteriori* da correlação genética entre o Peso Assintótico (A) e a Taxa de Maturação (K)

A correlação genética encontrada por Silva et al. (2002), entre os parâmetros A e K foi alta e negativa ($-0,86$), confirmando a ocorrência de um antagonismo entre as estimativas desses parâmetros; portanto, concluíram que ao se selecionar animais buscando maior taxa de maturidade (mais precoces), obtêm-se animais de menor peso adulto, aumentando, assim, a eficiência do rebanho, o que concorda com Elias (1998), que encontrou $-0,92$ estudando a função de Brody ponderada para animais Nelore, Gir e Guzerá.

Com a estrutura genealógica frágil, apresentada no grupo estudado, os reprodutores que não apresentavam conectabilidade acabaram sendo considerados como animais fundadores, o que significa considerar nas estimativas baseadas somente no desempenho individual. Reverter & Kaiser (1997) demonstraram que a influência da proporção de indivíduos fundadores sobre o erro-padrão da herdabilidade não seria linear, como se acreditava, mas sim quadrático, de modo que o erro-padrão diminuiria com uma proporção de

fundadores de 5 a 30%, atingindo mínimo de 20 a 40%, e aumentaria com proporções acima de 40%.

Outros motivos seriam a baixa razão entre sexos, o pequeno número de descendentes por fundador (pequeno número de filhos por vaca) e a ausência de informação de produção para os animais fundadores (MALLINCKRODT et al.,1997; REVERTER & KAISER, 1997). Com isso, novamente, novas estruturas genealógicas são necessárias a fim de aumentar a conexão dos animais e permitir predições mais confiáveis.

CONCLUSÕES

Os efeitos de mês e ano de nascimento do animal devem ser incluídos nos modelos de estudo da curva de crescimento para bubalinos.

Os coeficientes de herdabilidade para peso assintótico e taxa de maturação, de elevada magnitude, indicando que poderiam ser usados, com cautela, como critérios de seleção para alterar a forma da curva de crescimento desses animais.

Entretanto, a correlação fenotípica entre estes parâmetros, alta e negativa, sugere maior atenção nos critérios de seleção visando a curva de crescimento dos animais, favorecendo aqueles que cresçam rápido atingindo um peso assintótico não elevado.

AGRADECIMENTOS

À EMBRAPA Clima Temperado, pela cessão do arquivo de dados e a *CAPES* pelo apoio financeiro para a execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATCHLEY, W.T.; XU, S.; COWLEY, D.E. Altering developmental trajectories in mice by restricted index selection. **Genetics**, v.146, p.629-640, 1997.

BLASCO, A. The Bayesian controversy in animal breeding. **Journal of Animal Science**, v. 79, p. 2023-2046, 2001.

BOLDMAN, K. G.; KRIESE, L. A.; VAN VLECK, L. D.; VAN TASSELL, C. P.; KACHMAN, S. D. **A manual for of MTDFREML. A set of Programs to obtain estimates of variances and covariances (DRAFT)**. U.S.: Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 1995.

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

DAMÉ, M.C.F. **Puberdade em fêmeas bubalinas no Rio Grande do Sul**. 1989. 60 p. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) - Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1989.

DZAMA, K.; WALTER, J.P.; RUVUNA, F. et al. Index selection of beef cattle for growth and milk production using computer simulation modelling. **South African Journal of Animal Science**, v.31, n.2, p.65-75, 2001.

ELIAS, A.M. **Análise de curvas de crescimento de vacas das Raças Nelore, Guzerá e Gir**. 1998. 128 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens)-ESALQ. 1998.

FARIA, C. U.; MAGNABOSCO, C. U.; REYES, A. DE LOS; LÔBO, R. B.; BEZERRA, L. A. F. Inferência Bayesiana e sua aplicação na avaliação genética de bovinos da raça Nelore: Revisão Bibliográfica. **Ciência Animal Brasileira**, v. 8, n. 1, p. 75-86. 2007.

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.

GARNERO, A. DEL 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**, v.57, n.5, p.652-662, 2005.

GARNERO, A. DEL V.; MARCONDES, C. R.; GUNSKI, R. J.; OLIVEIRA, H. N.; LÔBO, R. B. Genetic trends in the expected progeny difference of the asymptotic weight of Nelore females. **Genetics and Molecular Biology**, v.29, n.4, p.648-652, 2006.

GIANOLA, D.; RODRIGUEZ-ZAS, S.; SHOOK, G. E. The Gibbs sampler in the animal model: a primer. In: FOULLEY, J. L.; MOLENAT, H. (Ed.). SÉMINAIRE MODELE ANIMAL. INRA Departament de Genetique Animale, La Colle sur Loup, France, p. 47-56, 1994.

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

MALHADO, C. H. M.; CARNEIRO, P. L. S.; SANTOS, P. F.; AZEVEDO, D. M. M. R.; SOUZA, J. C.; AFFONSO, P. R. M. Curva de crescimento em ovinos mestiços Santa Inês x Texel criados no Sudoeste do Estado da Bahia. *Revista Brasileira de Saúde Produção Animal*, v.9, n.2, p. 210-218. 2008a.

MALHADO, C. H. M.; RAMOS, A. A.; CARNEIRO, P. L. S.; SOUZA, J. C.; WECHSLER, F. S.; ELER, J. P.; AZEVÊDO, D. M. M. R.; SERENO, J. R. B. Modelos no lineales para describir el crecimiento de bufalinos de la raza Murrah. **Archivos de Zootecnia**. v. 57, p.497-503, 2008b.

MALLINCKRODT, C.H.; GOLDEN, B.L.; REVERTER, A. Approximate confidence intervals for heritability from method R estimates. **Journal of Animal Science**, v.75, p.2041-2046, 1997.

McMANUS, C.; EVANGELISTA, C.; FERNANDES, L.A.C.; MIRANDA, R.M.; BERNAL, F.E.M.; SANTOS, N.R. Curvas de crescimento de ovinos bergamácia criados no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.5, p.1207-1212, 2003.

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

PATTERSON, H. D.; THOMPSON, R. Recovery of inter-block information when block sizes are unuqual. **Biometrika**, London, v. 58, n. 3, p. 545-554, 1971.

RAMOS, A. A.; MALHADO, C. H. M.; CARNEIRO, P. L. S.; GONÇALVES, H. C.; AZEVEDO, D. M. M. R. Caracterização fenotípica e genética da produção de leite e do intervalo entre partos em bubalinos da raça Murrah. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.8, p.1261-1267. 2006.

REVERTER, A.; KAISER, C.J. The role of different pedigree structures on the sampling variance of heritability estimates. **Journal of Animal Science**, v.75, p.2355-2361, 1997.

ROSA, A.N.; SILVA, M.A.; MILAGRES, J.C. Mudança da curva de crescimento de animais da raça Nelore mediante o uso de índices de seleção. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 8,n.4, p.610-621, 1979.

SANTORO, K.R.; BARBOSA, S. B. P.; SANTOS, E. S.; BRASIL, L. H. A. Herdabilidades de Parâmetros de Curvas de Crescimento Não-Lineares em Zebuínos, no Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.6, p.2280-2289, 2005 (supl.).

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

SAS, **SAS user's guide: statistical**, Analysis System Institute, Inc., Cary, NC, 2001.

SILVA, F. F.; AQUINO, L. H.; OLIVEIRA, A. I. G. Estimativas de parâmetros genéticos de curva de crescimento de gado Nelore (*Bos indicus*). **Ciência e Agrotecnologia**. Edição Especial, p.1562-1567, dez., 2002.

SILVEIRA, J.C. **Estudo da influência de fatores genéticos e ambientais sobre as características produtivas e reprodutivas em bovinos Nelore no Estado de Mato Grosso do Sul**. 2001. 67p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília.

TSURUTA, S.; MISZTAL, I. THRGIBBS1F90 for estimation of variance component with threshold-linear models. In: WORLD CONGRESS ON GENETICS APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION, 8., 2006, Belo Horizonte. Anais..., Belo Horizonte, 2006.

Van KAAM, J.B.C.H.M.. Gibanal. Analyzing program for Markov Chain Monte Carlo sequences version 2.3. Netherlands. 1997.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS GERAL

- ABCB - **Associação Brasileira de Criadores de Búfalos**, 2007. Disponível em: <<http://www.bufalo.com.br/>> Acesso em: 21 de jul. 2009.
- AMARAL, F. R.; ESCRIVÃO, S. C. Aspectos Relacionados à Búfala Leiteira. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**. Belo Horizonte, v. 29, n. 2, p. 11–117, abr/jun. 2005. Disponível <http://www.cbra.org.br>
- ATCHLEY, W. T. et al. Altering developmental trajectories in mice by restricted index selection. **Genetics**, Austin, v. 146, n. 2, p. 629-640, Feb. 1997.
- 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, set./out. 2002.
- BLASCO, A. The Bayesian controversy in animal breeding. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 79, n. 8, p. 2023-2046, Aug. 2001.
- BOLDMAN, K. G. et al. **A manual for of MTDFREML. A set of Programs to obtain estimates of variances and covariances (DRAFT)**. Washington DC: Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 1995.
- BORGHESE A.; MAZZI, M. Buffalo population and strategies in the world. In: _____. **Buffalo production and research**. Rome: FAO Regional Office for Europe, 2005. p. 1-39 (REU Technical Series v. 67).
- BRASIL. Ministério da Fazenda. **Ministro da Fazenda, 1808-1983**. Rio de Janeiro, 1983.
- BRODY, S. **Bioenergetics and growth**. New York: Rheinhold Pub. Corp., 1945. 645 p.
- BROWN, J. E.; FITHUGH JUNIOR, H. A.; CARTWRIGHT, T. C. A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 42, p.810- 818, 1976.
- DAMÉ, M. C. F. **Puberdade em fêmeas bubalinas no Rio Grande do Sul**. 1989. 60 f. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) - Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- DOREN, P. E. et al. Estimating parameters of growth curves of bulls. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 67, n. 6, p. 1432-1445, June 1989.
- DZAMA, K. et al. Index selection of beef cattle for growth and milk production using computer simulation modelling. **South African Journal of Animal Science**, v. 31, n. 2, p. 65-75, Apr./June. 2001.
- ELIAS, A. M. **Análise de curvas de crescimento de vacas das Raças Nelore, Guzerá e Gir**. 1998. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

FAO - Food and Agriculture Organization, FAOSTAT - Agriculture data. Disponível em: <<http://apps.fao.org/cgi-gin/nph-db.pl?subset=agriculture/2006>>. Acesso em: 15 de agosto de 2009.

FARIA, C. U. et al. Inferência Bayesiana e sua aplicação na avaliação genética de bovinos da raça Nelore: Revisão Bibliográfica. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 8, n. 1, p. 75-86, jan/mar. 2007.

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

FREITAS, A. R. Curvas de Crescimento na Produção Animal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 786-795, mai/jun. 2005.

FRIES, L.A. Uso de escores visuais em programas de seleção para a produtividade em gado de corte. In: SEMINÁRIO NACIONAL - REVISÃO DE CRITÉRIO DE JULGAMENTO E SELEÇÃO EM GADO DE CORTE. 1996, Uberaba. **Anais...** Uberaba: Associação Brasileira de Criadores de Zebu, 1996. p. 1-6.

GARNERO, A. DEL V. et al. Genetic trends in the expected progeny difference of the asymptotic weight of Nelore females. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 29, n. 4, p. 648-652, Oct./Dec. 2006.

GARNERO, A. DEL V. et al. 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, set./out. 2005.

GHONEIM, A.; TAHA EL-KATIB, M.; EL-MAGHRABI, M. **Study of growth in Egyptian and buffaloes up to 1 1/2 years-old**, Cairo: University of Cairo, 1959. p. 24. (Bulletin, n. 133).

GIANLORENÇO, V. K. et al. Herdabilidades e Correlações Genéticas de Características de Machos e Fêmeas, em um Rebanho Bovino da Raça Canchim. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 1587-1593, nov./dez. 2003 (Supl. 1).

GIANOLA, D.; RODRIGUEZ-ZAS, S.; SHOOK, G. E. The Gibbs sampler in the animal model: a primer. In: SÉMINAIRE MODELE ANIMAL. INRA, 1994, La Colle sur Loup. **Annales...** Departament de Genetique Animale, La Colle sur Loup, p. 47-56, 1994.

GIMENEZ, J. N. et al. Estudo da curva de crescimento em búfalos da raça Jafarabadi. In: REUNIÃO ANUAL DA SBZ, 41., 2004, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: UFMS, 2004. 1 CD-ROM

IBGE - Censo Agropecuário 1995/96 Disponível em <ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Agropecuario_2006/> Acesso em: 10 de abr. 2009.

JORGE, A. M. et al. Características quantitativas da carcaça de bovinos e bubalinos, abatidos em diferentes estágios de maturidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 26, n. 5, p. 1039-1047, set./out. 1997.

JORGE, A. M.; ANDRIGHETTO, C; CASTRO, V. S. Desenvolvimento ponderal de bubalinos da raça Murrah criados em pastagem de *Brachiaria brizantha* no Centro-Oeste do

Estado de São Paulo, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 417-421, mar./abr. 2005.

LAIRD, A. K. Dynamics of relative growth. **Growth**, Bar Harbor, v. 29, p. 249-263, 1966.

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

MALHADO, C. H. M. et al. Curva de crescimento em ovinos mestiços Santa Inês x Texel criados no Sudoeste do Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Saúde Produção Animal**, Salvador, v. 9, n. 2, p. 210-218, abr/jun. 2008a.

MALHADO, C. H. M. et al. Modelos no lineales para describir el crecimiento de bufalinos de la raza Murrah. **Archivos de Zootecnia**, Espanha, v. 57, n. 220, p. 497-503, 2008b.

MALLINCKRODT, C. H.; GOLDEN, B. L.; REVERTER, A. Approximate confidence intervals for heritability from method R estimates. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 75, p. 2041-2046, 1997.

MARSHALL, T. E.; MOHLER, M. A.; STEWART, T. S. Relationship of lifetime productivity with mature weight and maturation rate in Red Poll cows. **Animal Production**, Bletchley, v. 39, n. 2, p. 383-387, Mar./Abr. 1984.

McKAY, L. R.; SCHAEFFER, L. R.; McMILLAN, I. Analysis of growth curves in rainbow trout using random regression. In: WORLD CONGRESS ON GENETICS APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION, 7, 2002, Montpellier. **Proceedings....** Montpellier, (Session 06, Fish and shellfish breeding, Communication N° 06-11)

McMANUS, C. et al. Curvas de crescimento de ovinos Bergamácia criados no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1207-1212, set/out. 2003.

MOREIRA, P.; COSTA, A. L.; VALENTIN, J. F. **Comportamento produtivo e reprodutivo de bubalinos mestiços Murrah-Mediterrâneo em pastagem cultivada em terra firme, no Estado do Acre**, Rio Branco: EMBRAPA-CPAF, 1994. p. 19 (Boletim de Pesquisa, n. 13).

NASCIMENTO, C. N. B. et al. Peso ao nascer e desenvolvimento ponderal de búfalos em pastagem nativa. In: ENCONTRO SOBRE BUBALINOS, 1979, Araçatuba. **Anais...** Araçatuba: Associação Brasileira de Criadores de Búfalos/UNESP/CATI/SBZ. 1979. p. 218-219.

NASCIMENTO, C. N. B.; GUIMARÃES, J. M. A. B. Fatores afetando o peso ao nascer de búfalos pretos. IPEAN. **Estudos sobre bubalinos**, Belém, v. 1, n. 2, p. 41-57, 1970.

NELDER, J. A. The fitting of a generalization of the logistic curve. **Biometrics**, Washington, v. 17, n. 1, p. 89-94, Jan./Mar. 1961.

NOGUEIRA, J. R. et al. Sistema de produção de bubalinos para carne em pastagens de capim colômbio na região noroeste do estado de São Paulo. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 54, n. 1, p. 25-32, 1997.

- NOGUEIRA, J. R. et al. Estimativas de parâmetros de curvas de crescimento de búfalos da raça Mediterrâneo. In: REUNIÃO ANUAL DA SBZ. 1998, Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP, 1998. p. 374-376.
- OLIVEIRA, H. N.; LÔBO, R. B.; PEREIRA, C. S. Comparação de modelos não lineares para descrever o crescimento de fêmeas da raça Guzerá. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 9, p. 1843-1851, set./out. 2000.
- OSWIN, P. B. M. Reproduction in water buffalo: comparative aspects and implications for management. **Journal of Reproduction and Fertility**, Cambridge, v. 54, p. 157-168, 1999, Supplement.
- PACOLA, L. J. et al. Desempenho de bubalinos em Sertãozinho (SP). **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 35, n. 2, p. 135-141, 1978.
- PACOLA, L. J. et al. Desempenho de bubalinos em Sertãozinho, São Paulo. In: ENCONTRO SOBRE BUBALINOS. 1979, Araçatuba. **Anais...** Araçatuba: Associação Brasileira de Criadores de Búfalos/UNESP/CAT/SBZ. 1979. p. 160-161.
- PATTERSON, H. D.; THOMPSON, R. Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. **Biometrika**, London, v. 58, n. 3, p. 545-554, 1971.
- 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, p. 773-782, Out./Dec. 1992.
- RAMOS, A. A. et al. Caracterização fenotípica e genética da produção de leite e do intervalo entre partos em bubalinos da raça Murrah. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 8, p. 1261-1267, ago/set. 2006.
- RATKOWSKY, D. A. **Handbook of nonlinear regression models**. New York, Marcel Dekker, p. 241, 1990.
- REVERTER, A.; KAISER, C. J. The role of different pedigree structures on the sampling variance of heritability estimates. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 75, p. 2355-2361, Set. 1997.
- ROSA, A. N.; SILVA, M. A.; MILAGRES, J. C. Mudança da curva de crescimento de animais da raça Nelore mediante o uso de índices de seleção. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 8, n. 4, p. 610-621, mar./abr. 1979.
- SALAMA, M. A. M.; SCHALLES, R. P. Growth of water buffalo, *Bubalus arnee*. **Tropical Agriculture**, v. 69, n. 3, p. 239-242, Mar. 1992.
- SAMPAIO, I. B. M. **Estatística aplicada à experimentação animal**. 2 ed. Belo Horizonte: FEPMVZ, 2007.
- SANTORO, K. R. et al. Herdabilidades de Parâmetros de Curvas de Crescimento Não-Lineares em Zebuínos, no Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 2280-2289, jun./jul. 2005 (supl.).

SARMENTO, J. L. R. et al. Estudo da curva de crescimento de ovinos Santa Inês. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 435-442, mar/abr. 2006.

SAS, **SAS user's guide: statistical**, Analysis System Institute, Inc., Cary, NC, 2001.

SILVA, F. F.; AQUINO, L. H.; OLIVEIRA, A. I. G. Estimativas de parâmetros genéticos de curva de crescimento de gado Nelore (*Bos indicus*). **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, p. 1562-1567, out./dez., 2002, Nesp.

SILVEIRA, J. C. **Estudo da influência de fatores genéticos e ambientais sobre as características produtivas e reprodutivas em bovinos Nelore no Estado de Mato Grosso do Sul**. 2001. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Animais) - Universidade de Brasília, Brasília.

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

TEDESCHI, L. O. et al. Estudo da Curva de Crescimento de Animais da Raça Guzerá e seus 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, mar/abr. 2000.

TOMAR, S. P. S.; DESAI, R. N. Factors influencing the inheritance of birth weigh of buffalo calves on military farms. **Indian Veterinary Journal**, Madras, v. 44, n. 7 p. 694-701, Jul. 1967.

TSURUTA, S.; MISZTAL, I. THRGIBBS1F90 for estimation of variance component with threshold-linear models. In: WORLD CONGRESS ON GENETICS APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION. 8, 2006, Belo Horizonte, **Anais...** Belo Horizonte: 2006.

Van KAAM, J. B. C. H. M. **Gibanal**. Analyzing program for Markov Chain Monte Carlo sequences version 2.3. Netherlands. 1997.

von BERTALANFFY, L. Quantitative laws in metabolism and growth. **Quarterly Review of Biology**, v. 32, p. 217-231, 1957.

Araújo, Ronyere Olegário, 1983-
S587m

Componentes de covariâncias estimados por metodologia bayesiana para parâmetros biológicos obtidos por modelos não lineares para bubalinos da Raça Murrah / por Ronyere Olegário Araújo ; orientador Paulo Roberto Nogara Rorato. – Santa Maria, 2009.

73 f. ; il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, RS, 2009.

1. Zootecnia 2. Amostragem de gibbs 3. Bubalinos 4. Parâmetros genéticos 5. Peso assintótico 6. Taxa de maturação I. Rorato, Paulo Roberto Nogara, orient. II. Título

CDD: 636.293.2:311

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

© 2009

Todos os direitos autorais reservados a Ronyere Olegário Araújo. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Departamento de Zootecnia – Prédio 78, Bairro Camobi, Santa Maria – RS, 97110–900, Fone: 3220 8083; Endereço Eletrônico: ronyereo@yahoo.com.br
