

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – *CAMPUS* RIO VERDE  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

APLICAÇÃO DE MODELOS DE REGRESSÃO ALEATÓRIA  
PARA ESTUDO DO DESENVOLVIMENTO PONDERAL EM  
BÚFALOS DA RAÇA MURRAH

Autora: Flávia Rita Ferreira  
Orientador: Professor Dr. Francisco Ribeiro de Araujo Neto

RIO VERDE - GO  
julho – 2015

APLICAÇÃO DE MODELOS DE REGRESSÃO ALEATÓRIA  
PARA ESTUDO DO DESENVOLVIMENTO PONDERAL EM  
BÚFALOS DA RAÇA MURRAH

Autora: Flávia Rita Ferreira

Orientador: Professor Dr. Francisco Ribeiro de Araujo Neto

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – *Campus* Rio Verde, - Área de concentração Zootecnia.

Rio Verde - GO  
julho - 2015

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)  
Elaborada por Igor Yure Ramos Matos CRB1-2819**

F441a Ferreira, Flavia Rita.

Aplicação de modelos de regressão aleatória para estudo do desenvolvimento ponderal em búfalos da raça Murrah / Flavia Rita Ferreira - 2015.  
42f. : ils. figs, tabs.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Ribeiro de Araújo Neto.

Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, 2015.

Biografia.

Inclui índice de tabelas e figuras.

1. Búfalos. 2. Regressão aleatória. 3. Correlação Genética. I. Título. II. Autor. III. Orientador.

CDU: 636.293.2

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**APLICAÇÃO DE MODELOS DE REGRESSÃO  
ALEATÓRIA PARA ESTUDO DO DESENVOLVIMENTO  
PONDERAL EM BUFALOS DA RAÇA MURRAH**

Autora: Flávia Rita Ferreira  
Orientador: Francisco Ribeiro de Araujo Neto

*TITULAÇÃO:* Mestre em Zootecnia – Área de concentração  
Zootecnia – Zootecnia e Recursos Pesqueiros.

APROVADA em 15 de julho de 2015.

Prof. Dr. Henrique Nunes de Oliveira  
*Avaliador externo*  
FCAV/Unesp

Dr. Francisco Ribeiro de Araujo Neto  
*Presidente da banca*  
IF Goiano/RV

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Karen Martins Leão  
*Avaliadora interna*  
IF Goiano/RV

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Isabel Dias Carvalho  
*Avaliadora externa*  
UniRV

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, à Deus pelas vitórias concedidas, por realizar meus sonhos e por atender às minhas orações.

Ao meu marido Henrique que sempre me ajudou e fez de tudo para que eu estudasse, sempre esteve ao meu lado, me incentivou em todo momento e não me deixou desanimar mesmo nos momentos mais difíceis.

A minha mãe que sempre apoiou as minhas decisões, desde quando decidi fazer Zootecnia e Mestrado, quem deu a oportunidade de estudar e fazer com que eu chegasse até aqui.

Aos meus filhos Higor, Helena e Felipe que tornam minha vida mais feliz.

Ao meu orientador Prof. Dr. Francisco Ribeiro de Araujo Neto pela orientação, confiança no meu trabalho, pelos ensinamentos e paciência.

Aos membros que compõem a banca de defesa, contribuindo com sugestões que aprimoraram este trabalho e também pela disponibilidade em participarem desta.

Ao meu pai e meus irmãos pelo apoio e carinho.

Aos meus familiares e amigos que me aconselharam e vibraram por mim nas minhas vitórias.

Aos professores da pós-graduação em Zootecnia pelos ensinamentos e pelas oportunidades de compartilhar aprendizado.

Aos colegas de Pós-graduação pela companhia, amizade e ótimos momentos de convivência.

A minhas amigas de mestrado Letícia Arantes e Patrícia Garcia pelo carinho, amizade e colaboração.

A professora Dra. Isabel Dias Carvalho pelo incentivo, apoio e carinho.

Ao programa de pós-graduação em Zootecnia do IF Goiano – Campus Rio Verde- GO, pela possibilidade oferecida de desenvolver o mestrado.

A secretária da Pós-graduação em Zootecnia Viviane Proto pelo auxílio e colaboração.

Aqueles que me ajudaram direta ou indiretamente de alguma forma para a conclusão de mais esta etapa.

A todos vocês o meu agradecimento e a minha gratidão!

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu esposo e companheiro Henrique, a minha mãe Marilda e aos meus filhos Higor, Helena e Felipe pelo amor, carinho, dedicação, incentivo, paciência e principalmente por tudo que significam na minha vida.

## BIOGRAFIA DO AUTOR

Flávia Rita Ferreira, filha de Gentil José Ferreira e Marilda do Carmo Ferreira, nascida em Cachoeira Alta - GO em 28 de julho de 1977. Sua formação profissional se iniciou em 1999, no curso de Zootecnia pela Universidade de Rio Verde – GO. Em abril de 2014 iniciou o Mestrado em Zootecnia na área de Genética e Melhoramento Animal pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde –GO, concluindo no ano de 2015.



## ÍNDICE GERAL

	Página
ÍNDICE DE TABELAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	ix
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Revisão de literatura.....	2
1.1.1 Bubalinos.....	2
1.1.2 Regressão aleatória.....	4
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	8
Aplicação de modelos de regressão aleatória para estudo do desenvolvimento ponderal em búfalos da raça Murrah.....	11
Resumo.....	11
Introdução.....	12
Materiais e métodos.....	13
Resultados e discussão.....	16
Conclusão.....	19
Referências.....	20

## ÍNDICE DE TABELAS

	Página
Tabela 1 Estatísticas descritivas do banco de dados empregados nas análises de regressão aleatória para pesos em búfalos da raça Murrah.....	22
Tabela 2 Resultados para os critérios empregados para a seleção dos modelos de regressão aleatória, no estudo de peso em búfalos.....	22
Tabela 3 Estimativas de autovalores, (co)variâncias e correlação entre coeficientes de regressão aleatória empregando o modelo M66, para estudos de peso em búfalos da raça Murrah.....	24
Tabela 4 Estimativas de autovalores e (co)variâncias e correlação entre coeficientes de regressão aleatória empregando o modelo M36, para estudos de peso em búfalos da raça Murrah.....	24
Tabela 5 Estimativas de coeficiente de correlação genética obtidos utilizando dos modelos M36 (diagonal inferior) e M66 (diagonal superior), entre pesos medias as idades de 100, 200, 300, 400, 500 e 600 dias em búfalos da raça Murrah.....	26
Tabela 6 Estimativas de coeficiente de correlação de ambiente permanente obtidos utilizando dos modelos M36 (diagonal inferior) e M66 (diagonal superior), entre pesos medias as idades de 100, 200, 300, 400, 500 e 600 dias em búfalos da raça Murrah.....	26

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Estimativas de variância genética, de ambiente permanente, residual e fenotípica de peso até a idade de 600 dias em animais da raça Murrah, empregando os modelos M36 (linha pontilhada) e M66 (linha contínua).....	24
Figura 2 Estimativas de herdabilidade e taxa de variância de ambiente permanente em peso até a idade de 600 dias em animais da raça Murrah, empregando os modelos M36 (linha pontilhada) e M66 (linha contínua).....	25

## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

ABCB	Associação Brasileira dos Criadores de Bufálos
AIC	Akaike
BIC	Bayesiano de Schwarz
DEP	Diferenças esperadas na progênie
FC	Funções de covariância
GC	Grupo de contemporâneos
MRA	Modelos de regressão aleatória

## RESUMO

Objetivou-se com este estudo realizar avaliação genética do desenvolvimento ponderal em búfalos da raça Murrah de um sistema de produção leiteira, até a idade de 600 dias utilizando modelos de regressão aleatória. Foram utilizadas informações de pesos de aproximadamente 1.300 animais entre machos e fêmeas. Os modelos incluíram como efeitos aleatórios, a combinação dos efeitos genéticos aditivos diretos e ambiente permanente direto e como efeitos fixos, o efeitos de grupo de contemporâneos que foram constituídos por: ano de nascimento, sexo, estação de nascimento e ano de pesagem, para modelar a curva média da população. Todas as análises foram estimadas pelo método da máxima verossimilhança restrita utilizando o *software AIREMLF90* (Misztal et al., 2002). O resíduo foi modelado considerando as heterogeneidades de variância residual. No total, foram testados seis modelos com ordens dos polinômios de seis a três. A ordem do polinômio para cada efeito aleatório foi diminuída de acordo com as estimativas de variância dos coeficientes de regressão aleatória e os autovalores relacionados. A comparação entre os modelos se realizou por meio dos critérios de informação Akaike (AIC) e Bayesiano de Schwarz (BIC). Em geral, no que tange às avaliações genéticas de pesos, os efeitos de origem materna são comumente incluídos nos modelos; entretanto neste sistema a influência materna é mínima não havendo a necessidade de inclusão de efeitos maternos no modelo. Com relação aos resultados as variâncias genéticas diretas tiveram em ambos os modelos comportamentos semelhantes, com tendência crescente ao longo da vida do animal. As estimativas de herdabilidade para os pesos nas diferentes idades, apresentaram comportamento semelhante nos dois modelos, variando entre os valores de 0.157 (44 dias) e 0.377 (568 dias) no modelo M36 e entre 0.164 (33 dias) e 0.417 (600 dias) para o modelo M66. No que se refere ao efeito de ambiente permanente, a proporção deste em relação à variância total, apresentou estimativas que variaram entre os valores de 0.600 (536 dias)

e 0.708 (57dias) para o modelo M36 e entre 0.553 (110 dias) e 0.690 (30 dias) para o modelo M66. As estimativas de correlação genética e de ambiente permanente apresentaram a estrutura com tendência a diminuir com o aumento do intervalo entre as mensurações apresentando inclusive valores próximos a zero. Diante do exposto, pode-se concluir que existe variação no potencial genético da espécie bubalina da raça Murah, em que a seleção baseada no desenvolvimento ponderal dos animais apresentará mais eficiente em idades próximas ao término do período de aleitamento artificial, esta seleção em idades mais precoces se torna mais interessante, acarretará menor intervalo entre gerações e menor ganho indireto sobre o peso adulto, em consequência ocorrerá diminuição nos custos de produção.

Palavras-chave: bubalinos, correlação genética, herdabilidade, polinômios de legendre.

## ABSTRACT

The objective of this was to perform a genetic analysis of growth development in Murrah buffaloes from a dairy production system until the age of 600 days using random regression models. There were used the weight information from about 1.300 animals between males and females. The models included as random effects the combination of genetic effect, direct additive and permanent direct environment and as fixed effects the contemporary group effects that consisted of: year of birth, sex, birth season and year weighing, to model the mean curve of the population. All analyzes were estimated by the restricted maximum likelihood method using the software AIREMLF90 (Miształ et al., 2002). The residue was model patterned considering the heterogeneity of residual variances. In total, there were tested six models with orders of six to three polynomials. The order of the polynomial for each random effect was decreased according to the estimates of variance of the random regression coefficients and the related eigenvalues. The comparison between models was performed through the Akaike information criterion (AIC) and Bayesian Schwarz (BIC). In general, with respect to genetic weights evaluations, the effects of maternal origin are commonly included in the models; however in this the maternal influence is minimal and there is no need for the inclusion of maternal effects in the model. Regarding the results the direct genetic variances in both models had similar behaviors, with a growing trend throughout the animal's life. The heritability estimates for the weights at different ages showed similar results for the two models, ranging from values of 0.157 (44 days) and 0.377 (568 days) for the M36 model and between 0.164 (33 days) and 0.417 (600 days) for the M66 model. With regard to the environment permanent effects, the proportion of these regarding total variance presented estimates ranging between the values of 0.600 (536 days) and 0.708 (57 days) for the model M36, and between 0.553 (110 days) and 0.690 (30 days) for the M66 model. Estimates of genetic correlation and permanent

environmental showed a structure with tendency to decrease with increasing interval between measurements presenting values close to zero. Given the above, it can be concluded that there is variation in the genetic potential of the buffalo from Murah race, where the selection based on weight development of the animals present to be more efficient close to the end of artificial feeding period. This selection at earlier ages, is interesting because it will lead to a smaller interval between generations and lower indirect gain on adult weight leading to a reduction in the production.

Keywords: buffaloes, genetic correlation, heritability, polynomials legendre.



## INTRODUÇÃO GERAL

### 1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população humana traz como consequência o aumento por demanda de alimentos, principalmente de origem animal, fazendo-se vital o desenvolvimento de novas metodologias e/ou procedimentos que possibilitem acréscimos significativos na produtividade. Dentro dos sistemas de produção pecuários pode-se evidenciar a produção de leite como importante atividade, a bubalinocultura de leite vem se destacando pelas às propriedades nutricionais deste alimento o que é muito utilizado para a produção de queijo muçarela, produto este de alto valor econômico agregado.

Os produtores deste setor à adoção de novas tecnologias, realizando seleção de animais geneticamente superiores e também a melhoria das técnicas de manejo. Estes procedimentos se encontram respaldados na escolha de na escolha de critérios apropriados com o objetivo da atividade e na estimação acurada de componentes de (co)variância das características a serem selecionadas. Dentro deste contexto, aborda-se a característica de desenvolvimento ponderal, que apresenta grande associação com várias características de importância econômica no sistema de produção leiteiro.

Usualmente a seleção genética em bovinos de leite é aplicada a características que são medidas durante a vida produtiva do animal por causa do custo econômico que representam (Spelman e Garrick, 1997). Poucas pesquisas com foco em desenvolvimento ponderal em bovinos de leite tem-se sido realizadas, particularmente o componente genético desenvolvimento ponderal e alguns tem se concentrado em mecanismos para aumentar o rendimento de primeira lactação (Choi et al., 1997). São escassas aparecimento de evidências convincentes na literatura para apoiar o benefício

econômico de seleção genética para taxas de crescimento de tamanhos maiores ou menores em novilhas virgens ou animais em lactação (Coffey et al., 2006).

O uso dos modelos de regressão aleatória para avaliação genética de bovinos leiteiros vem sendo bastante utilizado em avaliações de produção, pela sua flexibilidade para modelagem mudanças ao longo do tempo. Aplicando este conceito para modelagem do desenvolvimento ponderal de novilhas, isso implica que as estimativas dos parâmetros gerados através regressão aleatória poderiam ser utilizada em conjunto com as observações, para calcular a curva regressão de crescimento específica para cada animal, semelhante ao método desenvolvido por Jamrozik e Schaeffer e (1997) para curvas lactação. Isto proporcionaria a capacidade para prever o futuro crescimento do animal da mesma maneira como se pode projetar a curva de lactação da vaca leiteira, e, portanto, pode ser útil como ferramenta de gestão para o sistema produtivo (Cue et al 2012).

A magnitude do emprego dos modelos de regressão aleatória em avaliações genéticas é explicada pelo comportamento dos componentes de variância ao longo da trajetória do crescimento, estimar e predizer com maior acurácia os parâmetros e valores genéticos, identificar as fases do crescimento do animal em que há maior variabilidade genética, que provoca alterações na curva de crescimento dos animais.

Com este intuito, considerando a escassez deste tipo de informações para características de crescimento em bubalinos da raça Murah no Brasil, tendo em vista que estes animais não apresentam definição para corte ou leite e dada à importância do peso, tanto para as fêmeas enfatizando uma menor idade ao primeiro parto e também para os machos pensando em animais que alcancem um peso de abate mais jovem, elevando assim a produtividade no setor pecuário, tornou-se relevante o desenvolvimento do presente estudo.

## 1.1 Revisão de literatura

### 1.1.1 Bubalinos

Os bubalinos são animais encontrados em todos os continentes e utilizados na produção de carne, leite e trabalho. Essa espécie tem apresentado grande expansão no nosso território, com crescimento anual superior ao dos bovinos (Malhado et al., 2007). Os búfalos no Brasil têm uma história bem curta, se compararmos ao tempo de

exploração bovina, as primeiras criações de búfalos surgiram com a chegada dos primeiros animais no final do século XIX, com esse início “atrasado” no país e a forte cultura de consumo de carne bovina, mantêm o tamanho do rebanho nacional de bubalinos em número inferior ao de bovinos (Malhado et al 2007).

A Bubalinocultura vem apresentando importância econômica na pecuária, esta atividade vem apresentando crescente expansão em nosso país como forma de diversificar a produção. O aumento no tamanho da população bubalina em nosso país, isto é reflexo do reconhecimento da qualidade do leite (ricos em gordura, proteína e sólidos totais) e capacidade de atingir pesos elevados em tenra idade (Torres, 2009). Encontrando o maior efetivo deste rebanho na região Norte, que desponta no cenário nacional como grande produtora e os animais são utilizados para corte, leite e serviço (Bernardes, 2007).

Criadores têm procurado desenvolver uma criação mais racional com introdução de melhorias no sistema de produção, tornando-o mais eficiente, como as já realizadas pelas pecuárias bovina leiteira e de corte. Dentro de um sistema de produção nota-se, que tanto a reprodução e produção são fatores fisiológicos, que interferem na lucratividade desta atividade pecuária, tornando-se relevante o conhecimento das herdabilidades e de correlações genéticas, em diversas idades, para saber o potencial produtivo dos animais, facilitando a escolha de animais geneticamente superiores dentro de cada sistema de produção (Malhado et al., 2009).

No Brasil, são reconhecidas pela ABCB quatro raças: Mediterrâneo, Murrah, Jafarabadi (búfalo-do-rio) e Carabao (búfalo-do-pântano). Esta raça bubalina é oriunda da Índia, caracteriza-se por sua conformação média e compacta, apresenta cabeça leve e chifres curtos, tem boa capacidade digestiva. Sendo que esta raça foi uma das mais aceitas pelos criadores brasileiros por se tratar de ser a mais utilizada tanto na produção de leite quanto no fornecimento de carne (Associação Brasileira dos Criadores de Búfalos, 2015).

Sabe-se que o conhecimento do progresso genético nos diferentes rebanhos é desconhecido, tanto entre os criadores que realizam a seleção de modo empírico como entre aqueles que participam de programas de melhoramento genético. Inteirar-se a respeito das mudanças fenotípicas de uma população é fundamental, pois possibilita observar, se os programas de seleção e a melhoria ambiental impostos pelos criadores têm sido favoráveis à produção ao longo do tempo (Malhado et al., 2007). Com a intenção de não apenas avaliar o progresso genético alcançado, mas também para que os

resultados sirvam como norteadores de ações futuras, em que se pode verificar a necessidade de avaliar a tendência genética ao longo do tempo (Euclides Filho et al., 2000).

A criação de búfalos brasileiros visa produção de carne, de leite, que é consumido *in natura* ou utilizado na produção de muçarela de búfala, um produto de ótima aceitação pelo mercado, comercializado a altos preços, em virtude da baixa oferta (Tonhati, 2002). Com a forte tendência de uma alimentação mais saudável, incorporando nas dietas o consumo de alimentos como carnes menos gordurosas, com baixos teores de colesterol e com alta proteína, o consumo de carne de búfalo está crescendo (Cruz et al., 2010).

Para a seleção de animais destinados a produção e reprodução, torna-se imprescindível levar em consideração o potencial para produção de leite e ganho de peso compatível com a idade dentro de cada raça. Diante desta expressão, se faz relevante conhecer o potencial genético do rebanho bubalino de nosso país, visto que esta atividade é uma forma de diversificar produção pecuária no território brasileiro.

Desta forma, tornou-se importante o estudo genético quantitativo de pesos em búfalos da raça Murah, utilizando modelos de regressão aleatória, possibilitando assim o estudo de desenvolvimento ponderal destes animais.

### 1.1.2 Regressão aleatória

A avaliação genética animal depende das estimativas de parâmetros genéticos (herdabilidades e correlações genéticas), que podem ser influenciadas pelo modelo estatístico e método de estimação dos componentes de (co) variância usados, razão pela qual a procura por procedimentos, métodos e modelos que possam aumentar a acurácia das avaliações genéticas de animais é um constante para os pesquisadores. No entanto, o aumento da capacidade e velocidade dos recursos computacionais já disponíveis, aliados ao desenvolvimento e/ou adaptação de algoritmos disponíveis tem ditado a forma e a evolução da aplicação destes na avaliação genética em todo mundo (Martinez et al., 2004).

Atualmente, os modelos de regressão aleatória estão sendo utilizados como alternativas às análises convencionais para estimar os componentes de variância e parâmetros genéticos de pesos de bovinos de corte obtidos em diferentes idades (Albuquerque e Meyer, 2001; Nobre et al., 2003; Sakaguti et al., 2003; Dias et al.,

2006). Os modelos de regressão aleatória (MRA) são casos especiais de funções de covariância que facultam estimar, de maneira direta, os coeficientes das funções de covariância pelo método de máxima verossimilhança restrita (Meyer e Hill, 1997). Dentre as vantagens de utilizar MRA descrevem-se: a) não depender da padronização de peso e; b) permitir a inclusão de dados de animais com poucas pesagens (Toral et al., 2014).

As regressões são ajustadas em função do período de produção utilizando polinômios ordinários ou outras funções lineares e modelam trajetórias para a média populacional (regressões fixas) e para cada animal (regressões aleatórias). Geralmente modelos com polinômios de Legendre, com diferentes ordens, são comparados para o ajuste de efeitos aleatórios (como os genéticos e de ambiente permanente), e as covariâncias entre os coeficientes de regressão aleatória são usadas para obtenção das funções de covariância (Herrera et al., 2008).

Os primeiros estudos utilizando modelos de regressão aleatória (Jamrozik e Schaeffer, 1997) desconsideravam estrutura heterogênea de variâncias residuais, que proporcionava superestimações das variâncias genéticas aditivas. Esta modelagem considerando heterogeneidade de variâncias residuais para cada idade, por sua vez, pode melhorar a fração da variação total, mas pode propiciar o aumento dos parâmetros a serem estimados no processo de maximização da função de verossimilhança (El Faro e Albuquerque, 2003), podendo assim dificultar a utilização destes modelos em avaliações genéticas com grande volume de dados. Com este intuito, procura-se a utilização de modelos mais parcimoniosos, sem queda da qualidade de ajuste dos efeitos aleatórios considerados.

Em bovinos de corte, vários pesquisadores investigaram a ordem de ajuste de funções polinomiais para representar a curva média de crescimento em modelos de regressão aleatória. Meyer (1999) estudou o crescimento pós-desmame de fêmeas de corte de duas raças bovinas na Austrália por meio de polinômios ortogonais da idade de várias ordens, empregando o método de quadrados mínimos ordinários, ignorando o efeito de animal. Comparando funções com ordens variando de dois até oito e constatou que o crescimento dos animais foi melhor apresentado pela regressão cúbica.

No Brasil, Sakaguti et al. (2002) averiguaram a ordem mais apropriada de funções polinomiais da idade para descrever a curva média de crescimento de bovinos Tabapuã. Estes autores também compararam diferentes ordens em análises de

quadrados mínimos ordinários e concluíram que a curva média de crescimento deve ser representada por polinômios de, pelo menos, quarta ordem.

Estudos realizados por Meyer (2005), mostra que os modelos de regressão aleatória são facilmente empregados em análises de modelos lineares mistos através de modelagem de curvas de crescimento como a regressão em função de uma variável contínua. Como também relatado em estudos empregando os modelos de regressão aleatória para obtenção de parâmetros genéticos de pesos de animais zebuínos das raças Brahman (Riley et al., 2007), Guzerá (Pelicioni et al., 2009), Nelore (Albuquerque e Meyer, 2001; Nobre et al., 2003; Valente et al., 2008) e Tabapuã (Dias et al., 2006), porém pouco empregados para bubalinos.

Pode-se mensurar também a utilização do procedimento de modelos mistos para selecionar a melhor ordem de ajuste da regressão fixa sobre a idade para modelar a trajetória média da população, Arango et al. (2004) constataram que a regressão quadrática da idade foi a ordem polinomial mais alta com efeito significativo, o que foi preponderante para os autores assumirem como a ordem de melhor ajuste.

Já para estudos realizados para verificarem a curva de crescimento de ovinos Santa Inês, Sarmiento et al. (2011) usaram polinômios ortogonais de Legendre de ordens três e quatro no ajuste do modelo como um todo, e concluíram que o modelo empregando uma função contínua cúbica proporcionou melhor ajuste da trajetória média de crescimento e das regressões aleatórias.

Bolivar et al. (2013), realizou estudo com bubalinos na Colômbia, utilizando registros de peso dos animais do nascimento aos 900 dias de idade, aplicando modelos regressão aleatória com uso de polinômios ortogonais de Legendre, em que um polinômio cúbico foi usado para modelar a curva média da população. Os modelos de polinômios de primeira a sexta ordem foram usados para descrever os efeitos de genético aditivo direto, genético materno, efeitos de ambiente permanente animal e os efeitos de ambiente permanente materno. O residual foi modelado considerando cinco classes de variância. O melhor modelo incluiu polinômios de quarta e sexta ordem para efeitos de genético aditivo direto e de ambiente permanente animal, respectivamente, e polinômios de terceira ordem para efeitos genético materno e ambientes permanente maternos.

Diante do exposto, objetivou-se com este estudo analisar comportamento das curvas de variância para pesos de bubalinos da raça Murah em diferentes idades. 1) estimar herdabilidades para pesos em diversas idades. 2) estudar a estrutura de

correlação entre as idades, tanto genéticas quanto em termos de ambiente permanente e utilizar destas informações para analisar geneticamente o modelo mais adequado para selecionar animais dentro de sistema de produção leiteiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuquerque, L. G., and Meyer, K. 2001. Estimates of covariance functions for growth from birth to 630 days of age in Nelore cattle. *Journal of Animal Science*. 79(11):2776-2789.
- Arango, J. A., Cundiff, L. V., and Van Vleck, L. D. 2004. Covariance functions and random regression models for cow weight in beef cattle. *Journal of Animal Science*. 82:54- 67.
- Associação Brasileira de Criadores de Búfalos. 2015. Raças. <http://www.bufalo.com.br/racas.html>. (Acessado em 25 março 2015).
- Bernardes O. 2007. Bubalinocultura no Brasil: situação e importância econômica. *Rev. Bras. Reprod. Animal*. 31. 293-298.
- Bolivar, D. M., Cerón-Muñoz, M. F., Boligon, A. A., Elzo, M. A., and Herrera, A. C. 2013. Genetic parameters for body weight in buffaloes (*Bubalus bubalis*) in Colombia using random regression models. *Livestock Science*. 158:40–49.
- Coffey, M. P., Hickey, J., and Brotherstone, S. 2006. Genetic aspects of growth of Holstein-friesian dairy cows from birth to maturity. *Journal of Dairy Science*, 89(1):322-329.
- Cruz, M. T., Longuine, R., Trevizan, A., Vieira, N. 2010. Parâmetros genéticos produtivos e reprodutivos da raça Murrah. VI Simpósio de Ciências da Unesp – Dracena.
- Cue, R. I., Pietersma, D., Lefebvre, D., Lacorix, R., Wade, K., Pellerin, S., Passillé, A-M., and Ruschen, J. 2012. Growth modeling of dairy heifers in Quebec base on random regression. *Can. J. Anim. Sci*, 92:33-47.
- Choi, Y. J., Han, I. K., Woo, J. H., Lee H. J., Jang, K., Myung, K. H., and Kim, Y. S. 1997. Compensatory growth in dairy heifers: the effect of a compensatory growth pattern on growth rate and lactation performance. *Journal of Dairy Science*. 80:519-524.



- Dias, L. T., Albuquerque, L. G., Tonhati, H., and Teixeira, R. A. 2006. Estimação de parâmetros genéticos para peso do nascimento aos 550 dias de idade para animais da raça Tabapua utilizando-se modelos de regressão aleatória. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 35(5):1915-1925.
- El Faro, L., and Albuquerque, L. G. 2003. Estimação de parâmetros genéticos para produção de leite no dia do controle e produção acumulada até 305 dias, para as primeiras lactações de vacas da raça Caracu. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 32(2):284-294.
- Euclides Filho, K., Silva, L. O. C., Alves, R. G. O., and Figueiredo, G. R. 2000. Tendência genética na raça Gir. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 35(4):787-791.
- Herrera, L. G. G., El Faro, L., Albuquerque, L. G., Tonhati, H., and Machado, C. H. C. 2008. Estimativas de parâmetros genéticos para produção de leite e persistência da lactação em vacas Gir, aplicando modelos de regressão aleatória. *Revista Brasileira de Zootecnia* 37(9):1584-1594.
- Jamrozik, J., and Schaeffer, L. R. 1997. Estimates of genetic parameters for a test day model with random regressions for production of first lactation Holsteins. *Journal of Dairy Science*. 80:762-770.
- Malhado, C. H. M., Carneiro, P. L. S., Mello, P. R. A. M., Souza Júnior, A. A. O., Sarmiento, J. L. R. 2009. Growth curves in Dorper sheep crossed with the local Brazilian breeds, Morada Nova, Rabo Largo, and Santa Inês. *Small Ruminant Research*. 84:16-21.
- Malhado, C. H. M., Ramos, A. A., Carneiro, P. L. S., Souza, J. C., and Lamberson, W. R. 2007. Genetic and phenotypic trends for growth traits of buffaloes in Brazil. *Italian Journal Animal Science*. 6(2):325-327.
- Martinez, M. L., Machado, M. A., Silva, M. V. G. B., and Verneque, R. S. 2004. Perspectivas para o melhoramento genético em bovinos de leite. In: *Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*. Campo Grande, MS, Anais... Campo Grande: Sociedade Brasileira de Zootecnia. CD-ROM.
- Meyer, K. 1999. Estimates of genetic and phenotypic covariance functions for postweaning growth and mature weight of beef cows. *Journal of Animal Breeding and Genetics*. 116:181-203.
- Meyer, K. 2005. Estimates of genetic covariance functions for growth of Angus cattle. *Journal of Animal Breeding and Genetics*. 122:73-85.
- Meyer, K., and Hill, W. G. 1997. Estimation of genetic and phenotypic covariance functions for longitudinal or 'repeated' records by Restricted Maximum Likelihood. *Livestock Production Science*. 47:185-200.
- Misztal, I., Tsuruta, S., Strabel, T., Auvray, B., Druet, T., and Lee, D. H. BLUPF90 and related programs (BGF90). 2002. 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. <http://nce.ads.uga.edu/wiki/lib/exe/fetch.php?media=28-07.pdf>. (Acessado em 14 fevereiro de 2014).

Nobre, P. R. C., Misztal, I., Tsuruta, S., Bertrand, J. K., Silva, L. O. C., and Lopes, P. S. 2003. Analyses of growth curves of Nelore cattle by multiple-trait and random regression models. *Journal of Animal Science*. 81(4):918-926.

Pelicioni, L. C., Albuquerque, L. G., and Queiroz, S. A. 2009. Estimacão de componentes de co-variância para pesos corporais do nascimento aos 365 dias de idade de bovinos Guzerá empregando-se modelos de regressão aleatória. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 38:50-60.

Riley, D. G., Coleman, S. W., Chase junior, C. C., Olson, T. A., and Hammond, A. C. 2007. Genetic parameters for body weight, hip height, and the ratio of weight to hip height from random regression analyses of Brahman feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 85:42-52.

Sakaguti, E. S., Silva, M. A., and Martins, E. N. 2002. Trajetória de crescimento e efeito da idade da vaca nos modelos de regressão aleatória de bovinos da raça Tabapuã. *Arquivo Brasileiro Medicina Veterinária e Zootecnia*. 54:414-423.

Sakaguti, E. S., Silva, M. A., Quaas, R. L., Martins, E. N., Lopes, P. S., and Silva, L. O. C. 2003. Avaliaco do crescimento de bovinos jovens da raça Tabapuã, por meio de análises de funções de covariâncias. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 32(4):864-874.

Sarmiento, J. L. R., Torres, R. A., Sousa, W. H., Lôbo, R. N. B., Sousa, J. E. R., Cavalcante Neto, A., and , A. O. 2011. Efeito materno sobre a curva de crescimento de ovinos Santa Inês por meio de modelos de regressão aleatória. *Comunicata Scientiae*. 2(2):113-121.

Spelman, R. J., and Garrick, D. J. 1997. Effect of live weight and differing economic values on responses to selection for milk fat, protein, volume, and live weight. *Journal of Dairy Science*. 80:2557-2562.

Tonhati, H. 2002. Critérios de seleção para produção total de leite em bubalinos criados no estado de São Paulo. Tese Livre Docência. Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, Brasil.

Toral, F. L. B., Pereira, J. C. C., Bergmann, J. A. G., and Josahkian, L. J. 2014. Parâmetros genéticos do peso desde o nascimento até 730 dias de idade na raça Indubrasil. *Pesquisa agropecuária brasileira*. 49(8):595-605.

Torres, G. E. 2009. Búfalos: Uma Espécie Promissória. [August 5, 2010]. <http://www.perulactea.com/2009/09/30/búfalos-una-especie-promissoria>.

Valente, B. D., Silva, M. A., Silva, L. O. C., Bergmann, J. A. G., Pereira, J. C. C., Fridrich, A. B., Ferreira, I. C., and Corrêa, G. S. S. 2008. Estruturas de covariância de peso em função da idade de animais Nelore das regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 60:389-400.

## **Aplicação de modelos de regressão aleatória para estudo do desenvolvimento ponderal em búfalos da raça Murrah**

**Resumo:** O objetivo deste foi realizar análise genética do desenvolvimento ponderal em búfalos da raça Murrah em sistema de produção leiteira, até a idade de 600 dias utilizando modelos de regressão aleatória (MRA). Foram testados modelos com polinômios de Legendre variando entre terceira e sexta ordem, considerando como efeitos aleatórios o genético aditivo direto e o de ambiente permanente direto; e como efeitos fixos, os efeitos de grupo de contemporâneos (ano de nascimento, sexo, estação de nascimento e ano de pesagem) e curva média da população, modelada utilizando polinômio de quarta ordem. Todas as análises foram estimadas pelo método da máxima verossimilhança restrita utilizando o *software AIREMLF90* (Misztal et al., 2014), sendo o resíduo modelado como heterogêneo através de função log-linear. Com relação aos resultados, de uma forma geral tanto para as estimativas dos componentes de variância como para os parâmetros genéticos os modelos selecionados apresentaram comportamento semelhante. Foram obtidos valores de herdabilidade de baixa a alta magnitude que variaram entre  $0.157 \pm 0.039$  e  $0.377 \pm 0.041$ , e  $0.164 \pm 0.050$  e  $0.417 \pm 0.047$ , nos dois diferentes modelos. Para as estimativas de correlação genética e de ambiente permanente, verificou-se que a magnitude tende a diminuir com o aumento do intervalo entre as mensurações, apresentando inclusive valores próximos ao zero. Conclui-se assim, que a espécie apresenta potencial para seleção baseada no desenvolvimento ponderal, haja vista a existência de variabilidade genética dentro do rebanho, sendo esta mais eficiente em idades próximas a desmama.

Palavras-chave: bubalinos, correlação genética, herdabilidade, polinômios de Legendre.

**Abstract:** The objective of this work was to realize a genetic analyze of ponderal development in Murrah buffalos in a dairy production system until the age of 600 days using random regression models (MRA). Were tested models using Legendre polynomials varying between third and sixth order, considering as the random effects, the direct additive genetic and the direct permanent environment; and as the fixed effects, the contemporary group effects (birth year, sex, birth season and year weighing) and the population average curve, modeled using fourth order polynomial. By the restricted maximum likelihood (REML) method all analyzes were estimated using the

software AIREMLF90 (Miształ, 2014), and the modeled residue as heterogeneous through log-linear function. Regarding the results, in general both for estimates of variance components and for genetic parameters the selected models showed similar behavior. Heritability values were obtained from low to high magnitude ranging from  $0.157 + 0.039$  and  $0.377 + 0.041$  and  $0.164 + 0.050$  and  $0.417 + 0.047$  in two different models. For genetic correlation estimates and permanent environment, it was found that the magnitude tends to decrease with increasing the interval between the measurements, showing even values close to zero. It is concluded that the specie has potential for selection based on ponderal development, given the fact that exist genetic variability within the herd, which is more efficient in nearby weaning ages.

Keywords: buffaloes, genetic correlation, heritability, polynomials legendre.

## **Introdução**

O búfalo de água (*Bubalus bubalis*) tem uma importante contribuição econômica em muitos países do mundo, em que são utilizados para produção de carne, leite e trabalho. Verifica-se para esta espécie que o melhoramento genético para produção e qualidade do leite, apresenta impacto econômico e social positivo em muitas regiões do mundo, sobretudo nos países em via de desenvolvimento (Misra e Tyagi, 2007). A demanda de leite de bubalinos no Brasil tem crescido de forma significativa, por causa da qualidade que este apresenta. Entretanto, em sistema de produção de leite eficiente atenção deve ser dada ao desenvolvimento ponderal dos animais, pela forte associação deste com outras características de interesse econômico na atividade leiteira (Cue et al., 2012).

Primeiramente, esta importância se fundamenta na associação genética entre peso e ganhos de peso com características reprodutivas em machos e fêmeas verificadas em outras espécies (Eler et al., 2004; Forni e Albuquerque, 2005; Sarreiro et al., 2002; Kealey et al., 2006). Também é importante considerar o peso adulto dos animais e suas relações com outras características de interesse econômico (produção de leite e reprodutivas), uma vez que o tamanho do animal afeta os custos de manutenção e a eficiência biológica e econômica dos rebanhos (Fitzhugh, 1976; Peters, 1993).

No que tange a análise genética do desenvolvimento ponderal, diversas metodologias têm sido utilizadas nos estudos, destacando-se atualmente a modelagem

utilizando de funções não-lineares para a estimação de curvas de crescimento (Oliveira, 1995; Mendes, 2007) e os modelos de regressão aleatória (Albuquerque e Meyer, 2001; Dias et al., 2006).

Com relação aos modelos de regressão aleatória, a teoria associada foi apresentada inicialmente por Henderson Junior (1982), e se fundamenta na modelagem de uma curva de regressão fixa (tendência média da população) e, em equações de regressão para cada efeito aleatório do modelo. Assume-se a estrutura de covariância entre os coeficientes de regressão, representada pela função de covariâncias (FC), que adota polinômios ortogonais como covariáveis, sendo os mais utilizados os polinômios de Legendre (Schaeffer, 2004).

Assim, tendo em vista o exposto acima, este trabalho tem como objetivo realizar análise genética do desenvolvimento ponderal em búfalos da raça Murrah do sistema de produção leiteira, até a idade de 600 dias utilizando modelos de regressão aleatória.

## **Materiais e métodos**

Foram utilizadas informações de pesagens entre 30 e 600 dias de idade, de 2322 animais entre machos e fêmeas da raça Murrah, provenientes da fazenda Tapuio participante do programa de controle leiteiro promovido pela UNESP, *campus* de Jaboticabal. A fazenda Tapuio apresenta como principal atividade a produção de queijo muçarella, estando disponível para isto uma área de 496 (quatrocentos e noventa e seis) hectares localizada no município de Taipú, Estado do Rio Grande do Norte (latitude S 5°33'57.13" e longitude W 35°37'37.98"). A média de precipitação anual é de 866,4mm e a temperatura apresenta média 28°C. Os animais são criados Sistema de Pastoreio Racional Voisin, com pastejo diário em piquetes de 0,8 ha de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e *Panicum maximum* cv. Massai, cujos resultados permitem a lotação de 3 UA/ha. na liberação do leite.

Foram formados grupos de contemporâneos (GC) pela concatenação das variáveis ano de nascimento, sexo, estação de nascimento e ano de pesagem, e as seguintes procedimentos foram realizados no estudo de consistência: a) eliminação GC com menos de 10 registros; b) eliminação de registros que se encontravam a 3.5 desvio da média do GC e; c) animais que possuíam menos que 5 registros de pesos, descrição dos dados e estatísticas básicas estão apresentadas na Tabela 1.

Para estimar os parâmetros de (co)variâncias dos pesos em diferentes idades, foram empregados modelos de regressão aleatória com polinômios ortogonais de Legendre de terceira à sexta ordem sobre a idade à pesagem. Todos os modelos utilizados incluíram como aleatórios os efeitos genéticos aditivos diretos e de ambiente permanente direto; e como efeitos fixos, o grupo de contemporâneos e a curva média da população, modelada utilizando de polinômios de Legendre de terceira ordem.

Nesta propriedade os animais são desmamados ao quinto dia de lactação (para aproveitamento do colostro), e posteriormente são colocados em regime de aleitamento artificial. Seu contato materno é restrito ao momento inicial da ordenha, onde a presença do bezerro é necessária para estimular a atividade glandular. Em virtude desta influência materna mínima, não foram inclusos no modelo de análise do presente estudos efeitos de origem materna, presentes em outros estudo de regressão aleatória.

Para a estimação da matriz de (co)variância entre os coeficientes de regressão aleatória foi utilizado o método da máxima verossimilhança restrita utilizando o *software AIREMLF90* (Misztal et al., 2014), através dos algoritmos de maximização e esperança (REML) e de informação média (AIREML). O modelo geral considerado nas análises é descrito como:

$$y_{ij} = F_{ij} + \sum_{m=0}^3 \beta_m \varphi_m(a_{ij}^*) + \sum_{m=0}^{k_A-1} \alpha_{im} \varphi_m(a_{ij}^*) + \sum_{m=0}^{k_C-1} \delta_{im} \varphi_m(a_{ij}^*) + \varepsilon_{ij}$$

em que:  $y_{ij=j^{ésimo}}$  registro referente ao  $i^{ésimo}$  animal;  $F_{ij}$ = conjunto de efeitos fixos;  $\beta_m$  = coeficientes de regressão fixos para modelar a média da população;  $a_{ij}^*$ = função de regressão que descreve a curva média da população de acordo com a idade do animal;  $\varphi_m = m^{ésimo}$  polinômio de Legendre;  $\alpha_{im}, \delta_{im}$  = coeficientes de regressão aleatórios para os efeitos genético direto e de ambiente permanente de animal;  $k_A$  e  $k_C$  = ordem de ajuste dos polinômios correspondentes; e  $\varepsilon_{ij}$  = efeito de ambiente temporário.

Em notação matricial, o modelo utilizado pode ser representado por:

$$\mathbf{y} = \mathbf{Xb} + \mathbf{Z}_1\boldsymbol{\alpha} + \mathbf{W}_1\boldsymbol{\delta} + \boldsymbol{\varepsilon}$$

sendo que se assume que

$$E[\mathbf{y}] = \mathbf{Xb}; E[\boldsymbol{\alpha}] = 0; E[\boldsymbol{\delta}] = 0$$

e matriz de (co)variância entre os efeitos aleatórios:

$$V \begin{bmatrix} \alpha \\ \delta \\ \varepsilon \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{k}_A \otimes \mathbf{A} & 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{k}_C \otimes \mathbf{I}_n & 0 \\ 0 & 0 & \mathbf{R} \end{bmatrix}$$

em que:  $y$  = vetor de observações;  $b$  = vetor de efeitos fixos (incluindo  $F_{ij}$  e  $\beta_m$ );  $\alpha$  = vetor aleatório dos coeficientes de regressão genéticos aditivos diretos;  $\delta$  = vetor aleatório dos coeficientes de regressão de ambiente permanente de animal;  $X$ ,  $Z_1$ ,  $W_1$  = matrizes de incidência correspondentes;  $k_A$  e  $k_C$  = matrizes dos coeficientes das funções de covariância para os efeitos genético aditivo direto e de ambiente permanente de animal  $A$  = matriz de parentesco;  $I$  = matriz identidade;  $N_a$  = número de animais com dados;  $R$  = matriz diagonal contendo as variâncias residuais; e  $\varepsilon$  = efeito de ambiente temporário.

O resíduo foi modelado considerando a heterogeneidade de variâncias residual modelada através da função de variância quadrática assumindo-se um modelo log-linear, como descrito por Meyer (2001), representados por:

$$\sigma_j^2 = \exp \left\{ \sigma_0^2 + \sum_{r=1}^{v-1} b_r (a_{ij}^*)^r \right\}$$

em que:  $\sigma_j^2$  é a variância na  $j^{\text{ésimo}}$  idade;  $\sigma_0^2$  é a variância do erro na média de idade;  $b_r$  e  $v$ , o coeficiente de regressão e o número de parâmetros da função de variância residual, respectivamente. A nomenclatura utilizada nos modelos MGP, em que  $G$  e  $P$  representam a ordem do polinômio de Legendre utilizada para a modelagem do efeito genético e de ambiente permanente, respectivamente.

No total, foram testados seis modelos com ordens dos polinômios de seis a três. A ordem do polinômio para cada efeito aleatório foi diminuída de acordo com as estimativas de variância dos coeficientes de regressão aleatória e os autovalores relacionados. A comparação entre os modelos foi realizada utilizando o critério de informação Akaike (AIC) e o critério Bayesiano de Schwarz (BIC), que permitem a comparação de modelos não aninhados e penalizam modelos mais parametrizados, sendo o BIC o mais rigoroso, ou seja, o critério que favorece modelos mais parcimoniosos (Wolfinger, 1993; Nuñez-Anton e Zimmerman, 2000), de forma que:

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

$$BIC = -2\log L + p \cdot \log(N-r)$$

em que:  $p$  = número de parâmetros do modelo;  $N$  = total de observações; e  $r$  = posto da matriz  $X$  (matriz de incidência para os efeitos fixos).

## Resultados e discussão

Os modelos com maior número de parâmetros apresentaram maiores valores de  $\log L$ , confirmando a convergência das análises realizadas e; diferentes modelos foram selecionados pelos dois critérios empregados: M66 e M36, respectivamente pelo AIC e BIC. Independente do critério de seleção para o efeito de ambiente permanente foi selecionados modelos com maior número de parâmetros, sendo que esta necessidade de um polinômio de alta ordem para a modelagem deste efeito foi verificada em outras pesquisas em bovinos de leite e corte (Brotherstone et al., 2000; Meyer, 2001).

Em relação a outros estudos de regressão aleatória para desenvolvimento ponderal na espécie bovina (Boligon et al., 2010; Sousa Junior et al., 2010) e bubalina (Bolivar et al., 2013), verifica-se a necessidade de maiores ordem para os efeitos genéticos, que pode ser atribuído ao fato que o rebanho utilizado em estudo não pertence ao sistema de produção de carne.

Quando analisados os autovalores nos dois modelos selecionados (Tabela 3 e 4), verifica-se que o acréscimo desta estatística no modelo M66, acima da terceira ordem é reduzido, o que pode indicar que o modelo M36 é suficiente para a estimação dos parâmetros. Entretanto, em virtude da discrepância no número de parâmetros dos modelos selecionados pelos diferentes critérios, ambos foram considerados nas elucidações sobre variância e parâmetros genéticos.

As variâncias genéticas diretas tiveram em ambos os modelos comportamentos semelhantes, com tendência crescente ao longo da vida do animal, com maior regularidade no modelo M36 em comparação ao modelo M66 (Figura 1). Esta tendência de crescimento da variância aditiva foram também reportados em estudos com búfalos na Colômbia (Bolivar et al., 2013) e bovinos da raça Nelore e Tabapuã no Brasil (Albuquerque e Meyer, 2001; Nobre et al., 2003; Dias et al., 2006).

Nas variâncias do ambiente permanente direto, o comportamento também foi de aumento de acordo com a idade dos animais, com curvas semelhantes entre os modelos.



No modelo M36 as variâncias do ambiente permanente direto foram ligeiramente maiores dos 300 aos 450 dias e menores dos 470 aos 570 dias, a partir desta idade serão maiores e com aumento mais acentuado comparado com o modelo M66 (Figura 1). Aumentos nas estimativas de variações ambientais permanentes, do nascimento aos 600 dias, também foram relatados por Dias et al. (2006), Boligon et al. (2010) e Sousa Júnior et al. (2010) em bovinos, e Bolivar et al. (2013) em bubalinos.

As estimativas de herdabilidade para os pesos nas diferentes idades (Figura 2) apresentaram comportamento semelhante para os dois modelos, se destaca crescimento na magnitude das estimativas na etapa inicial, com posterior estabilidade e retorno de crescimento em idades posteriores a 400 dias de idade. As estimativas de herdabilidade variaram entre os valores de  $0.157 \pm 0.039$  (44 dias) e  $0.377 \pm 0.041$  (568 dias) para o modelo M36 e entre  $0.164 \pm 0.050$  (33 dias) e  $0.417 \pm 0.047$  (600 dias) para o modelo M66.

Em ambos os modelos ocorre crescimento da herdabilidade até próximo a desmama dos animais, com valores de  $0.309 \pm 0.033$  (136 dias) e  $0.356 \pm 0.039$  (113 dias) para M36 e M66, respectivamente com posterior queda desta estatística. Este aumento de herdabilidade com posterior queda pode estar associada ao termino do período aleitamento artificial ocasionando a situação em que os animais mais exigentes não expressam seu potencial, de forma que os incrementos na variância aditiva são menores dos que os residuais.

Os valores de herdabilidade encontrados foram similares aos reportados por Sousa Júnior et al. (2010), com bovinos da raça Tabapuã, que encontraram valores que oscilaram 0.15 para peso ao nascimento e 0.45 para pesos aos 660 dias de idade. Entretanto, os valores obtidos foram inferiores aos estimados em bovinos na raça Nelore por Boligon et al. (2010) e Baldi et al. (2010) com bovinos da raça Canchim. Estes menores valores de herdabilidade em relação à raças bovinas citadas anteriormente se justifica pelo sistema de criação: os animais utilizados neste estudo provêm de rebanhos leiteiros em que o manejo e alimentação não objetivam maximizar o ganho de peso e não permitem aos animais expressarem seu potencial genético para desenvolvimento ponderal.

Através dos valores das estimativas de herdabilidade obtidos neste estudo e possível inferir que ganhos genéticos significativos serão obtidos mediante a seleção dos animais, haja vista a importância dos efeitos médios dos genes sobre a característica, que assume valores de média a alta magnitude. Pelos valores, maiores

diferenças genéticas entre os animais são observadas próximo a desmama dos animais e em idades tardias (próximos aos 600 dias), sendo estas as etapas em que a seleção apresentará maior eficiência. Tendo em vista que as estimativas de herdabilidade nestes períodos são próximas, a seleção baseada idade mais precoce se torna interessante: a) pelo menor intervalo de gerações e; b) menor ganho indireto sobre o peso adulto, oriundo das menores estimativas de correlação genética encontradas na literatura com peso em idades pré-desmama (Baldi et al., 2010; Boligon et al., 2010).

No que tange ao efeito de ambiente permanente, a proporção deste em relação à variância total, apresentou estimativas que variaram entre os valores de  $0.600 \pm 0.038$  (536 dias) e  $0.708 \pm 0.030$  (57 dias) para o modelo M36 e entre  $0.553 \pm 0.037$  (110 dias) e  $0.690 \pm 0.049$  (30 dias) para o modelo M66. Para esta estatísticas menores valores foram descritos por Sousa Júnior et al. (2010) que descreveram tendência de crescimento do nascimento (0,01) até os 160 dias de idade (0,29) com suave diminuição até os 440 dias de idade (0,23) e, a partir dessa idade, permaneceram constantes (0,24).

As estimativas de correlação genética (Tabela 5) e de ambiente permanente (Tabela 6) apresentaram a estrutura padrão relatada em outros estudos utilizando a metodologia de regressão aleatória (Baldi et al., 2010; Boligon et al., 2010; Bolivar et al., 2013), na qual a magnitude tende a diminuir com o aumento do intervalo entre as mensurações, assumindo a conformação clássica de “sela”, apresentando inclusive valores próximos a zero. De forma geral, verificou-se que o modelo M36 apresentou maiores valores de correlação quando comparado ao modelo M66, e comportamento mais conservador, ou seja, a mudança da magnitude das associações tende a se alterar com menor intensidade com o aumento do período que separa as mensurações.

Isto pode ser indicativo de que o menor número de parâmetros utilizados no modelo M36 para a parte genética, não seja suficiente para diferenciar a alteração da associação entre o peso nas diferentes idades, ao contrário dos demais parâmetros (variância e herdabilidade). Em búfalos Bolivar et al. (2013), analisando valores de pesos entre as idades de 240 e 900 dias encontraram estimativas que variaram de 0.71 (300 e 900 dias de idade) e 0.99 (240 e 270 dias de idade). Maior amplitude de valores foram descritos por Baldi et al. (2010), que estimaram correlações de 0.45 a 0.97, considerando peso aos nascimento, peso a desmama, peso adulto e pesos nas idades de 12, 18, 24 e 30 meses.

Mediante os resultados apresentados, considerando que a associação genética entre as mensurações de peso nas diversas idades apresenta grande magnitude,

objetivando o maior ganho genético direto e indireto, a seleção deve ser realizada na idade que apresentam maiores estimativas de herdabilidade (100 e 568 dias). Entretanto, diferentemente da espécie bovina, os búfalos ainda não apresentam especialização definida para produção de leite ou carne. Assim sendo, a forma como se utilizar o desenvolvimento ponderal como critério de seleção dependerá do sistema de produção adotado na propriedade.

Em um sistema de corte, justifica-se a seleção baseada em pesos aos 560 dias, pela sua maior associação com pesos em idades de abate. Esta também é mais efetiva, quando se tem como parte dos objetivos de seleção o aumento da eficiência reprodutiva, tendo em vista que em bovinos a correlação genética de pesos em idades tardias com características reprodutivas apresentam valores de maior magnitude.

Esta associação favorável com as características reprodutivas tornam os pesos como critérios de seleção adicionais a serem utilizados em um sistema de produção de leite. Entretanto, tem-se verificado em estudos com bovinos de leite, uma associação desfavorável do peso corporal com os principais critérios de seleção. Vercesi Filho et al. (2007), descreveram em fêmeas mestiças, estimativas de correlação genética de -0.59, -0.73, -0.62 e -0.67 da taxa de crescimento das novilhas com a produção de leite, gordura, proteína e duração da lactação, respectivamente. Adicionalmente, Brotherstone et al. (2007) descreve uma associação positiva entre o crescimento a desmama dos animais e a incidência de mastite. Desta forma, verifica-se que os animais devem ter taxas de crescimento controladas para serem eficientes reprodutivamente, mas mantendo os níveis produtivos, justificando a utilização de outros mecanismo de seleção como os índices econômicos ou os níveis de rejeição.

## **Conclusão**

Mediante os resultados conclui-se que para a avaliação genética do desenvolvimento ponderal em bubalinos, recomenda-se a utilização de um modelo de regressão aleatória de terceira e sexta ordem, para os efeitos genéticos e de ambiente permanente, respectivamente. Os resultados das estimativas de correlação genética indicam que poucas alterações na forma da curva de crescimento podem ser realizadas através da seleção em alguns de seus pontos, e a seleção realizada na idade de 560 dias apresenta maior eficiência em virtude da maior herdabilidade, e na forma como é empregada dependendo do sistema de produção adotado na propriedade (corte ou leite).

## Referências

- Albuquerque, L. G., and Meyer, K. 2001. Estimates of covariance functions for growth from birth to 630 days of age in Nelore cattle. *Journal of Animal Science*. 79(11): 2776-2789.
- Baldi, F., Albuquerque, L. G., and Alencar, M. M. Random regression models on Legendre polynomials to estimate genetic parameters for weights from to adult age in Canchim cattle. 2010. *J. Anim. Breed. Genet.* 127:298-299.
- Boligon, A. A., Mercadante, M. E. Z., Forni, S., Lobo, R. B., and Albuquerque, L. G., 2010. Covariance functions for body weight from birth to maturity in Nellore cows. *Journal Animal Science*. 88:849-859.
- Bolivar, D. M., Cerón-Muñoz, M. F., Boligon, A. A., Elzo, M. A., and Herrera, A. C. 2013. Genetic parameters for body weight in buffaloes (*Bubalus bubalis*) in Colombia using random regression models. *Livestock Science*. 158:40–49.
- Brotherstone, S., White, I. M. S., and Meyer, K. 2000. Genetic modeling of daily milk yield using orthogonal polynomials and parametric curves. *Journal of Animal Science*. 70(2):407-416.
- Brotherstone, S., Coffey, M. P., and G. Banos. 2007. *Journal Dairy Science*. 90. 444–450.
- Cue, R. I., Pietersma, D., Lefebvre, D., Lacorix, R., Wade, K., Pellerin, S., Passillé, A-M., and Ruschen, J. 2012. Growth modeling of dairy heifers in Quebec base on random regression. *Can. J. Anim. Sci.* 92:33-47.
- Dias, L. T., Albuquerque, L. G., Tonhati, H., and Teixeira, R. A. 2006. Estimacão de parâmetros genéticos para peso do nascimento aos 550 dias de idade para animais da raça Tabapuã utilizando-se modelos de regressão aleatória. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 35:1915-1925.
- Eler, J. P., Silva J. A. I. V., Evans, J. L., Ferraz J. B. S., Dias F., Golden B. L. 2004. Additive genetic relationships between heifer pregnancy and scrotal circumference in Nellore cattle. *Journal Animal Science*. 82:2519-2527.
- Fitzhugh Jr, H. A. 1976. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. *Journal of Animal Science*, 42(4):1036-105.
- Forni, S., and Albuquerque, L. G. 2005. Estimates of genetics correlations between days to calving and reproductive and weight traits in Nelore cattle. *Journal of Animal Science*. 83:1511-1515.
- Henderson Jr, C. R. 1982. Analysis of covariance in the mixed model: higher level, nonhomogeneous, and random regressions. *Biometrics*, 38(3):623-640.

Kealey, C. G., Macneil, M. D., Tess, M. W., Geary, T. W., and Bellows, R.A. 2006. Genetic parameter estimates for scrotal circumference and semen characteristics of Line 1 Hereford bulls. *Journal of Animal Science*, 84:283-290.

Mendes, P. N. 2007. Curvas de crescimento difásicas de fêmeas Hereford com erros autoregressivos e heterogeneidade de variâncias. 98 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Área de concentração: Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG.

Meyer, K. 2001. Estimates of direct and maternal covariance functions for growth of Australian beef calves from birth to weaning. *Genetics Selection Evolution*. (33):1-28.

Misztal, I., Tsuruta, S., Strabel, T., Auvray, B., Druet, T., and Lee, D. H. BLUPF90 and related programs (BGF90). 2002. 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. <http://nce.ads.uga.edu/wiki/lib/exe/fetch.php?media=28-07.pdf>. (Acessado em 14 fevereiro de 2014).

Nobre, P. R. C., Misztal, I., Tsuruta, S., Bertrand, J. K., Silva, L. O. C., and Lopes, P. S. 2003. Analyses of growth curves of Nelore cattle by multiple-trait and random regression models. *Journal of Animal Science*. 81(4):918-926.

Núñez-Anton, V. and Zimmerman, D. L. 2000. Modeling nonstationary longitudinal data. *Biometrics*. 56:699-705.

Oliveira, H. N. 1995. Análise genético-quantitativa da curva de crescimento de fêmeas da raça Guzerá. Ribeirão Preto: Universidade de São Paulo. 73. Tese (Doutorado em Genética) - Universidade de São Paulo.

Peters, R. H. 1993. The ecological implications of body size. New York: Cambridge University Press. 329.

Sarreiro, L. C., Bergmann, J. A. G., Quirino, C. R., Pineda, N. R., Ferreira, V. C. P., and Silva, M. A. 2002. Herdabilidade e correlação genética entre perímetro escrotal, libido e características seminais de touros Nelore. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 54:602-608.

Schaeffer L. R. 2004. Application of random regression models in animal breeding. *Livestock Production Science*. 86(3):1-268.

Souza Júnior, S. C., Oliveira, S. M. P., Albuquerque, L. G., Boligon, A. A., and Martins Filho, R. 2010. Estimacão de funoes de covariância para características de crescimento da raça Tabapua utilizando modelos de regressão aleatória. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 39:1037-1045.

Vercesi Filho, A.E., Madalena, F.E., Albuquerque, L.G., Freitas, A.F., Borges, L.E., Ferreira, J.J., Teodoro, R.L., Faria, F.J.C. 2007. Parâmetros genéticos entre características de leite, de peso e a idade ao primeiro parto em gado mestiço leiteiro (*Bos taurus* x *Bos indicus*). *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 59. 983-990.

Wolfinger, R. D. 1993. Covariance structure in general mixed models. *Communications in Statistics*. 22:1079-1106.

Tabela 1 - Estatísticas descritivas do banco de dados empregados nas análises de regressão aleatória para pesos em búfalos da raça Murrah.

DESCRICÃO GERAL						
Número de animais com registro	2322					
Número de registros	47588					
Número de grupos de contemporâneos	221					
Número de animais na matriz de parentesco						
DESCRICÃO DOS EFEITOS						
	MIN	1Q	MEDIANA	MEDIA	3Q	MAX
Número de registros por GC	10	47	115	215.3	258.3	1671
Número de registros por animal	4	13	18	20.49	27	50
Número de registros por idade	26	50	60	83.34	86.00	1152

Tabela 2 - Resultados para os critérios empregados para a seleção dos modelos de regressão aleatória, no estudo de peso em búfalos

Modelo	Critério estatístico <sup>1</sup>			
	Np	2logL	AIC	BIC
M33	15	-357669.160	357699.160	357863.500
M34	21	-352741.220	352779.220	353000.300
M35	24	-347543.780	347591.780	347883.800
M36**	30	-344188.590	344248.590	344625.700
M46	34	-344130.770	344198.770	344632.700
M56	40	-344111.430	344189.430	344694.300
M66*	45	-343983.320	344073.320	344663.300

<sup>1</sup> Ordem dos polinômios: número de parâmetros estudados (np); logaritmo da função verossimilhança (2log); critério de informação Akaike (AIC); critério de informação Bayesiano de Schwarz (BIC).

\* Modelo selecionado de acordo com o critério AIC

\*\* Modelo Selecionado de acordo com o critério BIC

Tabela 3 - Estimativas de autovalores, (co)variâncias e correlação entre coeficientes de regressão aleatória empregando o modelo M66, para estudos de peso em búfalos da raça Murrah.

Item		0	1	2	3	4	5	$\Lambda$
Genético aditivo direto	0	793.920	394.320	-61.746	61.566	38.746	24.413	1004.600
	1	0.913	234.810	-14.055	-94.839	24.832	18.349	46.245
	2	-0.440	-0.184	24.835	-0.739	-51.069	-0.329	17.010
	3	0.069	-0.195	-0.047	10.050	-0.114	-23.595	10.279
	4	0.404	0.476	-0.301	-0.011	11.614	65.235	2.874
	5	0.353	0.487	-0.027	-0.303	0.779	60.388	0.218
Ambiente permanente direto	0	1381.500	700.760	-177.130	-57.378	65.544	20.397	1787.500
	1	0.869	470.950	-34.666	-85.148	11.037	17.442	171.690
	2	-0.459	-0.154	107.950	13.730	-39.242	-74.818	90.785
	3	-0.174	-0.443	0.149	78.509	15.300	-15.990	53.055
	4	0.236	0.068	-0.506	0.231	55.757	22.562	17.018
	5	0.107	0.156	-0.140	-0.351	0.588	26.432	0.985
<b>Parâmetros da modelagem de resíduos</b>								
a1= 5.972		a2= 1.017			a3= -0.966			

Tabela 4 - Estimativas de autovalores e (co)variâncias e correlação entre coeficientes de regressão aleatória empregando o modelo M36, para estudos de peso em búfalos da raça Murrah.

Item		0	1	2	3	4	5	$\Lambda$
Genético aditivo direto	0	808.290	398.650	-53.895				1014.100
	1	0.923	230.760	-0.014				50.143
	2	-0.370	-0.000	26.302				11.088
Ambiente permanente direto	0	1381.500	700.760	-177.130	-57.378	65.544	20.397	1787.500
	1	0.869	470.950	-34.666	-85.148	11.037	17.442	171.690
	2	-0.459	-0.154	107.950	13.730	-39.242	-74.818	90.785
	3	-0.174	-0.443	0.149	78.509	15.300	-15.990	53.055
	4	0.236	0.068	-0.506	0.231	55.757	22.562	17.018
	5	0.107	0.156	-0.140	-0.351	0.588	26.432	0.985
<b>Parâmetros da modelagem de resíduos</b>								
a1= 5.971		a2= 1.009			a3= -0.972			

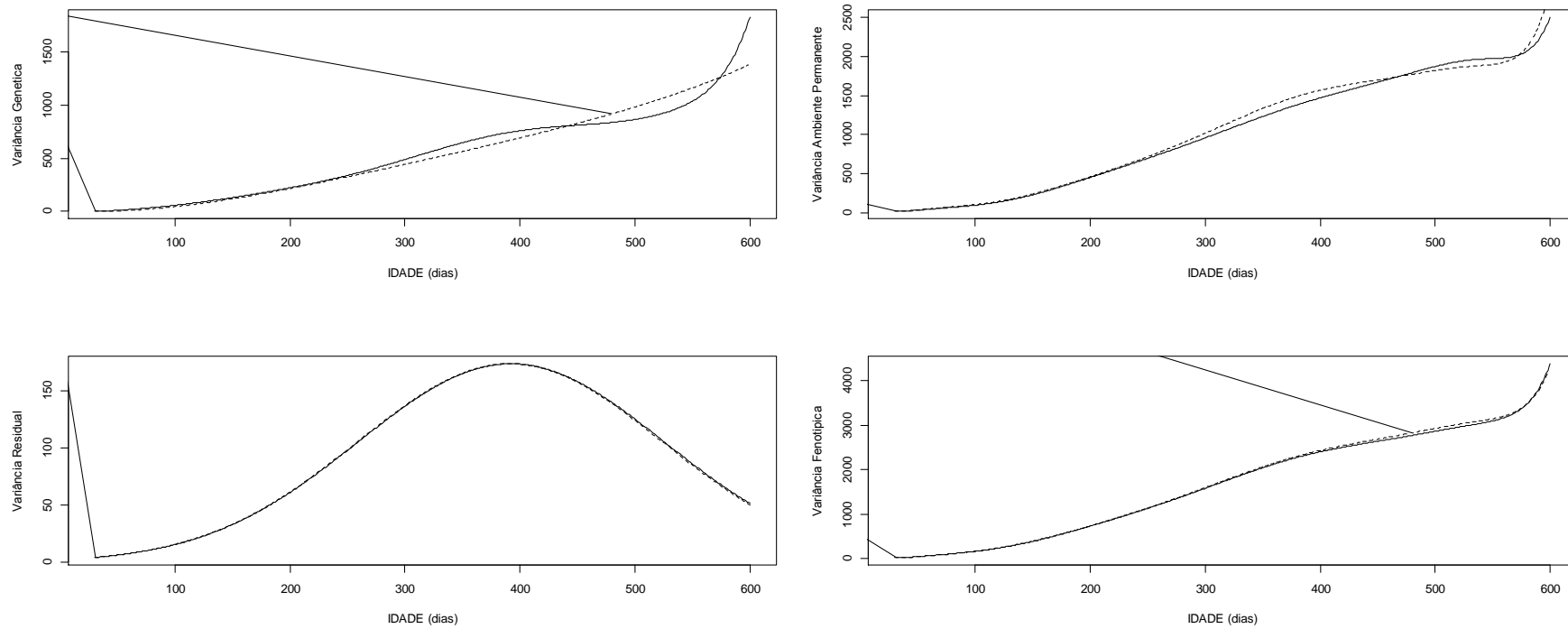


Figura 1 - Estimativas de variância genética, de ambiente permanente, residual e fenotípica de peso até a idade de 600 dias em animais da raça Murrah, empregando os modelos M36 (linha pontilhada) e M66 (linha contínua).



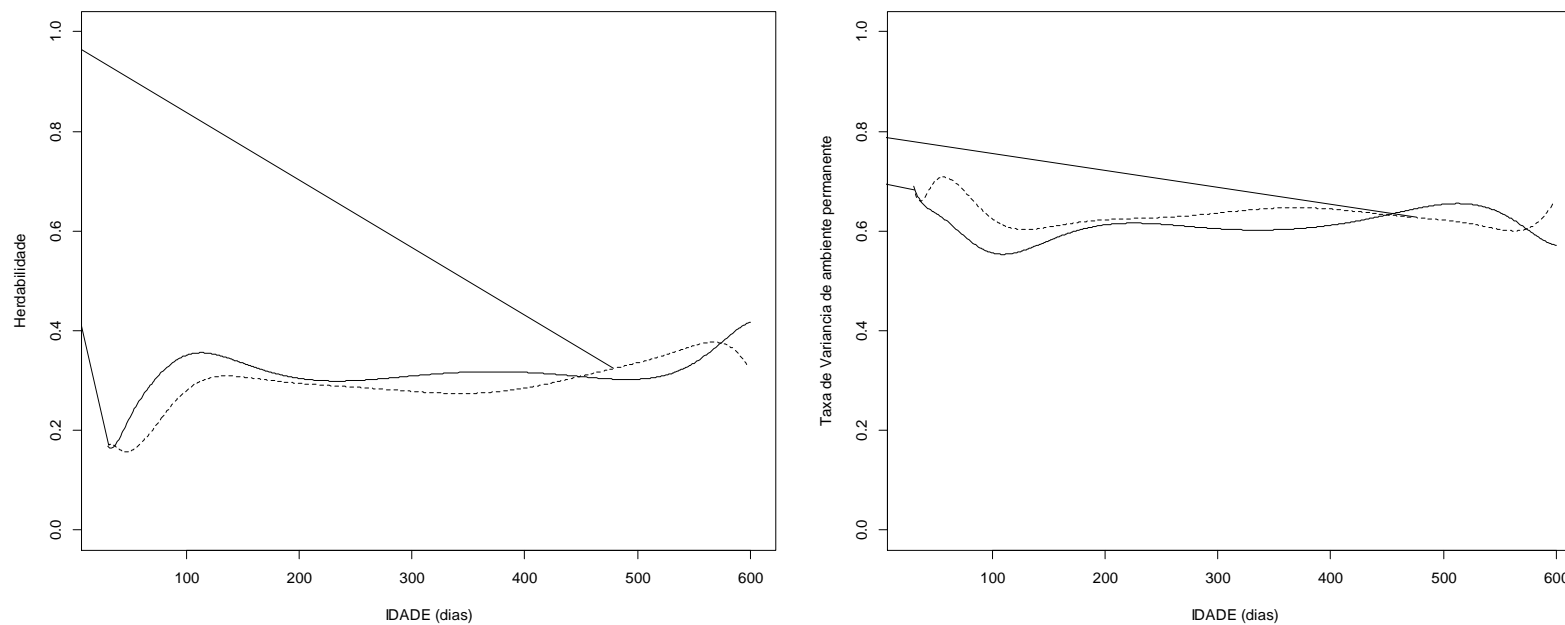


Figura 2: Estimativas de herdabilidade e taxa de variância de ambiente permanente em peso até a idade de 600 dias em animais da raça Murrah, empregando os modelos M36 (linha pontilhada) e M66 (linha contínua).

Tabela 5 – Estimativas de coeficiente de correlação genética obtidos utilizando dos modelos M36 (diagonal inferior) e M66 (diagonal superior), entre pesos medias as idades de 100, 200, 300, 400, 500 e 600 dias em búfalos da raça Murrah.

	100 dias	200 dias	300 dias	400 dias	500 dias	600 dias
100 dias	-	0.881±0.033	0.712±0.059	0.626±0.069	0.644±0.072	0.547±0.079
200 dias	0.981±0.006	-	0.907±0.020	0.801±0.043	0.788±0.051	0.664±0.066
300 dias	0.954±0,013	0.990±0,002	-	0.969±0.009	0.915±0.030	0.865±0.036
400 dias	0.903±0,025	0.953±0,011	0.986±0,003	-	0.966±0.012	0.920±0.028
500 dias	0.810±0,044	0.873±0,028	0.931±0,015	0.980±0.005	-	0.905±0.036
600 dias	0.672±0,068	0.745±0,051	0.828±0,036	0.911±0,019	0.975±0.005	-

Tabela 6 - Estimativas de coeficiente de correlação de ambiente permanente obtidos utilizando dos modelos M36 (diagonal inferior) e M66 (diagonal superior), entre pesos medias as idades de 100, 200, 300, 400, 500 e 600 dias em búfalos da raça Murrah.

	100 dias	200 dias	300 dias	400 dias	500 dias	600 dias
100 dias	-	0.699±0.021	0.525±0.030	0.432±0.034	0.409±0.035	0.454±0.043
200 dias	0.670±0.018	-	0.874±0.010	0.664±0.022	0.586±0.026	0.583±0.035
300 dias	0.453±0.027	0.843±0.009	-	0.912±0.007	0.742±0.018	0.738±0.023
400 dias	0.353±0.030	0.616±0.020	0.911±0.005	-	0.902±0.008	0.769±0.021
500 dias	0.360±0.033	0.560±0.025	0.739±0.016	0.895±0.007	-	0.747±0.024
600 dias	0.413±0.035	0.548±0.029	0.752±0.019	0.772±0.017	0.708±0.022	-