

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL  
CURSO DE DOUTORADO**

**MODELOS DE REGRESSÃO ALEATÓRIA PARA  
ESTIMATIVA DE CURVAS DE CRESCIMENTO E  
INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE EM BOVINOS DA  
RAÇA NELORE CRIADOS NO MATO GROSSO DO SUL**

**Maurício Vargas da Silveira**

**CAMPO GRANDE, MS  
2016**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL  
CURSO DE DOUTORADO**

**MODELOS DE REGRESSÃO ALEATÓRIA PARA  
ESTIMATIVA DE CURVAS DE CRESCIMENTO E  
INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE EM BOVINOS DA  
RAÇA NELORE CRIADOS NO MATO GROSSO DO SUL**

Random regression models for estimate growth curves and genotype by  
environment interaction of the Nellore breed in Mato Grosso do Sul

**Maurício Vargas da Silveira**

**Prof. Dr. Júlio Cesar de Souza (Orientador)**

Tese apresentada à Universidade Federal de  
Mato Grosso do Sul, como requisito à  
obtenção do título de Doutor em Ciência  
Animal.

Área de concentração: Produção Animal.

CAMPO GRANDE, MS  
2016

## **DEDICATÓRIA**

Este trabalho é dedicado aos meus pais Maria Dolores e Mauro, pois sem eles eu não  
haveria chegado até aqui.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Dr. Júlio Cesar de Souza, pela orientação, pelos ensinamentos e pela paciência durante este período.

Aos meus irmãos Murilo, Marcos e Mariana.

Aos companheiros Rosana e Marcos, pela colaboração.

A todos os familiares, amigos e colegas que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

SILVEIRA, M.V. Modelos de regressão aleatória para estimativa de curvas de crescimento e interação genótipo x ambiente em bovinos da raça Nelore criados no Mato Grosso do Sul. 2016. 40 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2016.

No primeiro capítulo objetivou-se comparar modelos não lineares e de regressão aleatória, e identificar aquele que melhor representa curvas de crescimento de bovinos da raça Nelore, além de estimar os parâmetros genéticos através de modelos de regressão aleatória. Foram selecionados oito modelos matemáticos, sendo seis modelos não lineares e dois modelos de regressão aleatória. Os modelos do tipo não linear tiveram os parâmetros estimados por meio do método Gauss-Newton, utilizando-se regressão não linear. Para os modelos de regressão aleatória utilizou-se polinômios de Legendre para modelar a trajetória média de crescimento. Os parâmetros genéticos foram determinados por meio de regressão aleatória, e os efeitos genético aditivo direto, genético materno e de ambiente permanente direto foram modelados por polinômios de Legendre. Com base nas análises de ajustes e comparação de modelo, verificou-se que, dentre os modelos não lineares, o de melhor ajuste, acurácia e precisão foi o modelo Wood, já para os modelos de regressão aleatória, destaca-se o modelo leg422\_5, sendo este superior também a todos os outros modelos avaliados. Existe efeito de sexo e estação de nascimento sobre a estimativa da curva de crescimento, de forma que os parâmetros do modelo devem ser estimados, considerando estes fatores. Maior eficiência na seleção para peso pode ser obtida considerando os pesos pós-desmama, período em que as estimativas de herdabilidade foram superiores. No segundo capítulo, objetivou-se estimar parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de touros da raça Nelore utilizando-se uma metodologia de regressão linear simples e uma metodologia não paramétrica. As características analisadas foram peso aos 420 dias de idade (P420) e idade ao primeiro parto (IPP) de animais criados a pasto em diferentes regiões. O comportamento dos dez touros analisados nas diferentes regiões estudadas para as características P420 e IPP, evidenciaram que os rebanhos e as regiões influenciaram na performance de suas progênes. Por meio das metodologias aplicadas é possível identificar touros com adaptabilidade geral, alta estabilidade e com melhores desempenhos, os quais seriam os mais adequados a se utilizar em rebanhos onde não se conhece o mérito genético das matrizes e o ambiente onde serão criadas as progênes.

**Palavras-chave:** adaptabilidade, herdabilidade, precocidade, temperamento

## ABSTRACT

SILVEIRA, M.V. Random regression models for estimate growth curves and genotype by environment interaction of the Nellore breed in Mato Grosso do Sul. 2016. 40p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2016.

The first goal of this research compare non-linear models and random regression, and identify the one that best represents Nellore cattle growth curves, and estimate genetic parameters using random regression models. eight mathematical models were selected, six non-linear models and two models of random regression. The models of the non linear type parameters were estimated using the Gauss-Newton method using non-linear regression. For random regression models was used Legendre polynomials to model the average growth trajectory. Genetic parameters were determined by random regression, and the direct additive genetic effects, maternal genetic and direct permanent environment were modeled by Legendre polynomials. Based on the analysis of adjustments and model comparison, it was found that among the non-linear models, the best fit, accuracy and precision was the Wood model, as for random regression models, we highlight the leg422\_5 model, which is also higher than all other models evaluated. There effect of sex and birth season on the estimated growth curve, so that the model parameters must be estimated, considering these factors. More efficient selection for weight can be achieved considering the post-weaning weights, during which the heritability estimates were higher. The second goal of this research was to estimate adaptability and stability parameters of Nellore bulls using a simple linear regression methodology and a nonparametric methodology. The traits analyzed were weight at the 420<sup>th</sup> day from birth (W420) and age at first calving (AFC) of animals raised extensively in different regions. The behavior of the ten analyzed bulls for the characteristics W420 and AFC in the different regions studied, indicated that the cattle and the regions influenced the performance of the progenies. Through the methodologies used, it is possible to identify bulls with general adaptabilities, high stabilities, and highest performances, which ones would be more appropriate to insert in a cattle where it's unknown both the genetic merits of females and the territory where the progenies will be raised. The results of the methodologies used on the adaptability and stability estimates partially corroborate.

**Keywords:** adaptability, heritability, precocity, temperament

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
INTRODUÇÃO .....	1
1 Curvas de crescimento.....	2
1.1 Modelos não lineares mais utilizados em curvas de crescimento .....	3
2 Regressão aleatória .....	5
3 Interação genótipo x ambiente.....	7
4 Adaptabilidade e estabilidade fenotípica.....	8
Referências .....	9
CAPÍTULO I – Comparação de modelos não lineares e de regressão aleatória para descrever o crescimentos de bovinos Nelore .....	14
Resumo .....	14
Abstract.....	14
Introdução.....	15
Material e Métodos.....	16
Resultados e Discussão.....	19
Conclusões.....	25
Referências .....	26
CAPÍTULO II – Adaptabilidade e estabilidade fenotípica para características produtivas e reprodutivas em animais da raça Nelore .....	28
Resumo .....	28
Abstract.....	28
Introdução.....	29
Material e Métodos.....	30
Resultados e Discussão.....	34
Conclusões.....	39
Referências .....	40

## INTRODUÇÃO

Na bovinocultura de corte, desejado é que os animais tenham bom acabamento de carcaça em idades mais jovens, sempre buscando aumentar a produtividade e a lucratividade do sistema de produção. Para avaliar o desempenho e o grau de terminação dos animais existem diversas técnicas que podem ser utilizadas a campo. Nesse sentido, a avaliação visual de características relacionadas ao acabamento de carcaça e precocidade de terminação constitui-se não só como uma alternativa, mas como uma importante ferramenta na seleção de bovinos, já que permite identificar de maneira rápida, objetiva e eficiente os animais superiores (COSTA et al., 2009).

Além da avaliação visual, o acompanhamento periódico do peso desde o nascimento até a idade adulta ou até o abate, possibilita estimar curvas de crescimento, as quais são utilizadas para descrever o crescimento do animal ao longo do tempo, auxiliando no estabelecimento de programas alimentares e na definição da idade ótima de abate (MALHADO et al., 2008). A metodologia dos modelos não lineares são amplamente utilizados para descrever estas curvas, apesar desta metodologia tradicional ser eficiente, recentemente por conta dos avanços na área de informática surgiram metodologias com maior acurácia, que além de estimar os parâmetros das curvas de crescimento também estimam simultaneamente os parâmetros genéticos, como no caso dos modelos de regressão aleatória.

Atualmente, os modelos de regressão aleatória têm sido propostos como uma alternativa para modelar características que são mensuradas várias vezes durante a vida do animal, denominadas características repetidas. Seu diferencial encontra-se no fato que eles permitem a predição dos parâmetros da curva em qualquer ponto desejado dentro da amplitude de idade dos valores utilizados (ALBUQUERQUE, 2004).

Embora sejam utilizadas cada vez mais tecnologias que resultem em maior acurácia nas avaliações genéticas, existem possibilidades de um genótipo apresentar expressões fenotípicas diferentes em ambientes distintos, o que ressalta a importância da avaliação da interação entre genótipos e os ambientes em programas de melhoramento genético (CRUZ e REGAZZI, 1997). Sendo que através da magnitude e significância da interação, caberá ao melhorista avaliar a adoção de procedimentos que minimize e, tornar possível o seu aproveitamento.

Todavia, a estimativa da interação genótipo e ambiente não proporciona informações pormenorizadas sobre o comportamento de cada genótipo frente às variações



ambientais. Em virtude disso surgiram metodologias que estimam os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, permitindo assim a identificação de genótipos de comportamento previsível e que sejam responsivos as variações ambientais em condições específicas ou amplas, sendo uma informação fundamental no momento da recomendação dos genótipos melhoradores (CRUZ e REGAZZI, 1997; FALCONER e MACKAY, 1996).

## **1 CURVAS DE CRESCIMENTO**

As curvas de crescimento ou curvas de peso-idade são representadas por curvas sigmóides as quais descrevem uma sequência de medidas de tamanho em função da idade (Exemplo: peso corporal). Os principais objetivos no ajuste de curvas de crescimento são descritivos, de modo que a informação contida numa sequência de pontos peso-idade é reduzida em relativamente poucos parâmetros que tenham interpretação biológica (FITZHUGH, 1976).

Nas etapas iniciais da vida, o crescimento é mais acelerado e o aumento de peso é maior do que aquele que ocorre próximo à idade adulta, observando-se uma curva de evolução sigmoide ascendente. Na medida em que o indivíduo se desenvolve, a velocidade de crescimento se altera e apresenta mudança na curvatura, identificando-se o ponto de maior velocidade de crescimento corporal. Depois deste ponto de inflexão, o crescimento diminui paulatinamente e a taxa de crescimento é cada vez mais lenta. Essa tendência continua até que o crescimento se estabiliza, fato que matematicamente corresponde com a assíntota horizontal (AGUDELO GÓMEZ et al., 2008; THOLON e QUEIROZ, 2009).

A curva de crescimento, que se inicia na fase pré-natal e vai até a maturidade, ao ser demonstrada em um gráfico relacionada ao tempo é expressa por meio de uma curva sigmóide. Essa curva é composta pelo período pré-puberal e pós-puberal. O primeiro envolve a fase de crescimento acelerado ocorrendo logo após a concepção até a puberdade (ponto de inflexão). Ao atingir o ponto de inflexão, a forma da curva é modificada de um crescimento acelerado, observado em animais jovens, para um crescimento desacelerado. Após a puberdade inicia-se a fase de crescimento desacelerado, onde são alcançadas taxas lentas de crescimento até finalmente atingir a fase de inibição ou maturidade fisiológica do animal, onde a curva atinge o platô, sendo o crescimento muito lento ou praticamente inexistente (OWENS et al., 1993; AGUDELO GÓMEZ et al., 2009).

De acordo com Freitas (2005), entre as várias aplicações das curvas de crescimento na produção animal, destacam-se: a) resumir em três ou quatro parâmetros, as características de crescimento da população, pois alguns parâmetros dos modelos não-lineares utilizados possuem interpretação biológica; b) avaliar o perfil de respostas de tratamentos ao longo tempo; c) estudar as interações de respostas das subpopulações ou tratamentos com o tempo; d) identificar em uma população os animais mais pesados em idades mais jovens; essas informações podem ser obtidas investigando-se o relacionamento entre o parâmetro  $k$  das curvas de crescimento, que expressam a taxa de declínio na taxa de crescimento relativa, e o peso limite do animal ou peso assintótico (Sandland e McGilchrist, 1979 citado por Freitas, 2005; Draper e Smith, 1980 citado por FREITAS, 2005; Davidian e Giltinan, 1996 citado por FREITAS, 2005); e) obter a variância entre e dentro de indivíduos de grande interesse nas avaliações genéticas (Mansour et al., 1991 citado por FREITAS, 2005). As aplicações de a) a d) são de interesse geral nos estudos de curvas de crescimento.

O interesse por curvas de crescimento tem aumentado nos últimos anos, em consequência do desenvolvimento de novas técnicas computacionais que permitem maior rapidez e precisão das análises e também de uma maior necessidade de se prever informações sobre os rebanhos (SILVA et al., 2001).

### **1.1 MODELOS NÃO LINEARES MAIS UTILIZADOS EM CURVAS DE CRESCIMENTO**

Sabe-se que o crescimento dos bovinos não se apresenta de forma linear. Neste sentido, os modelos não lineares foram propostos para relacionar a medida corporal à idade, entre os quais se destacam: Brody, Richards, Von Bertalanffy, Logístico e Gompertz.

O estudo de curvas de crescimento utilizando modelos não lineares é flexível devido permitir situações inerentes aos dados de pesagens. Dentre essas situações podemos citar a irregularidade do intervalo de duas medidas consecutivas, permitindo, portanto que as mesmas não sejam necessariamente equidistantes; a estruturação incompleta dos dados; a correlação estreita entre as avaliações adjacentes em relação às demais e a variância crescente da resposta dos indivíduos em função do tempo (FREITAS, 2005).

As funções não lineares contém diversos parâmetros em comum e embora existam variações quanto à interpretação e conteúdo, é possível associar significado biológico a

cada um deles (SILVA, 2009). Os modelos não-lineares de Brody, Von Bertalanffy, Logístico e Gompertz possuem os parâmetros  $a$ ,  $B$ ,  $k$ , e o de Richards possuem o parâmetro  $m$  a mais (FREITAS, 2005). Os não lineares mais utilizados para descrever o crescimento animal e suas equações estão descritos na Tabela 1.

Em que:

$y$  = representa o peso corporal (kg) na idade  $t$ ;

$a$  = é peso assintótico quando  $t$  tende a infinito, ou seja, esse parâmetro é interpretado como peso à idade adulta;

$B$  = é uma constante de integração, relacionada aos pesos iniciais do animal e sem interpretação biológica bem definida. O valor de  $B$  é estabelecido pelos valores iniciais de  $y$  e  $t$ ;

$k$  = taxa de maturação, que deve ser entendida como a mudança de peso em relação ao peso a maturidade;

$m$  = constante que define o ponto de inflexão, ou seja, da forma da curva;

$e$  = é a base do logaritmo natural.

Tabela 1 - Modelos não lineares mais utilizados para descrição das curvas de crescimento em bovinos de corte

Modelo	Equação	Número de parâmetros
Brody	$y_t = A(1 - Be^{-kt})$	3
Von Bertalanffy	$y_t = A(1 - Be^{-kt})^3$	3
Logístico	$y_t = A(1 - Be^{-kt})^{-1}$	3
Gompertz	$y_t = Ae^{Be^{-kt}}$	3
Richards	$y_t = A(1 - Be^{-kt})^m$	4

Fonte: Adaptado de Echeverri (2011) e Tholon et al. (2012).

Dentre os parâmetros das curvas de crescimento, os de maiores interesse como critérios de seleção estão o peso assintótico ( $a$ ) e a taxa de maturação ( $k$ ), devido à impossibilidade de medir o peso dos animais na idade adulta, pois são abatidos antes da maturidade (FREITAS, 2007; LOPES et al., 2011; SOUZA et al., 2010). McManus et al. (2003) salientaram que a relação biológica mais importante esta entre os parâmetros “ $A$ ” e “ $k$ ”. A correlação negativa entre estes parâmetros indica que animais com taxas de crescimento mais elevadas têm menor probabilidade de atingir maiores pesos na maturidade, comparado com aqueles que crescem mais lentamente no início da vida.

De forma geral, estes modelos têm por objetivo descrever uma trajetória da variável dependente (peso), em função da variável independente (tempo ou idade). Geralmente, a diferença entre estes modelos citados é dada pela definição do ponto de

inflexão da curva, que confere uma forma sigmoide a mesma (OWENS et al., 1993; AGUDELO GÓMEZ et al., 2008; AGUDELO GÓMEZ et al., 2009).

Na literatura são citados vários modelos para descrever o crescimento animal, cada um com suas vantagens e desvantagens sob o ponto de vista estatístico e a escolha do modelo mais adequado para estimar o crescimento em função da idade é dependente, entre outros fatores, da raça, do ambiente, da idade do animal nas últimas pesagens e do modelo propriamente dito (SILVA et al., 2011).

## **2 REGRESSÃO ALEATÓRIA**

No Brasil, a regressão aleatória vem sendo amplamente utilizada em estudos de populações da raça Nelore por considerar a presença de heterogeneidade da variância residual, ajustando diferentes estimativas em diferentes períodos ao longo da trajetória de crescimento dos animais, permitindo assim a maior precisão nas estimativas de parâmetros genéticos com maior acurácia nas predições de valores genéticos (BALDI et al., 2010; ARAÚJO et al., 2016). Alguns autores relataram que esta metodologia mostrou-se adequada para descrever as mudanças nas variâncias dos pesos corporais com a idade para as raças Canchim, Tabapuã e Brahman (BALDI et al., 2010; SOUSA JÚNIOR et al., 2010; BERTIPAGLIA et al., 2015).

A maioria dos autores utilizam regressões sobre polinômios de Legendre para modelar os dados longitudinais (ALBUQUERQUE e EL FARO, 2008; NESER et al., 2012; BERTIPAGLIA et al., 2015). Esta metodologia permite estimar e prever parâmetros e valores genéticos para qualquer idade desejada sem que se precise fazer o pré-ajuste dos pesos, mesmo para idades em que o animal não tenha sido mensurado (ARAÚJO et al., 2016).

Estruturas de covariância genética diferentes para cada ambiente exigem estratégias de seleção particulares para diferentes ambientes, pois critérios de seleção estabelecidos com valores genéticos preditos com base em estruturas genéticas não adequadas poderiam resultar em ganhos genéticos diferenciados para cada ambiente do que seria esperado. Diferenças na estrutura de covariância entre coeficientes de regressão aleatória levariam também a diferentes resultados, caso os coeficientes de regressão aleatória fossem utilizados como critério de seleção. Dessa maneira, há necessidade de se caracterizarem estruturas de covariância para diferentes ambientes (VALENTE et al., 2008).

Entre as vantagens da metodologia de MRA, reside o fato de que os parâmetros de uma característica quantitativa são descritos como uma função sob uma escala contínua, ocasionando mudança no panorama descontínuo das estimativas de variâncias e covariâncias (KIRKPATRICK et al., 1990). Entretanto, a aplicação de MRAs requer número considerável de parâmetros para descrever as funções de covariâncias associadas, principalmente de funções de covariâncias relacionadas ao crescimento de gado de corte em idades precoces, o qual está sujeito aos efeitos genéticos e de ambiente permanente materno, entre outros (MEYER, 2002).

Outra vantagem do uso de modelos de regressão aleatória na descrição do crescimento ponderal de bovinos consiste em considerar a presença de heterogeneidade da variância residual, ajustando diferentes estimativas em diferentes períodos ao longo da trajetória de crescimento dos animais, permitindo maiores estimativas de parâmetros genéticos e acurácia nas predições de valores genéticos, bem como a possibilidade de se obter parâmetros genéticos e valores genéticos para qualquer idade do animal ao longo da curva de crescimento (NEHLS, 2013).

A aplicação de MRA para características de crescimento em bovinos permite estimar e prever parâmetros e valores genéticos para qualquer idade desejada, mesmo para idades em que o animal não tenha sido mensurado. Com a utilização desses modelos, não há necessidade de se criar classes de idades ou de utilizar fatores de ajuste para idade, uma vez que esta está incluída na matriz de delineamento. Além disto, esses modelos permitem a utilização eficiente de toda a informação disponível de cada animal, já que todas as medidas do animal e de seus parentes são utilizadas para a avaliação genética, com potencial aumento da acurácia das estimativas (NEHLS, 2013).

Nesta metodologia, uma família de funções adequadas para funções de covariância são os polinômios ortogonais de Legendre, os quais fornecem a covariância entre as medidas em quaisquer das idades como uma ordem mais elevada de polinômio das idades registradas, sendo utilizados em modelos de regressão aleatória, para estimar funções de covariância em estudos de crescimento de bovinos de corte (NOBRE et al., 2003; MOTA et al., 2013).

Existem algumas desvantagens na utilização de polinômios ortogonais em dados de crescimento de bovinos, tais como de inconsistências nas variâncias e covariâncias em idades extremas, em razão do maior ênfase que os polinômios colocam nas observações localizadas nos extremos da curva e problemas com polinômios de alto grau,

principalmente para modelar os efeitos de ambiente permanente do animal, o que eleva o número de parâmetros a serem estimados e consequente aumento nas exigências da capacidade computacional e nos erros das estimativas (ALBUQUERQUE e MEYER, 2001).

Sakaguti et al. (2003) aplicaram modelos de regressão aleatória para estimar funções de covariância para pesos entre 365 e 550 dias de idade em bovinos da raça Tabapuã, concluindo que tais modelos permitiram estimar componentes de variâncias em qualquer idade. Dias et al. (2006) estimaram parâmetros genéticos para peso do nascimento aos 550 dias de idade em bovinos da raça Tabapuã através de modelos de regressão aleatória e concluíram que tais modelos mostraram-se adequados para descrever as mudanças de variâncias dos pesos. Mota (2012), após o trabalho realizado com um rebanho Simental indicou o uso dos modelos de regressão aleatória nas avaliações genéticas dos programas de melhoramento de bovinos da raça.

### **3 INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE**

Por definição, a interação genótipo x ambiente é o termo utilizado para descrever o fenômeno que ocorre quando um conjunto de genótipos muda seu desempenho relativo em ambientes diferentes (FALCONER e MACKAY, 1996). Segundo Dickerson (1962), a mudança genética em um ambiente diferente do ambiente de seleção é proporcional a correlação genética entre os desempenhos nos dois ambientes. As correlações genéticas, entre a mesma característica em ambientes diferentes, quando altas, evidenciam pouca importância da interação genótipo x ambiente, e, quando baixas, indicam que os desempenhos são diferentes.

Animais superiores em uma região ou país podem não ter o mesmo resultado em outro. Isso sugere que a escolha de um animal apropriado para uma determinada região (ou país) é específico, podendo este não ter a mesma resposta em outra região (LOPES et al., 2008; ESPASANDIN et al., 2011; SILVEIRA et al., 2014).

Toral et al. (2004) estudaram o efeito da interação genótipo-ambiente em bovinos Nelore criados em três microrregiões do Mato Grosso do Sul e constataram evidências deste efeito para os pesos indicadores de desenvolvimento ponderal. Trabalhando com peso ao desmame em animais da raça nelore, Souza et al. (2003) também detectaram a interação genótipo x ambiente entre as microrregiões do estado de Mato Grosso do Sul. Carolino et al. (2007) trabalhando com características reprodutivas (IPP e IEP) em

bovinos da raça Alentejana em Portugal, não observaram indícios de interação genótipo ambiente sobre as características estudadas.

Outra forma de se avaliar a existência de interação genótipo x ambiente é por meio da correlação de ordem entre os valores genéticos preditos para a mesma característica medida nos ambientes de interesse ou pelo ordenamento entre os reprodutores com base nos valores genéticos preditos para a mesma característica nos diferentes ambientes estudados (SILVEIRA et al., 2014).

A correta avaliação do genótipo por intermédio de seu fenótipo constitui a base de todos os programas de melhoramento genético. Na presença de interação, entretanto, essa avaliação poderá variar de um ambiente para outro, resultando em mudança na ordem de classificação dos genótipos ou, ainda, na magnitude de suas diferenças (SILVEIRA et al., 2014).

#### **4 ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE FENOTÍPICA**

Existem possibilidades de um genótipo apresentar expressões fenotípicas diferentes em ambientes distintos, o que ressalta a importância da avaliação da interação entre genótipos e os ambientes em programas de melhoramento genético (CRUZ e REGAZZI, 1997). Através da magnitude e significância da interação, caberá ao melhorista avaliar a adoção de procedimentos que minimize e, tornar possível o seu aproveitamento.

Todavia, a interação não proporciona informações pormenorizadas sobre o comportamento de cada genótipo frente às variações ambientais (CRUZ e REGAZZI, 1997). Para isso, Schmildt e Cruz (2005), sugeriram para o melhoramento de plantas duas alternativas práticas para minimizar os efeitos da interação entre genótipos e os ambientes. A primeira baseia-se na formação de estratos que contenham sub-regiões mais homogêneas, o que poderá dar subsídios ao descarte de ambientes em caso de escassez de recursos, situação que não ocorre no melhoramento animal; já a segunda alternativa, particulariza os genótipos, empregando daqueles com ampla adaptabilidade e boa estabilidade.

Portanto, estudar estabilidade e adaptabilidade auxilia na identificação de genótipos de comportamento previsível e que sejam responsivos as variações ambientais em condições específicas ou amplas, sendo uma informação fundamental no momento da recomendação dos genótipos melhoradores (CRUZ e REGAZZI, 1997; FALCONER e MACKAY, 1996).

Diversos métodos têm sido propostos para a avaliação da estabilidade e adaptabilidade fenotípica, e as diferenças entre esses métodos é baseada nos próprios conceitos e procedimentos biométricos para quantificar a interação (MOLINA, 2007). Lavoranti (2003) relata como os principais conceitos para o termo estabilidade, a capacidade de um indivíduo e/ou população de produzir variações mínimas de fenótipos em diferentes ambientes, o potencial para ajustar o seu estado genotípico e fenotípico às flutuações ambientais, a capacidade de os genótipos mostrarem um comportamento altamente previsível em função do estímulo ambiental. A adaptabilidade refere-se à capacidade de os genótipos aproveitarem vantajosamente os estímulos do ambiente.

Existem diversos métodos para estimar os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade os quais são baseados em: análise de variância, regressão linear simples, análise de regressão linear bi-segmentada, análise de regressão quadrática, análises não lineares, análises não paramétricas e análises multivariadas.

Barros et al. (2006) avaliaram 39.212 pesos à desmama e 16.546 pesos aos 12 meses e ganhos de peso até 160 dias de idade, de bovinos cruzados de nove composições genotípicas e avaliados em seis fazendas do Brasil. Os autores estimaram parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, utilizando o método proposto por Eberhart e Russel, (1966) e Cruz et al. (1989) e concluíram que as análises de adaptabilidade pelo método de regressão podem ser úteis em discriminar o comportamento das combinações genotípicas dentro dos diferentes ambientes de criação.

Marçal et al. (2014) estimaram estabilidade e adaptabilidade de touros Tabapuã para característica de desempenho, e observaram que o desempenho dos touros depende, em grande parte, da variabilidade genética das matrizes para a característica estudada nos diferentes rebanhos, o que permite a recomendação de reprodutores específicos para cada rebanho. E que as análises de adaptabilidade e estabilidade discriminam diferenças de desempenho nos rebanhos e identificam touros perfeitamente adaptados e estáveis, com adaptação geral, com adaptação específica a ambientes favoráveis e desfavoráveis.

## REFERÊNCIAS

AGUDELO GÓMEZ, D.A.; MUÑOZ, M.F.C.; BETANCUR, L.F.R. Modelación de las funciones de crecimiento aplicadas a la producción animal. **Revista Colombiana de Ciências Pecuárias**, Medellín, v. 21, n.1, 2008.

AGUDELO GÓMEZ, D.; LUGO, N.H.; MUÑOZ, M.F.C. Growth curves and genetic parameters in Colombian Buffaloes (*Bubalus bubalis* Artiodactyla, Bovidae). **Revista Colombiana de Ciências Pecuárias**, Medellín, v. 22, n.2, 2009.



ALBUQUERQUE, L.G. Regressão Aleatória: Nova tecnologia pode melhorar a qualidade das avaliações genéticas. In: V Simpósio da Sociedade Brasileira de Melhoramento Animal, **Palestra...** Pirassununga-SP, 2004. CD-Room.

ALBUQUERQUE, L.G.; EL FARO, L. Comparações entre os valores genéticos para características de crescimento de bovinos da raça Nelore preditos com modelos de dimensão finita ou infinita. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.238-246, 2008.

ALBUQUERQUE, L.G.; MEYER, K. Estimates of covariance functions for growth from birth to 630 days of age in Nelore cattle. **Journal of Animal Science**, v. 79, p. 2776-2789, 2001.

ARAÚJO, C.V.; NEHLS, W.F.; LAUREANO, M.M.M.; ZUBLER, R.; LÔBO, R.B; FIGUEIREDO, L.G.G.; ARAÚJO, S.I.; BEZERRA, L.A.F. Modelos de regressão aleatória para características de crescimento de bovinos da raça Nelore do estado de Mato Grosso. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.68, p.448-456, 2016.

BALDI F.; ALBUQUERQUE, L. G.; ALENCAR, M. M. Random regression models on Legendre polynomials to estimate genetic parameters for weights from birth to adult age in Canchim cattle. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v.127, p.289-299, 2010.

BARROS, J. B. G.; BALEIRO, J. C. C.; ELER, J. P.; FERRAZ, J. B. S; BALIEIRO, E. S.; MATTOS, E. C. Estimativas e estabilidade fenotípica em características produtivas em bovinos de corte mestiços criados em diferentes ambientes. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.58, p.590-598, 2006.

BERTIPAGLIA, T. S.; CARREÑO, L. O. D.; ASPILCUETA-BORQUIS, R. R.; BOLIGON, A. A.; FARAH, M. M.; GOMES, F. J.; MACHADO, C. H. C.; REY, F. S. B.; FONSECA, R. Estimates of genetic parameters for growth traits in Brahman cattle using random regression and multitrait models, **Journal of Animal Science**, v.93, p.3814-3819, 2015.

CAROLINO, N.; GAMA, L.T.; ESPADINHA, P. Interações genótipo x ambiente em caracteres reprodutivos e de crescimento de bovinos Alentejanos. **Archivos de Zootecnia**, v.56, p.634-640, 2007.

COSTA, G. Z.; QUEIROZ, S. A.; OLIVEIRA, J. A; FRIES, L. A. Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos de escores visuais de ganho médio de peso do nascimento a desmama de bovinos formadores da raça Brangus. **Arquivos de Veterinária**, v. 24, p.172-176, 2009.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 1997. 390p.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, UFV, 1989. 585p.

DIAS, L. T.; ALBUQUERQUE, L. G.; TONHATI, H.; TEIXEIRA, R. A. Estimação 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**, v. 35, n. 5, p. 1915-1925, 2006.

DICKERSON, G.E. Implication of genetic-environmental interaction in animal breeding. **Animal Production**, v.4, p.47-63, 1962.

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop. Science**, v.6, p.36-40, 1966.

Echeverri, A.M.L. Utilização de modelos não-lineares para descrever o crescimento do perímetro escrotal em ruminantes. **Veterinária e Zootecnia**. v.5, n.2, 2011.

ESPASANDIN, A.C.; URIOSTE, J.I.; CAMPOS, L.T., ALENCAR, M.M. Genotype x country interaction for weaning weight in the Angus populations of Brazil and Uruguay. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, p.568-574, 2011.

FALCONER, D. S., MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4ed. England: Longman, 1996. 463p.

FITZHUGH JUNIOR, H. A analysis of growth curves and strategies for altering their shapes. **Journal of Animal Science**, v.42, n.4, 1976.

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

FREITAS, A. R. Estimativas de curvas de crescimento na produção animal. Embrapa Pecuária Sudeste. **Documentos 68**, 2007. Disponível em: < <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPPSE/17106/1/Documentos68.pdf>>. Acesso em: 01 Jun. 2016.

KIRKPATRICK, M., LOFSVOLD, D., BULMER, M. Analysis of the inheritance, selection and evolution of growth trajectories. **Genetics**, v.124, p.979-993, 1990.

LAVORANTI, O. J. **Estabilidade e adaptabilidade fenotípica através da reamostragem “bootstrap” no modelo AMMI**. 2003. 166f. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agrônômica) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

LOPES, J.S.; RORATO, P.R.N.; WEBER, T.; BOLIGON, A.A.; COMIN, J.G.; DORNELLES; M.A. Efeito da interação genótipo x ambiente sobre o peso ao nascimento, aos 205 e aos 550 dias de idade de bovinos da raça Nelore na Região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.54-60, 2008.

LOPES, F.B.; SILVA, M.C.; MARQUES, E.G. et al. Ajustes de curvas de crescimento em bovinos Nelore da região Norte do Brasil. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**. v.12, n.3, 2011.

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 e Produção Animal**, v.9, p.210-218, 2008.

MARÇAL, M. F.; FERRAZ FILHO, P. B.; SOUZA, J. C.; SILVA, L. O. C.; GOMES, F. J.; FREITAS, J. A. Estabilidade e adaptabilidade de touros Tabapuã para característica de desempenho em função do índice de rebanhos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.66, p.195-202, 2014.

MCMANUS, C.; EVANGELISTA, C. FERNANDES, L. A. C.; MIRANDA, R. M.; MORENO-BERNAL, F.E.; SANTOS, N. R. Curvas de Crescimento de Ovinos

Bergamácia Criados no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.5, 2003.

MEYER, K. Estimative of covariance functions for growth of Australian beef cattle from a large set of field data. In: WORLD CONGRESS ON GENETICS APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION, 7, 2002, Montpellier. **Proceedings...** Montpellier, 2002. 1 CD-ROM.

MOLINA, L. M. R. **Um estudo sobre métodos estatísticos na avaliação de interação genótipo x ambiente em linhagens de arroz (*Oryza sativa* L).** 2007. 68f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal.

MOTA, R. R. **Avaliação genética do crescimento de bovinos da raça Simental utilizando modelos multicaracterísticos e de regressão aleatória.** 2012. 112f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

MOTA, R.R.; MARQUES, L.F.A.; LOPESP.S., et al. Genetic evaluation using multitrait and random regression models in Simmental beef cattle. **Genetics and Molecular Research**. v.12, p.2465-2480, 2013.

NEHLS, W. L. **Variabilidade genética do desenvolvimento ponderal em bovinos da raça Nelore no Mato Grosso.** 2013. 54f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Mato Grosso.

NESER, F.W.C.; VAN WYK, J.B.; FAIR, M.D.; LUBOUT, P. Genetic evaluation of growth traits in beef cattle using random regression models. **South African Journal of Animal Science**, v.42, p.474-477, 2012.

NOBRE, P.R.C.; MISZTAL, I.; TSURUTA, S. et al. Analyses of growth curves of Nelore cattle by multiple-trait and random regression models. **Journal of Animal Science**, v.81, p.918-926, 2003.

OWENS, F.N.; DUBESKI, P.; HANSON, C.F. Factors that alter the growth and development of ruminants. **Journal of Animal Science**, v. 71, n.11, 1993.

SAKAGUTI, E.S.; SILVA, M. A.; QUAAS, R. L.; MARTINS, E. N.; LOPES, P. S.; SILVA, L. O. C. Avaliação do crescimento de bovinos jovens da raça Tabapuã, por meio de análises de funções de covariâncias. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 4, p. 864-874, 2003.

SCHMILDT, E. R.; CRUZ, C. D. Análise da adaptabilidade e estabilidade do milho pelos métodos de Eberhart e Russell (1966) e de Annicchiarico (1992). **Revista Ceres**, v. 52, p.45-58, 2005.

SILVA, F.F.; AQUINO, L.H.; OLIVEIRA, J.A. Influências de fatores genéticos e ambientais sobre as estimativas dos parâmetros das funções de crescimento em gado Nelore. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.25, n.5, 2001.

SILVA, F.L. **Curvas de crescimento e produtividade de vacas Nelore e cruzadas, de diferentes tipos biológicos, em sistema de produção intensiva.** 2009. 88f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SILVEIRA, M.V.; SOUZA, J.C.; SILVA, L.O.C.; FREITAS, J.A.; GONDO, A.; FERRAZ FILHO, P.B. interação genótipo x ambiente sobre características produtivas e reprodutivas de fêmeas Nelore. **Archivos de Zootecnia**, v.63, p.223-226, 2014.

SOUSA JÚNIOR, S.C.; OLIVEIRA, S. M. P.; ALBUQUERQUE, L. G.; BOLIGON, A. A.; MARTINS FILHO, R. Estimação de funções de covariância para características de crescimento da raça Tabapuã utilizando modelos de regressão aleatória. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 1037-1045, 2010.

SOUZA, J.C.; GADINI, C.H.; SILVA, L.O.C.; RAMOS, A.A.; EUCLIDES FILHO, K.; ALENCAR, M.M.; FERRAZ FILHO, P.B.; VAN VLECK, L.D. Estimates of genetic parameters and evaluation of genotype x environment interaction for weaning weight in Nelore cattle. **Archivos Latinoamericanos de Produccion Animal**, v.11, p.94-100, 2003.

SOUZA, L.A.; CAIRES, D.N.; CARNEIRO, P.L.S. Curvas de crescimento em bovinos da raça Indubrasil criados no estado do Sergipe. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n.4, 2010.

THOLON, P.; QUEIROZ, S.A. Modelos matemáticos utilizados para descrever curvas de crescimento em aves aplicados ao melhoramento genético animal. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.7, 2009.

THOLON, P.; PAIVA, R.D.M.; MENDES, A.R.A.; BARROZO, D. utilização de funções lineares e não lineares para ajuste do crescimento de bovinos Santa Gertrudis, criados a pasto. **ARS VETERINARIA**, v.28, n.4, 2012.

TORAL, F.L.B.; SILVA, L.O.C.; MARTINS, E.N.; GONDO, A.; SIMONELLI, S.M. Interação genótipo x ambiente em características de crescimento de bovinos da raça Nelore no Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 33, p.1445-1455, 2004.

VALENTE, B.D.; SILVA, M.A.; SILVA, L.O.C.; BERGMANN, J.A.G.; PEREIRA, J.C.C.; FRIDRICH, A.B.; FERREIRA, I. C.; CORRÊA, G. S. S. 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**, v.60, p.389-400, 2008.

## **Comparação de modelos não lineares e de regressão aleatória para descrever o crescimento de bovinos Nelore**

Comparison of nonlinear models and random regression to describe the growth curve of the Nelore breed

**Resumo:** Objetivou-se comparar modelos não lineares e de regressão aleatória, e identificar aquele que melhor representa curvas de crescimento de bovinos da raça Nelore, além de estimar os parâmetros genéticos através de modelos de regressão aleatória. Foram selecionados oito modelos matemáticos, sendo seis modelos não lineares e dois modelos de regressão aleatória. Os modelos do tipo não linear tiveram os parâmetros estimados por meio do método Gauss-Newton, utilizando-se regressão não linear. Para os modelos de regressão aleatória utilizou-se polinômios de Legendre para modelar a trajetória média de crescimento. Os parâmetros genéticos foram determinados por meio de regressão aleatória, e os efeitos genético aditivo direto, genético materno e de ambiente permanente direto foram modelados por polinômios de Legendre. Com base nas análises de ajustes e comparação de modelo, verificou-se que, dentre os modelos não lineares, o de melhor ajuste, acurácia e precisão foi o modelo Wood, já para os modelos de regressão aleatória, destaca-se o modelo leg422\_5, sendo este superior também a todos os outros modelos avaliados. Existe efeito de sexo e estação de nascimento sobre a estimativa da curva de crescimento, de forma que os parâmetros do modelo devem ser estimados, considerando estes fatores. Maior eficiência na seleção para peso pode ser obtida considerando os pesos pós-desmama, período em que as estimativas de herdabilidade foram superiores.

**Termos de indexação:** classes de variâncias residuais, herdabilidade, parâmetros genéticos, polinômios de Legendre

**Abstract:** The objective to compare non-linear models and random regression, and identify the one that best represents Nelore cattle growth curves, and estimate genetic parameters using random regression models. eight mathematical models were selected, six non-linear models and two models of random regression. The models of the non linear type parameters were estimated using the Gauss-Newton method using non-linear regression. For random regression models was used Legendre polynomials to model the

average growth trajectory. Genetic parameters were determined by random regression, and the direct additive genetic effects, maternal genetic and direct permanent environment were modeled by Legendre polynomials. Based on the analysis of adjustments and model comparison, it was found that among the non-linear models, the best fit, accuracy and precision was the Wood model, as for random regression models, we highlight the leg422\_5 model, which is also higher than all other models evaluated. There effect of sex and birth season on the estimated growth curve, so that the model parameters must be estimated, considering these factors. More efficient selection for weight can be achieved considering the post-weaning weights, during which the heritability estimates were higher.

**Index terms:** genetic parameters, heritability, Legendre polynomials, residual variance class

## **Introdução**

Nas avaliações genéticas de bovinos de corte, os pesos corporais tomados ao longo da vida dos animais são as principais fontes de informação. Para padronizar as análises, os programas de melhoramento estabelecem determinadas idades às quais os pesos são ajustados antes de serem avaliados, sendo conhecidas como idades-padrão. Este procedimento pode facilitar a seleção no rebanho e permite comparações com outros rebanhos ou regiões, porém pode diminuir a precisão na avaliação genética (Valente et al., 2008; Boligon et al., 2009).

Outra forma de descrever o crescimento animal, é o uso de estimativas de curvas de crescimento objetivando, por meio da seleção, alterar o desempenho do animal como uma das maneiras de se conseguir animais que atinjam o peso de abate mais cedo sem grandes acréscimos no tamanho corporal (Garnero et al., 2005; Gonçalves et al., 2011).

Diversos modelos não lineares (Brody, Richards, Von Bertalanffy, Logístico e Gompertz) são utilizados para estudos de crescimento em bovinos de corte (Souza et al., 2010; Lopes et al., 2011), contudo, por conta dos avanços na área de informática, metodologias com maior acurácia, como no caso os modelos de regressão aleatória que estimam simultaneamente as curvas de crescimento e os parâmetros genéticos tem sido também empregados.

A maioria dos autores utilizam regressões sobre polinômios de Legendre para modelar os dados longitudinais (Albuquerque e El Faro, 2008; Naser et al., 2012; Bertipaglia et al., 2015). Esta metodologia permite estimar e prever parâmetros e valores genéticos para qualquer idade desejada sem que se precise fazer o pré-ajuste dos pesos, mesmo para idades em que o animal não tenha sido mensurado (Araújo et al., 2016).

No Brasil, a regressão aleatória vem sendo amplamente utilizada em estudos de populações da raça Nelore por considerar a presença de heterogeneidade da variância residual, ajustando diferentes estimativas em diferentes períodos ao longo da trajetória de crescimento dos animais, permitindo assim a maior precisão nas estimativas de parâmetros genéticos com maior acurácia nas predições de valores genéticos (Baldi et al., 2010; Araújo et al., 2016). Alguns autores relataram que esta metodologia mostrou-se adequada para descrever as mudanças nas variâncias dos pesos corporais com a idade para as raças Canchim, Tabapuã e Brahman (Baldi et al., 2010; Sousa Júnior et al., 2010; Bertipaglia et al., 2015).

Apesar de diversos autores terem afirmado que os modelos de regressão aleatória tem maior acurácia na estimativa das curvas de crescimento e parâmetros genéticos, são escassos os trabalhos que comparam os resultados desta metodologia com os modelos não lineares. Nesse sentido, objetivou-se comparar modelos não lineares e de regressão aleatória, e identificar aquele que melhor representa curvas de crescimento de bovinos da raça Nelore, além de estimar os parâmetros genéticos através de modelos de regressão aleatória.

## **Material e Métodos**

Foram utilizados registros de peso do nascimento aos 650 dias de idade, de animais da raça Nelore criados a pasto na região de Campo Grande-Dourados no estado de Mato Grosso do Sul, nascidos entre 1986 e 2012 e, provenientes da Associação Brasileira de Criadores de Zebu – ABCZ. Toda a manipulação do arquivo de dados foram realizadas pelo software SAS (Statistical Analysis System).

Foram selecionados oito modelos matemáticos, sendo seis modelos não lineares e dois modelos de regressão aleatória. Os modelos do tipo não linear (Tabela 1) tiveram os parâmetros estimados por meio do método Gauss-Newton, utilizando-se regressão não linear, pelo procedimento NLIN do SAS.

Tabela 1. Modelos de regressão não linear utilizados para descrever curvas de crescimento

Modelo	Equação	Nº de parâmetros
Brody	$Y = A(1 - Be^{-kt})$	3
Gompertz	$Y = A \exp(-Be^{-kt})$	3
Logístico	$Y = A(1 - Be^{-kt})^{-m}$	4
Wood	$Y = A(1 - Be^{-kt})$	3
Von Bertalanffy	$Y = A(1 - Be^{-kt})^m$	4
Meloun I	$Y = A - (Be^{-kt})$	3

Na Tabela 1, a variável dependente  $Y$  representa o peso do animal à idade ( $t$ );  $t$  é a idade do animal; o parâmetro  $A$  corresponde ao peso assintótico do animal, sendo este o valor de  $Y$  quando a idade ( $t$ ) se aproxima do  $\infty$ , podendo estimar a diferença de crescimento do nascimento a maturidade; o parâmetro  $B$ , também chamado de constante de integração, está relacionado às variações nas velocidades de crescimento;  $k$  é o parâmetro que mede velocidade em que o animal se aproxima do seu peso a maturidade. Os modelos Von Bertalanffy e Logístico possuem o parâmetro  $m$ , com os valores 3 e -1, respectivamente, sendo estas relacionadas ao ponto de inflexão.

Para os modelos de regressão aleatória além das curvas de crescimento também se estimaram os parâmetros genéticos, para isso considerou-se como fixos os efeitos de grupo de contemporâneo e, como co-variáveis, a idade do animal à pesagem e idade da vaca ao parto aninhada a classe de idade do animal (efeitos linear e quadrático), sendo formadas oito classes de idade. Como aleatórios, foram considerados os efeitos genéticos aditivo direto, genético materno e de ambiente permanente de animal. Além disso, polinômio ortogonal de Legendre, de ordem cúbica, sobre a idade à pesagem foi considerado no modelo como efeito fixo, para modelar a curva média da população.

As variâncias residuais foram modeladas utilizando classes com 5 níveis, pois foi a que melhor se adequou as análises. A classe com 5 níveis foi construída agrupando-se as idades: do nascer aos 120 dias, 121 a 205 dias, 206 a 365 dias, 366 a 550 dias e 551 a 650 dias de idade, com o objetivo de verificar se as variâncias residuais alteram com a idade. O modelo de regressão aleatória utilizado pode ser representado por:

$$y_{ij} = EF + \sum_{m=0}^{kb-1} \beta_m \phi_m(t_i) + \sum_{m=0}^{ka-1} \alpha_m \phi_m(t_{ij}) + \sum_{m=0}^{km-1} \gamma_m \phi_m(t_{ij}) + \sum_{m=0}^{kp-1} \delta_m \phi_m(t_{ij}) + E_{ij}$$

em que,  $y_{ij}$ : é o peso real na  $i$ ésima idade do  $j$ ésimo animal;  $EF$  é o conjunto de efeitos fixos (GC);  $\beta_m$  é o coeficiente de regressão para modelar a trajetória média da população;  $\phi_m(t_i)$  é a função de regressão que descreve a curva média da população de acordo com



a idade do animal ( $t_i$ );  $\phi_m(t_{ij})$  são as funções que descrevem a trajetória de cada indivíduo  $j$  de acordo com a idade ( $t_i$ ) para os efeitos aleatórios genético aditivo direto, genético materno e ambiente permanente do animal;  $\alpha_m$ ,  $\gamma_m$ ,  $\delta_m$  são os regressores aleatórios genético aditivo, materno e de ambiente permanente do animal;  $k_b$ ,  $k_a$ ,  $k_m$ ,  $k_p$  são as ordens dos polinômios utilizadas para os efeitos descritos anteriormente;  $E_{ij}$  é o erro aleatório associado a cada idade  $i$  do animal  $j$ . Em notação matricial, o modelo utilizado pode ser descrito como:

$$y = Xb + Z_1a + Z_2m + W_1p + e_{ij}$$

sendo  $y$ , o vetor de observações;  $b$  o vetor dos efeitos fixos (incluindo  $EF_{ij}$  e  $\beta m$ );  $a$  o vetor dos coeficientes aleatórios para os efeitos genético aditivo direto;  $m$  o vetor dos coeficientes aleatórios para os efeitos genético materno;  $p$  o vetor dos coeficientes aleatórios para os efeitos de ambiente permanente do animal;  $X$ ,  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $W_1$  as matrizes de incidência correspondentes;  $e_{ij}$  o vetor de resíduos.

As pressuposições em relação aos componentes são:

$$E \begin{bmatrix} y \\ a \\ m \\ p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xb \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad V \begin{bmatrix} a \\ m \\ p \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_a \otimes A & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_m \otimes A & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_p \otimes I_{N_A} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R \end{bmatrix}$$

em que,  $k_a$ ,  $k_m$  e  $k_p$  são as matrizes de (co)variância entre os coeficientes de regressão aleatórios para os efeitos genético aditivo direto, genético materno e de ambiente permanente do animal;  $A$  é a matriz de parentesco entre os indivíduos;  $I$  é a matriz identidade;  $N_A$  é o número de animais com registro;  $N_M$  é o número de mães;  $\otimes$  é o produto de *Kroneker* entre matrizes;  $R$  representa uma matriz bloco diagonal, contendo as variâncias residuais. Assume-se, neste modelo, que não há correlação entre os coeficientes de regressão aleatórios para efeitos genético aditivo direto, materno e de ambiente permanente do animal.

Portanto, os modelos de regressão aleatória utilizados foram o leg432\_5 (com 4 ordens do polinômio de Legendre para o efeito  $k_a$ , 3 ordens do polinômio para o efeito  $k_b$ , 2 ordens do polinômio para o efeito  $k_p$  e 5 classes de variâncias residuais) e o leg422\_5 (com 4 ordens do polinômio de Legendre para o efeito  $k_a$ , 2 ordens do polinômio para o efeito  $k_b$ , 2 ordens do polinômio para o efeito  $k_p$  e 5 classes de variâncias residuais), com um total de 24 e 21 parâmetros, respectivamente. Os componentes de covariâncias foram estimados utilizando modelo animal empregando modelos de regressão aleatória pelo método de máxima verossimilhança restrita com o critério de convergência padrão (10

<sup>8)</sup>, utilizando o programa estatístico Wombat (Meyer, 2007). Foi escolhido o algoritmo AIREML por calcular os erros-padrão das estimativas.

Para avaliar e comparar a qualidade de ajuste dos modelos utilizou-se o programa Model Evaluation System (MES) que, por meio dos dados observados e preditos de cada modelo, desenvolve todos os cálculos estatísticos com base nos seguintes critérios avaliadores: coeficiente de determinação ( $R^2$ ); coeficiente de concordância e correlação (CCC); raiz quadrada do quadrado médio do erro da predição (RQMEP) e, com base neste, a percentagem em erro aleatório, vícios sistemático e médio para cada modelo. Cabe destacar que para a avaliação e comparação utilizou-se os pesos observados e ajustados em intervalos de 30 dias, iniciando com o peso ao nascimento e considerando a última pesagem aos 650 dias. Estes critérios são descritos nas seguintes fórmulas:

$$\text{Coeficiente de determinação } (R^2) = 1 - \frac{\text{SQR}}{\text{SQT}}$$

Em que SQR refere-se à soma de quadrados da regressão e SQT à soma de quadrados total;

$$\text{Raiz quadrada do erro quadrático médio da predição RQMEP} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}$$

Onde  $\hat{y}_i$  é o valor predito na  $i$ -ésima observação e  $y$  é o valor medido na  $i$ -ésima observação.

$$\text{Quadrado médio do erro de predição QMEP} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2$$

Composto de vício médio, vício sistemático e erro aleatório, identificou-se a percentagem de cada tipo de erro para cada modelo.

A comparação dos modelos quanto à precisão das predições foi realizada com base no critério Delta de informação de Akaike (AIC), dado por:

$$\text{AIC} = -2 \log \text{Lik} + 2N$$

Onde  $N$  é o número de parâmetros estimados pelo modelo e  $\text{Log Lik}$  corresponde ao logaritmo de máxima verossimilhança.

## Resultados e Discussão

Na Tabela 2, estão apresentados os resultados dos avaliadores de adequação para cada modelo. Com base na alta magnitude dos coeficientes de determinação ( $r^2$ ), pode-se dizer que todos os modelos foram hábeis em predizer a variabilidade entre os pesos observados, com sutil superioridade para os modelos de regressão aleatória (leg432\_5 e leg422\_5).

Os elevados valores de coeficiente de concordância de correlação (CCC) indicam que todos os modelos podem ter suas predições ditas como verdadeiras, sendo este comportamento o ideal em um modelo, de forma que quanto mais próximo ao valor 1, mais preciso e acurado são os modelos. Entre os modelos comparados os mais interessantes quanto ao critério CCC foi o modelo não-linear Wood, leg432\_5 e leg422\_5, sendo que estes dois últimos modelos de regressão aleatória e apresentaram valores iguais (Tabela 2).

A raiz quadrada do quadrado médio do erro de predição (RQMEP) considera que os melhores modelos são aqueles com menor valor para esse critério. No caso dos modelos avaliados houve alta variação para esse critério (entre 68,1 kg a 350,9 kg), demonstrando baixa acurácia de alguns modelos. Sendo assim, os modelos com menor RQMEP foram, para o tipo não-linear, o modelo Woos e Meloun I e os dois modelos de regressão aleatória, contudo, o mais acurado entre todos os modelos foi o leg422\_5 (Tabela 2).

O quadrado médio do erro de predição (QMEP) explica os fatores que compõem os erros de predição de cada modelo, podendo ser devido a fatores de vício médio, vício sistemático e erro aleatório, sendo que o modelo mais interessante é aquele em que a maior percentagem de erro seja de origem aleatória. Os resultados apontam que os modelos Wood e Meloun 1, são os que apresentam maiores erros de origem aleatória, menores vícios sistemáticos e médios para os grupos avaliados. Os erros originados dos vícios (médios ou sistemáticos) estão relacionados a problemas na estimativa dos parâmetros dos modelos utilizados, de forma que ajustes de ordem multiplicativa ou somatória dentro do modelo poderia melhorar sua acurácia, já os erros de ordem aleatória não permite ajuste pois não podem ser controlado.

Em relação à precisão dos modelos avaliados, dada pelo critério de informação de Akaike (AIC), o menor valor foi para o modelo leg422\_5. Forni (2009), verificaram que os modelos Gompertz e Von Bertalanffy, foram precisos na previsão do peso adulto de bovinos Nelore.

Tabela 2. Estatísticas de avaliação da adequação dos modelos de predição do crescimento de bovinos Nelore criados em Mato Grosso do Sul

Modelo	r <sup>2</sup>	CCC	RQME P	Decomposição do QMEP (%)			AIC
				Vício		Erro Ale	
				Méd	Sist		
Brody	0,987	0,980	350,93	59,04	8,15	32,81	180,44
Gompertz	0,980	0,989	188,18	1,69	3,17	95,14	190,58
Logístico	0,971	0,983	279,89	2,07	5,50	92,43	199,05
Wood	0,989	0,994	97,49	0,92	0,03	99,05	176,39
Von Bertalanffy	0,986	0,993	121,13	1,63	2,02	96,35	181,52
Meloum1	0,989	0,994	97,53	0,93	0,03	99,04	176,39
leg432_5	0,994	0,996	68,60	3,24	14,53	82,23	164,02
leg422_5	0,994	0,996	68,13	1,53	16,61	81,86	163,76

r<sup>2</sup> = coeficiente de determinação. CCC = coeficiente de concordância de correlação. RMSEP = raiz quadrada do quadrado médio do erro de predição. QMEP = quadrado médio do erro da predição; AIC: critério de informação de Akaike.

Com base nas análises de ajustes e comparação de modelo, verificou-se que, dentre os modelos não lineares, o de melhor ajuste, acurácia e precisão foi o modelo Wood, já para os modelos de regressão aleatória, destaca-se o modelo leg422\_5, sendo este superior também a todos os outros modelos avaliados (Figura 1).

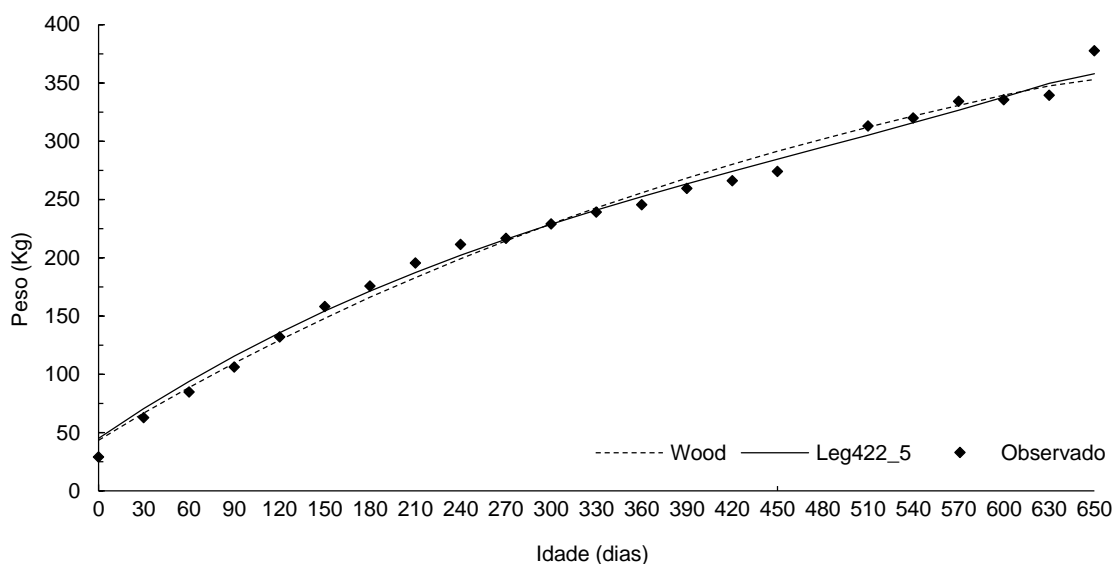


Figura 1. Curvas de crescimento de animais da raça Nelore estimadas pelos modelos de Wood e Leg422\_5.

Com base no modelo de regressão aleatória Leg422\_5, selecionado pela sua melhor acurácia e precisão, estimou-se as curvas de crescimento de acordo com o sexo e a estação de nascimento (Figuras 2 e 3).

Observa-se que os animais nascidos na estação da seca foram mais pesados ( $227,18 \pm 93,67$  Kg) que os nascidos na estação das águas ( $226,81 \pm 92,01$  Kg), e consequentemente, maiores pesos aos 650 dias de idade (Figura 2). Estes resultados podem ser explicados pelo fato que os animais nascidos na seca, principalmente a partir do mês de agostos acabam tendo um melhor ambiente materno. Ou seja, as matrizes chegam ao pico de lactação no início do período chuvoso, o que propicia uma melhor habilidade materna, principalmente se ponderar a produção de leite da vaca.

Dessa forma, os nascidos na estação seca, chegam a seca subsequente em melhores condições corporais, pois aproveitaram a melhor oferta de forragem durante toda a estação das águas, além de que nos primeiros dias de vida não sofreram tanto as infestações de endo e ectoparasitas que é maior na estação das águas.

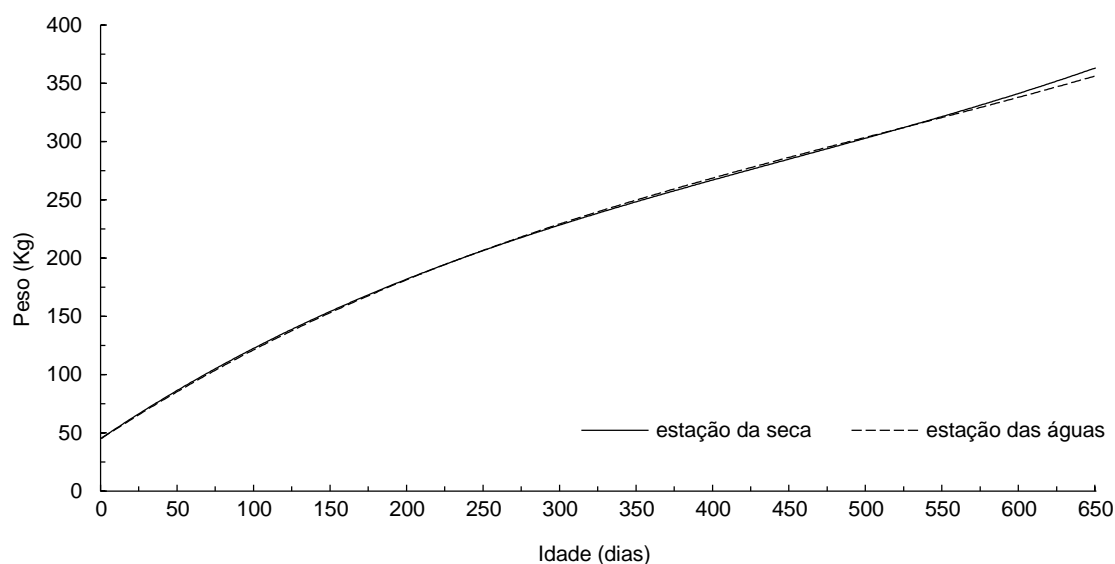


Figura 2. Curvas de crescimento de animais da raça Nelore estimadas por polinômios de Legendre através do modelo Leg422\_5 de acordo com a estação de nascimento.

Na figura 3 encontra-se as curvas de crescimento pra machos e fêmeas, observa-se que os machos foram mais pesados ( $236,69 \pm 97,63$  kg) que as fêmeas ( $217,95 \pm 86,63$  kg), indicando dimorfismo sexual, assim como os relatados por Viu et al. (2006) e Santos et al. (2011) em estudos com bovinos da raça Nelore.

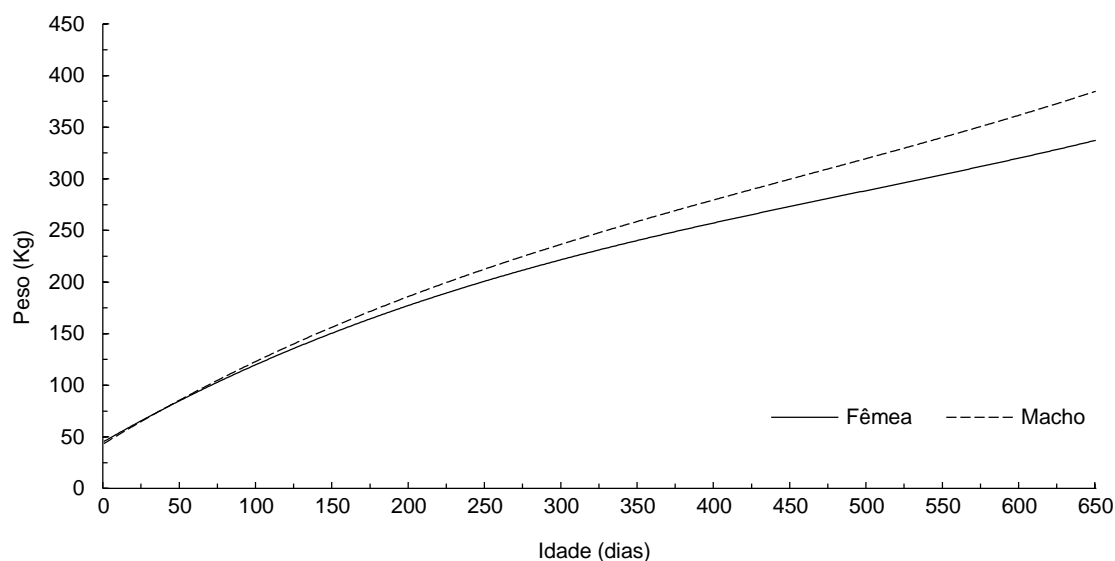


Figura 3. Curvas de crescimento de animais da raça Nelore estimadas por polinômios de Legendre através do modelo Leg422\_5 de acordo com sexo.

As estimadas de herdabilidade aditiva direta ( $h^2$ ), herdabilidade materna ( $h^2_m$ ) e da variância de ambiente permanente do animal como proporção da variância fenotípica total ( $p^2$ ) para os pesos do nascimento aos 650 dias de idade utilizando o modelos de regressão aleatória são apresentadas nas Figuras 4, 5 e 6.

As estimativas de  $h^2$  para peso ao nascimento foi  $0,38 \pm 0,02$ , após ocorreu um decréscimo até os 32 dias de idade ( $h^2$ :  $0,11 \pm 0,02$ ); após essa idade a  $h^2$  voltou a aumentar, atingindo aos 120 dias um ápice ( $0,45 \pm 0,01$ ). Após os 120 dias de idade as estimativas de  $h^2$  voltaram a decrescer, sendo que os menores valores ocorreram entre 233 a 302 dias de idade ( $h^2$ :  $0,32 \pm 0,02$ ), sendo que os maiores valores de herdabilidade foram aos 650 dias de idade ( $0,45 \pm 0,02$ ), sendo a alta herdabilidade reflexo dos altos valores de variância genética aditiva.

Estes resultados corroboram os estudos de Toral et al. (2014) e Bertipaglia et al. (2015) que trabalharam com regressão aleatória para pesos de bovinos da raça Indubrasil e Brahman, respectivamente. Albuquerque e Meyer (2001) relataram que a herdabilidade direta tende a ser menor nas idades em que a herdabilidade materna apresenta maiores valores.

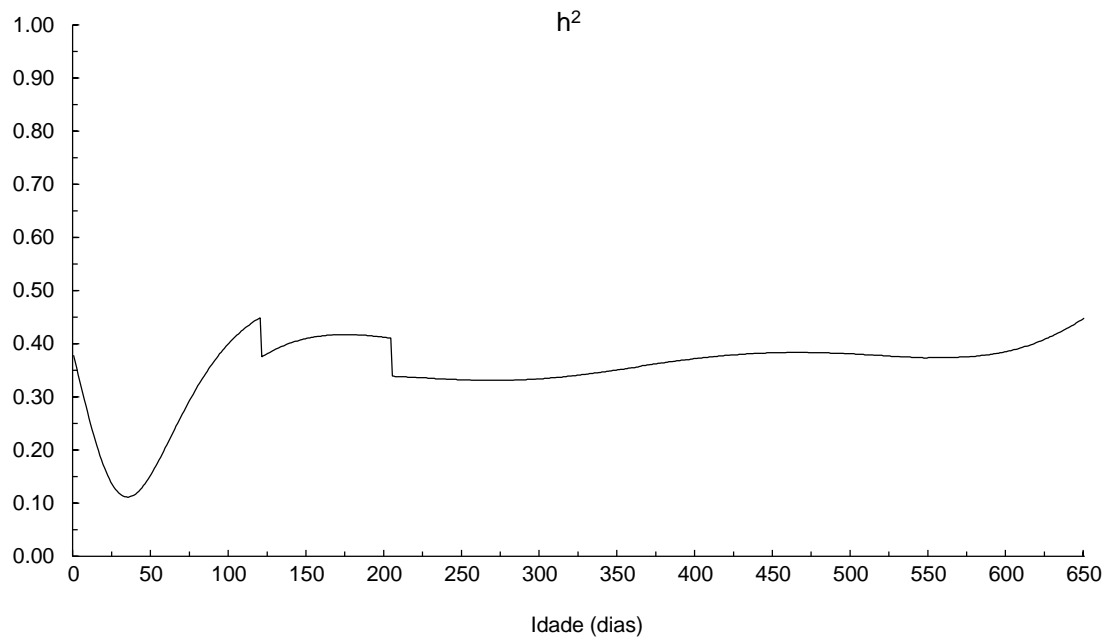


Figura 4. Estimativas de herdabilidade aditiva direta ( $h^2$ ) obtidas por meio de regressão aleatória através do modelo Leg422\_5.

Quanto a estimativa de herdabilidade materna ( $h^2_m$ ) (Figura 5), ao nascimento obteve o valor de  $0,06 \pm 0,01$ , atingindo o maior valor entre 534 e 636 dias de idade ( $h^2_m$ :  $0,16 \pm 0,01$ ). Estes resultados são semelhantes aos estudos de Baldi et al. (2010) que também obtiveram via regressão aleatória herdabilidade materna para pesos de bovinos Canchim ao nascimento (0,05), diminuindo após este período (0,02), incrementando-se aos 400 dias de idade (0,03) e diminuindo gradualmente até o final do período estudado.

Os resultados observados neste estudo comprovaram que os efeitos maternos começam a apresentar queda após o nascimento com posterior acréscimo e se mantêm praticamente constante provavelmente pelo efeito residual ao longo da vida da progênie. Maior resposta à seleção para habilidade materna pode ser esperada se a seleção for realizada com base nos pesos próximos à desmama, pois neste período as estimativas de variância genética materna e herdabilidade materna passam a ser crescentes. Resultados semelhantes foram relatados por Dias et al. (2006) para animais da raça Tabapuã.

Observou-se que as estimativas de variância de ambiente permanente do animal como proporção da variância fenotípica total ( $p^2$ ) ao nascimento obtiveram valores de  $0,11 \pm 0,02$  (Figura 6). Após o nascimento seguiu aumento até alcançar o valor máximo aos 590 ( $p^2$ :  $0,36 \pm 0,02$ ) dias de idade.

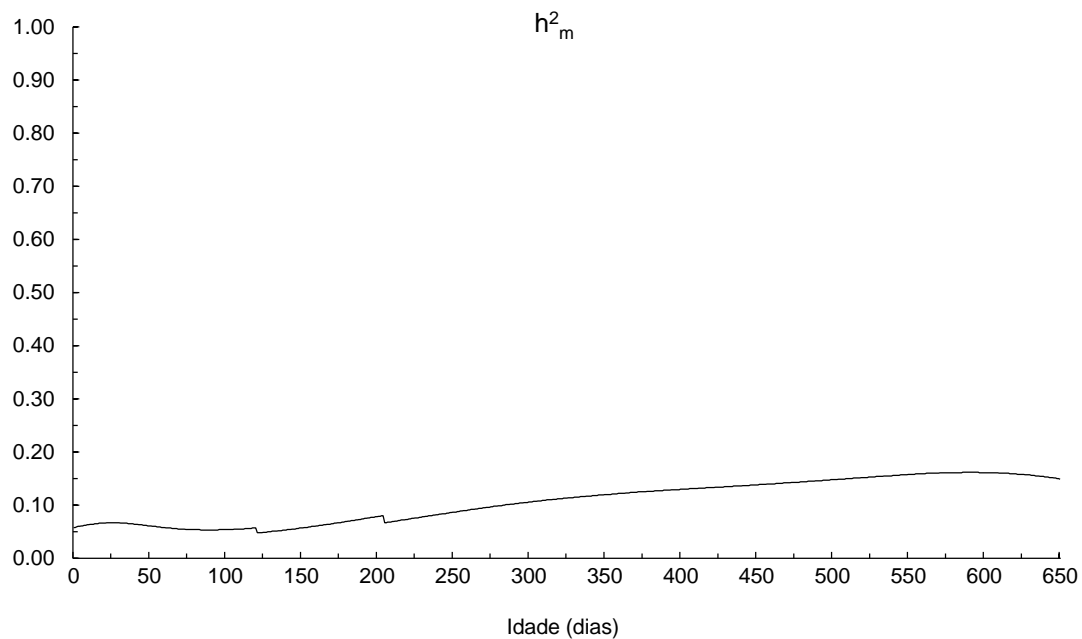


Figura 5. Estimativas de herdabilidade materna ( $h^2_m$ ) obtidas por meio de regressão aleatória através do modelo Leg422\_5.

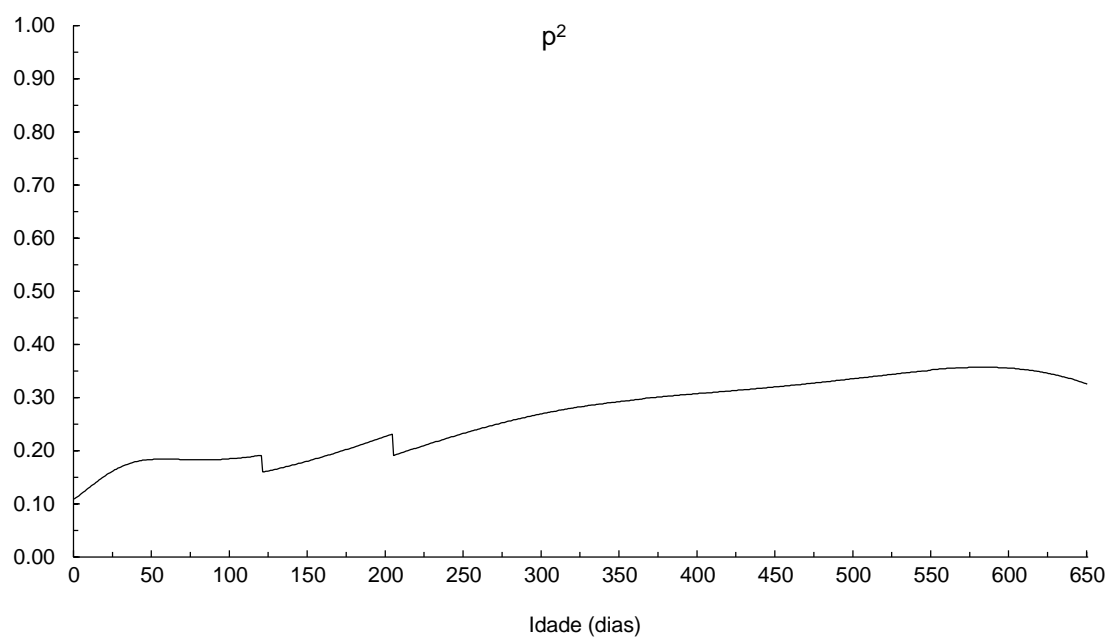


Figura 6. Estimativas da variância de ambiente permanente do animal como proporção da variância fenotípica ( $p^2$ ) total obtidas por meio de regressão aleatória através do modelo Leg422\_5.

## Conclusão

De acordo com os critérios analisados, o modelo de regressão aleatória Leg422\_5 foi o que melhor ajustou os dados e descreveu a curva do crescimento dos animais Nelore criados no Mato Grosso do Sul.



Existe efeito de sexo e estação de nascimento sobre a estimativa da curva de crescimento, de forma que os parâmetros do modelo devem ser estimados, considerando estes fatores.

Maior eficiência na seleção para peso pode ser obtida considerando os pesos pós-desmama, período em que as estimativas de herdabilidade foram superiores.

### Referências bibliográficas

ALBUQUERQUE, L.G.; EL FARO., L. Comparações entre os valores genéticos para características de crescimento de bovinos da raça Nelore preditos com modelos de dimensão finita ou infinita. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.2, p.238-246, 2008.

ALBUQUERQUE, L. G.; MEYER, K. Estimates of covariance functions for growth from birth to 630 days of age in Nelore cattle. **Journal of Animal Science**, v. 79, p. 2776-2789, 2001.

ARAÚJO, C.V.; NEHLS, W.F.; LAUREANO, M.M.M.; ZUBLER, R.; LÔBO, R.B; FIGUEIREDO, L.G.G.; ARAÚJO, S.I.;BEZERRA, L.A.F. Modelos de regressão aleatória para características de crescimento de bovinos da raça Nelore do estado de Mato Grosso. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.68, n.2, p.448-456, 2016.

BALDI F.; ALBUQUERQUE, L. G.; ALENCAR, M. M. Random regression models on Legendre polynomials to estimate genetic parameters for weights from birth to adult age in Canchim cattle. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v.127, n.4, p.289-299, 2010.

BERTIPAGLIA, T. S.; CARREÑO, L. O. D.; ASPILCUETA-BORQUIS, R. R.; BOLIGON, A. A.; FARAH, M. M.; GOMES, F. J.; MACHADO, C. H. C.; REY, F. S. B.; FONSECA, R. Estimates of genetic parameters for growth traits in Brahman cattle using random regression and multitrait models, **Journal of Animal Science**, v.93, n.8, p.3814-3819, 2015.

BOLIGON, A. A.; MERCADANTE, M. E. Z.; BALDI, F.; LÔBO, R. B.; ALBUQUERQUE, L. G. Multi-trait and random regression mature weight heritability and breeding value estimates in Nelore cattle. **South African Journal of Animal Science**, v.39, n.5, p.145-148, 2009.

DIAS, L. T.; ALBUQUERQUE, L. G.; TONHATI, H.; TEIXEIRA, R. A. Estimativa 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**, v.35, n.5, p.1915-1925, 2006.

GARNERO, A. *et al.* 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.

GONÇALVES, F.M. *et al.* Avaliação genética para peso corporal em um rebanho Nelore. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 63, n.1, p.158-164, 2011.

LOPES, F.B.; SILVA, M.C.; MARQUES, E.G. et al. Ajustes de curvas de crescimento em bovinos Nelore da região Norte do Brasil. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**. v.12, n.3, 2011.

MEYER, K. WOMBAT - A tool for mixed model analysis in quantitative genetics by restricted maximum likelihood (REML). **Journal of Zhejiang University Science B**, v. 8, p. 815-821, 2007.

NESER, F.W.C.; VAN WYK, J.B.; FAIR, M.D.; LUBOUT, P. Genetic evaluation of growth traits in beef cattle using random regression models. **South African Journal of Animal Science**, v.42, p.474-477, 2012.

SANTOS, G.C.J.; LIRA, T.S.; PEREIRA, L.S.; LOPES, F.B.; FERREIRA, J.L. Efeitos não genéticos sobre características produtivas em rebanhos Nelore criados na região norte do Brasil. **Acta Veterinaria Brasilica**, v.5, n.4, p.385-392, 2011.

SOUZA, L.A.; CAIRES, D.N.; CARNEIRO, P.L.S. Curvas de crescimento em bovinos da raça Indubrasil criados no estado do Sergipe. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n.4, 2010.

SOUSA JÚNIOR, S.C.; OLIVEIRA, S. M. P.; ALBUQUERQUE, L. G.; BOLIGON, A. A.; MARTINS FILHO, R. Estimação de funções de covariância para características de crescimento da raça Tabapuã utilizando modelos de regressão aleatória. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 5, p. 1037-1045, 2010.

TORAL, F.L.B.; PEREIRA, J.C.C.; BERGMANN, J.A.G.; JOSAHKIAN, L.A. Parâmetros genéticos do peso desde o nascimento até 730 dias de idade na raça Indubrasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, n.8, p.595-605, 2014.

VALENTE, B.D.; SILVA, M.A.; SILVA, L.O.C.; BERGMANN, J.A.G.; PEREIRA, J.C.C.; FRIDRICH, A.B.; FERREIRA, I. C.; CORRÊA, G.S.S.. 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**, v.60, n.2, p.389-400, 2008

VIU, M.A.O.; LOPES, D.T.; GAMBARINI, M.L.; OLIVEIRA FILHO, B.D.; FERRAZ, H.T.; MAGNABOSCO, C.U.; VIU, A.F.M. Efeito da época do parto, idade materna e sexo sobre o desempenho pré-desmama de bezerras Nelore (*bos taurus indicus*), criados extensivamente no centro-oeste do Brasil. **Archives of Veterinary Science**, v.11, n.3, p.75-79, 2006.

## **Adaptabilidade e estabilidade fenotípica para características produtivas e reprodutivas em animais da raça Nelore**

Fenotypic adaptability and stability for productive and reproductive traits in a Nelore cattle

**Resumo:** Embora a análise de variância identifique ou não a existência da interação touro x rebanho, ela não especifica o desempenho dos animais em diferentes ambientes, o que demonstra a importância de se avaliarem os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade. Sendo assim, objetivou-se estimar parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de touros da raça Nelore utilizando-se uma metodologia de regressão linear simples e uma metodologia não paramétrica. As características analisadas foram peso aos 420 dias de idade (P420) e idade ao primeiro parto (IPP) de animais criados a pasto em diferentes regiões. As médias estimadas pelos métodos dos quadrados mínimos foram de  $243,9 \pm 34,9$  Kg e  $1182,5 \pm 157,8$  dias, respectivamente, para as características P420 e IPP. Utilizando-se a metodologia de regressão linear, foi estimado o índice de rebanho das diferentes regiões, possibilitando identificar qual delas são favoráveis e desfavoráveis para o desempenho das características analisadas. O comportamento dos dez touros analisados nas diferentes regiões estudadas evidenciaram que os rebanhos e as regiões influenciaram na performance de suas progênie. Por meio das metodologias aplicadas é possível identificar touros com adaptabilidade geral, alta estabilidade e com melhores desempenhos, os quais seriam os mais adequados a se utilizar em rebanhos onde não se conhece o mérito genético das matrizes e o ambiente onde serão criadas as progênie. Os resultados das metodologias aplicadas nas análises de adaptabilidade e estabilidade indicaram que para a característica P420 não ocorreu concordância entre as metodologias, já para IPP ocorreu concordância parcial.

**Palavras-chave:** Interação genótipo x ambiente, parâmetros, peso, progênie

**Abstract:** Although the variance analysis to identify whether or not the existence of the bull x herd interaction, it does not specify the performance of animals in different environments, which demonstrates the importance of assessing the parameters of adaptability and stability. Thus, this study aimed to estimate adaptability and stability

parameters of Nelore bulls using a simple linear regression methodology and a non-parametric methodology. The traits analyzed were weight at 420 days of age (W420) and age at first calving (AFC) from animals raised on pasture in different regions. The average estimated by the method of least squares were  $243.9 \pm 34.9$  kg and  $1182.5 \pm 157.8$  days, respectively, for W420 and AFC traits. Using the linear regression methodology, it estimated the herd index of different regions, making it possible to identify which of them are favorable and unfavorable to the performance of the analyzed traits. The behavior of the ten bulls analyzed in different regions studied showed that the flocks and regions influenced the performance of their progeny. Through the applied methodologies can identify bulls with high adaptability, high stability and better performance, which would be the most appropriate to use in herds where no one knows the genetic merit of the matrices and the environment where the progenies will be created. The results of the methodologies applied in the adaptability and stability estimates indicated that for W420 trait was no agreement of the methodologies, as for AFC was partial agreement.

**Key words:** genotype by environment interaction, parameters, progeny, weight

## INTRODUÇÃO

Existem possibilidades de um genótipo apresentar expressões fenotípicas diferentes em ambientes distintos, o que ressalta a importância da avaliação da interação entre genótipos e os ambientes em programas de melhoramento genético (CRUZ e REGAZZI, 1997). Através da magnitude e significância da interação, caberá ao melhorista avaliar a adoção de procedimentos que minimize e, tornar possível o seu aproveitamento.

Todavia, a interação não proporciona informações pormenorizadas sobre o comportamento de cada genótipo frente às variações ambientais (CRUZ e REGAZZI, 1997). Para isso, Shmildt e Cruz (2005), sugeriram para o melhoramento de plantas duas alternativas práticas para minimizar os efeitos da interação entre genótipos e os ambientes. A primeira baseia-se na formação de estratos que contenham sub-regiões mais homogêneas, o que poderá dar subsídios ao descarte de ambientes em caso de escassez de recursos, situação que não ocorre no melhoramento animal; já a segunda alternativa, particulariza os genótipos, empregando daqueles com ampla adaptabilidade e boa estabilidade.

Portanto, estudar estabilidade e adaptabilidade auxilia na identificação de genótipos de comportamento previsível e que sejam responsivos as variações ambientais em condições específicas ou amplas, sendo uma informação fundamental no momento da recomendação dos genótipos melhoradores (CRUZ e REGAZZI, 1997; FALCONER e MACKAY, 1996).

Diversos métodos têm sido propostos para a avaliação da estabilidade e adaptabilidade fenotípica, e as diferenças entre esses métodos é baseada nos próprios conceitos e procedimentos biométricos para quantificar a interação (MOLINA, 2007). Lavoranti (2003) relata como os principais conceitos para o termo estabilidade, a capacidade de um indivíduo e/ou população de produzir variações mínimas de fenótipos em diferentes ambientes, o potencial para ajustar o seu estado genotípico e fenotípico às flutuações ambientais, a capacidade de os genótipos mostrarem um comportamento altamente previsível em função do estímulo ambiental.

Nesse sentido, objetivou-se estimar os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade fenotípica de touros da raça Nelore, por meio de duas metodologias, para as características peso aos 420 dias de idade (P420) e idade ao primeiro parto (IPP) em diferentes regiões.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Os dados utilizados pertencem ao Arquivo Zootécnico Nacional – raças zebuínas (Convênio ABCZ/Embrapa/MAPA). Foram utilizadas informações de 2.520 fêmeas da raça Nelore, nascidas entre os anos de 1979 a 2008, as quais foram criadas a pasto em três regiões de produção do estado de Mato Grosso do Sul.

As regiões foram Campo Grande-Dourados (R1), Alto Taquari-Bolsão (R2) e Pantanal Sul (R3), sendo caracterizadas e diferenciadas por Arruda e Sugai (1994) de acordo com o sistema de produção, nível de tecnologia, qualidade e produtividade dos recursos e tipo racial do rebanho bovino.

Primeiramente estimou-se as diferenças esperadas nas progênes (DEPs) para cada característica e em cada região separadamente. Depois se juntou o arquivo de dados de cada característica e deixou apenas as informações de fêmeas que são filhas do mesmo touro (no mínimo dez progênes por característica e por região). Cabe destacar que para a característica reprodutiva (IPP), o desejado é que ocorra uma redução no número de dias para o parto, portanto, as melhores DEPs para estas características são as negativas.

As informações utilizadas para o estudo da estabilidade e adaptabilidade são referentes a média fenotípica das filhas dos dez melhores touros classificados para a região R1, portanto, não necessariamente os mesmos touros que compreendem as análises de IPP serão os da P420 (Tabela 1). A escolha da R1 como base de comparação com as demais, ocorreu pelo fato de que em estudo prévio, encontraram-se melhores médias nesta região para as características P420 e IPP.

Tabela 1. Média e número (entre parênteses) de progênies dos touros de acordo com a região de produção para as características peso ao 420 dias de idade (P420) e idade ao primeiro parto (IPP).

Touro	ID	P420 (Kg)			IPP (dias)		
		R1	R2	R3	R1	R2	R3
1	1000607	249 (172)	245 (135)	243 (31)	1154 (154)	1130 (122)	1179 (31)
2	1000393	258 (189)	248 (34)	243 (46)	1173 (174)	1213 (30)	1237 (45)
3	1004378	249 (199)	241 (34)	238 (53)	1187 (178)	1131 (34)	1128 (50)
4	1005798	255 (73)	238 (59)	233 (23)	1174 (68)	1187 (55)	1189 (23)
5	1004059	248 (223)	238 (71)	245 (118)	1167 (205)	1200 (66)	1186 (111)
6	1000136	236 (214)	232 (67)	230 (31)	1176 (176)	1218 (51)	1202 (24)
7	1004190	271 (48)	246 (19)	287 (29)	-	-	-
8	1004197	262 (124)	244 (63)	236 (17)	-	-	-
9	1000456	237 (147)	226 (155)	221 (28)	-	-	-
10	1000598	232 (71)	196 (26)	229 (19)	-	-	-
11	1000142	-	-	-	1177 (215)	1210 (119)	1211 (38)
12	1000253	-	-	-	1226 (139)	1211 (32)	1295 (15)
13	1000334	-	-	-	1214 (109)	1221 (81)	1191 (33)
14	1006104	-	-	-	1138 (84)	1160 (41)	1163 (17)

ID: número de identificação dos touros no banco de dados; R1: Campo Grande - Dourados; R2: Alto Taquari - Bolsão; R3: Pantanal Sul.

O conjunto de dados referentes às características avaliadas foi submetido a análise de variância em cada região para verificar a existência de variabilidade genética entre as médias das progênies dos touros testados em cada região. A análise de variância conjunta foi realizada com a finalidade de detectar a interação entre os touros e as regiões. Para tanto, foi construído um arquivo de dados onde constam as informações de ambiente (regiões), genótipo (touros) e os valores fenotípicos das progênies para as características avaliadas (P420 e IPP).

Para avaliar a adaptabilidade e a estabilidade, foram utilizadas metodologias paramétricas e não-paramétricas. A metodologia paramétrica utilizada consiste em uma regressão linear simples, como proposto por Finlay e Wilkinson (1963) e Eberhart e Russell (1966). A diferença entre esses métodos origina-se nos conceitos da estabilidade.

O modelo proposto por Finlay e Wilkinson (1963) consiste na análise de regressão linear simples do desempenho médio de cada touro em relação à média de todos os touros em cada região, denominado índice de rebanho. Neste trabalho, o índice de rebanho envolve a média do valor fenotípico das matrizes e da amostragem mendeliana dos produtos dentro de cada região.

Para o cálculo de regressão, aplicou-se o seguinte modelo:  $y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}X_j + \delta_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij}$ , em que:  $y_{ij}$  = média do touro  $i$ , no rebanho  $j$ ;  $\beta_{0i}$  = constante da regressão;  $\beta_{1i}$  = coeficiente de regressão linear;  $X_j$  = índice de rebanho codificado por:  $I_j = \frac{1}{g} \sum_i Y_{ij} - \frac{1}{ag} Y_{..}$ ;  $\delta_{ij}$  = desvio da regressão;  $\bar{\epsilon}_{ij}$  = erro experimental médio. Dessa forma, verificou-se o

$$\sum_i I_j = 0, \text{ e com a utilização deste índice, têm-se: } \beta_{0i} = \bar{Y}_i = \text{média do touro } i.$$

Para se estimarem os parâmetros de estabilidade e adaptabilidade, empregou-se o modelo:  $y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}X_j + \Psi_{ij}(\Psi_{ij} = \delta + \bar{\epsilon}_{ij})$ . E este pode ser calculado matricialmente por:  $Y = X\beta + \Psi$ , para cada  $i$ . Deste modo, têm-se:  $Y$ : vetor ( $a \times 1$ ) de médias do touro  $i$  nas diferentes regiões;  $X$ : matriz ( $a \times p$ ), sendo  $p$  o número de parâmetros a serem estimados;  $\beta$ : vetor de parâmetros ( $p \times 1$ );  $\Psi$ : vetor ( $a \times 1$ ) de erros.

As estimativas dos parâmetros de adaptabilidade foram interpretadas com base nos coeficientes de regressão linear ( $\beta_{1i}$ ) e nas médias ( $\beta_{0i}$ ), os quais medem as respostas de um touro  $i$ , a variação das regiões. Touros com coeficientes de regressão próximos a um ( $\beta_{1i} = 1$ ) são considerados de estabilidade média; se associados a altos rendimentos, ( $\beta_{0i}$ ), são de adaptabilidade ampla. Se ( $\beta_{1i} > 1$ ), indica estabilidade abaixo da média e adaptabilidade específica a rebanhos em que as médias genéticas das matrizes são mais altas; do contrário, ( $\beta_{1i} < 1$ ), os touros apresentam estabilidade acima da média e adaptação específica a rebanhos em que a média genética das matrizes é mais baixa (CRUZ e REGAZZI, 1997).

Considerando o proposto por Finlay e Wilkinson (1963), mas com o intuito de aperfeiçoar a metodologia, Eberhart e Russell (1966) incluíram a variância do desvio da regressão como um parâmetro de estabilidade adicional (CRUZ e CARNEIRO, 2003). Nesta metodologia, o ideal é o animal que apresenta produtividade média alta, ( $b_i = 1$ ) e ( $\alpha_{di}^2 = 0$ ). Um touro é estável quando os desvios de regressão apresentarem variância igual a zero ( $\alpha_{di}^2 = 0$ ). O coeficiente de determinação é definido como uma medida de estabilidade auxiliar ( $R^2$ ) de cada touro, e foi usado também para quantificar se a proporção da variação fenotípica de cada touro é explicada pela regressão linear. O

considerado ideal é o coeficiente de determinação igual a um ( $R^2 = 1$ ), ou próximo a 100%.

Para se estimar a adaptabilidade e a estabilidade dos coeficientes de regressão ( $b_i$ ) e os parâmetros de estabilidade ( $\alpha_{di}^2$ ), utilizou-se o método de análise de variância partir do quadrado médio do desvio da regressão de cada touro ( $QMD_i$ ) e do quadrado médio do resíduo, isto é:  $\hat{\alpha}_{di}^2 = \frac{QMD_i - QMR}{r}$ , em que:  $QMD_i$ : quadrado médio dos desvios da regressão do touro  $i$ ;  $QMR$ : quadrado médio do resíduo;  $r$ : número de repetições.

A hipótese  $H_0: \alpha_{di}^2 = 0$  foi avaliada pela estatística  $F$ , dada por:  $F = \frac{QMD_i}{QMR}$  e associada a um nível de significância  $\alpha$  e a  $a-1$  e  $m$  graus de liberdade, sendo  $m$  o número de graus de liberdade do resíduo obtido na análise conjunta. A hipótese de que qualquer coeficiente de regressão não difere de um ( $b_i=1$ ) foi avaliada pelo teste  $t$ , e a hipótese de que os desvios da regressão de cada touro não diferem de zero ( $\alpha_{di}^2 = 0$ ) foi verificada pelo teste  $F$  (MARÇAL et. al 2014).

Quanto a metodologia não paramétrica a utilizada foi a proposta por Huehn (1990), a qual avalia o material genotípico por meio das estatísticas  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$ , as quais são baseadas na classificação dos genótipos nos vários ambientes, o genótipo com máxima estabilidade apresenta  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$  iguais ou próximos a zero. As fórmulas utilizadas para os cálculos são descritos a seguir:

- $S_{1i}$ : média das diferenças absolutas entre as classificações do genótipo  $i$  nos ambientes, dada por:

$$S_{1i} = \frac{\sum |r_{ij} - r_{ij'}|}{a(a-1)/2}$$

em que:

$r_{ij}$ : classificação do genótipo  $i$  no ambiente  $j$ ;

$a$ : número de ambientes;

- $S_{2i}$ : variância das classificações do genótipo  $i$  nos ambientes, dada por:

$$S_{2i} = \frac{\sum (r_{ij} - \bar{r}_i)^2}{a-1}$$

em que:

$$r_i = \frac{\sum r_{ij}}{a}$$

- $S_{3i}$ : soma dos desvios absolutos de cada classificação em relação à média das classificações, dada por:



$$S_{3i} = \frac{\sum |r_{ij} - \bar{r}_l|}{\bar{r}_l}$$

Foi utilizado o programa SAS (Statistical Analysis System) nas análises de variância conjunta e na manipulação do banco de dados. Para as análises de adaptabilidade, estabilidade, foi utilizado o programa *Genes* – aplicativo computacional em genética e estatística, versão *Windows* (CRUZ, 2001).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da análise de variância conjunta indicou que todas as fontes de variação foram significativas para a característica P420 ( $P < 0,05$ ), pelo teste F. Já para a característica IPP os efeitos de região e touro x região não foram significativos ( $P > 0,05$ ). Estes resultados demonstram a importância de se avaliarem os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade dos touros, visto que a significância da interação touro x rebanho não especifica o desempenho dos animais em diferentes ambientes. As médias estimadas pelos métodos dos quadrados mínimos foram de  $243,91 \pm 34,90$  Kg e  $1182,54 \pm 157,82$  dias, respectivamente, para as características P420 e IPP (Tabela 1). Resultados similares foram encontrados por Barros et al. (2006) e Marçal et al. (2014) para pesos de animais cruzados e Tabapuã, respectivamente, criados em diferentes regiões.

Tabela 2. Resumo da análise de variância para as características peso aos 420 dias de idade (P420) e idade ao primeiro parto (IPP) em fêmeas da raça Nelore, considerando-se a interação entre touro e região.

Fonte de Variação	P420			IPP		
	GL	QM	Valor P	GL	QM	Valor P
Touro	9	29403,62*	0,0001	9	114584,08*	0,0001
Região	2	29483,26*	0,0001	2	51271,78 <sup>ns</sup>	0,1472
Touro x região	18	3044,16*	0,0005	18	38649,82 <sup>ns</sup>	0,0641
Erro	2488	1218,25		2490	24907,80	
CV (%)		14,31			13,35	
R <sup>2</sup> (%)		11,10			3,23	

CV: Coeficiente de variação; QM: Quadrado Médio; R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinação; \*: Nível de significância ( $P < 0,05$ ).

Com base na média fenotípica das progênes foi gerado o índice de rebanho da região. Para P420 a média da região R1 foi a maior, conseqüentemente o índice ambiental foi positivo. Portanto, pode-se afirmar que a região R1 é favorável, e as regiões R2 e R3 são desfavoráveis ao desempenho da característica P420. Para a característica IPP o que se busca é uma diminuição nos dias para o parto, portanto, o ideal são animais com menores idades ao primeiro parto. Portanto, nesse caso as regiões R1 e R2 foram

consideradas como índice ambiental favorável e a região R3 com índice ambiental desfavorável (Tabela 3).

Essa discrepância associada as regiões considerados desfavoráveis, pode ser justificada pelo fato de as DEPs das matrizes serem inferiores, o que pode ter interferido quanto a proporcionarem melhor desenvolvimento para as progênes de determinado touro, que seria considerado adaptado a rebanhos com matrizes de mérito genético inferior. Nos rebanhos das regiões consideradas favoráveis, as médias das DEPs das matrizes são superiores, o que proporciona melhoria nas médias das DEPs das progênes; possibilitando identificar touros com melhor desempenho em rebanhos de valor genético superior (MARÇAL et al., 2014).

Tabela 3. Estimativas de médias das progênes dos touros e índice de rebanho da região ( $I_j$ ), segundo a metodologia de Finlay e Wilkinson (1963) e Eberhart e Russell (1966) para as características peso ao 420 dias de idade (P420) e idade ao primeiro parto (IPP) em fêmeas da raça Nelore

Região	P420		IPP	
	Média	( $I_j$ )	Média	( $I_j$ )
R1	249,62	7,80	1178,61	-9,65
R2	235,31	-6,51	1188,10	-0,16
R3	240,53	-1,29	1198,07	9,81

R1: Campo Grande - Dourados; R2: Alto Taquari - Bolsão; R3: Pantanal Sul.

Os resultados (Tabela 4), conforme a metodologia de Finlay e Wilkinson (1963) e Eberhart e Russell (1966), indicaram diferenças nas médias fenotípicas ( $\beta_{oi}$ ) das progênes dos touros nas regiões para a característica P420, oscilando entre 218,79 e 268,03 quilos. Entre os dez touros avaliados, sete obtiveram produtividade acima da média geral (241,82 Kg).

Quanto ao parâmetro de adaptabilidade ( $\beta_{1i}$ ) os valores de cada touro foram submetidos ao teste  $t$ , com isso constatou-se que apenas o touro 10 tem o valor do coeficiente  $\beta_{1i} \neq 1$ , pelo fato do valor encontrado para este touro ser maior que um ( $\beta_{1i} > 1$ ) ele foi definido como adaptado a rebanhos favoráveis, ou seja, adaptado a rebanhos em que as médias das matrizes são mais altas. Os outros touros (1 a 9), pelo fato de terem o coeficiente  $\beta_{1i} = 1$ , foram classificados como de adaptabilidade geral ou ampla (Tabela 4).

Quanto ao parâmetro de estabilidade ( $\alpha^2_{di}$ ) os valores estimados para cada touro foram submetidos ao teste de significância, com isso constatou-se que os touros 1, 2, 3, 5, 6 e 9 tem valores de  $\alpha^2_{di} = 0$ , além disso os valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ )

foram considerados altos (acima de 50%), sendo assim estes touros foram classificados como sendo de alta estabilidade. Os outros touros (4, 7, 8 e 10) por terem o coeficiente  $\alpha^2_{di} \neq 0$ , foram definidos como de baixa estabilidade (Tabela 4).

Diante do discutido sobre os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade para a característica P420, é possível identificar os touros com comportamento previsível nos diferentes ambientes e que poderão gerar progênie com desempenho acima da média. Sendo assim os touros 1, 2, 3 e 5 foram classificados como sendo de adaptabilidade geral ou ampla, alta estabilidade e desempenho acima da média.

Tabela 4. Estimativas dos parâmetros de adaptabilidade ( $\beta_{oi}$ ,  $\beta_{li}$ ) e estabilidade ( $\alpha^2_{di}$ ) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) dos dez touros avaliados para a característica peso aos 420 dias de idade (P420), segundo a metodologia de Finlay e Wilkinson (1963) e Eberhart e Russell (1966)

Touros	$\beta_{oi}$ (Kg)	$\beta_{li}$	$\alpha^2_{di}$	$R^2$ (%)
1	245,90	0,33 <sup>ns</sup>	-8,79 <sup>ns</sup>	54,12
2	249,53	0,78 <sup>ns</sup>	25,73 <sup>ns</sup>	59,37
3	242,57	0,67 <sup>ns</sup>	5,53 <sup>ns</sup>	66,39
4	242,14	1,33 <sup>ns</sup>	69,28*	67,85
5	243,72	0,63 <sup>ns</sup>	-10,74 <sup>ns</sup>	84,16
6	232,42	0,33 <sup>ns</sup>	-11,74 <sup>ns</sup>	62,61
7	268,03	1,36 <sup>ns</sup>	654,31**	22,36
8	247,22	1,44 <sup>ns</sup>	109,74**	62,92
9	227,89	0,86 <sup>ns</sup>	27,86 <sup>ns</sup>	62,67
10	218,79	2,27 <sup>++</sup>	238,41**	67,88
Média geral	241,82			

ns = resultado não significativo ( $P > 0,05$ ) de acordo com o teste t empregado; ++ resultados significativos a 5% de probabilidade pelo teste t ; \*\* resultado significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $P < 0,05$ ) pelo teste F.

Na metodologia não-paramétrica proposta por Huehn (1990) é possível estimar a estabilidade através das expressões  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$ . Observa-se que para as expressões  $S_1$  e  $S_2$  os touros 3, 6, 7 e 10 foram os que obtiveram menores valores, já para a expressão  $S_3$  foram os touros 3, 6, 9 e 10.

Considerando que para a característica P420 o interesse é sobre os touros que apresentam maiores médias, pode-se verificar que o touro 7 é o que apresenta comportamento mais estável, e com boa classificação média em todos os ambientes, o que pode ser confirmado pela expressão  $r_1$  (Tabela 5). Isto indica que neste caso não ocorreu concordância entre as metodologias aplicadas, o que pode ser explicado pelo fato que a metodologia proposta por Finlay e Wilkinson (1963) e Eberhart e Russell (1966) leva em consideração os desvios da regressão.

Para a característica IPP as regiões e os touros com menores médias são considerados os melhores. Sendo assim, a análise (Tabela 6) indicou que as médias fenotípicas ( $\beta_{oi}$ ) das progênes dos touros nas regiões oscilou entre 1148,57 e 1243,91 dias. Dos 10 touros avaliados, 5 obtiveram produtividade abaixo da média geral (1188,26 dias).

Tabela 5. Estimativas de estabilidade de acordo com a metodologia proposta por Huenh (1990), para os dez touros avaliados para a característica peso aos 420 dias de idade (P420)

Touro	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	$\bar{r}_i$
1	1.33	1.00	0.50	4.00
2	1.33	1.33	1.14	2.33
3	0.67	0.33	0.25	5.33
4	2.00	2.33	0.59	5.67
5	3.33	8.33	1.25	5.33
6	0.67	0.33	0.16	8.33
7	0.67	0.33	1.00	1.33
8	2.67	4.00	1.00	4.00
9	1.33	1.00	0.22	9.00
10	0.67	0.33	0.14	9.67

$\bar{r}_i$ : médias das classificações ou média dos postos dos fenótipos nos diferentes ambientes; S<sub>1</sub>: média das diferenças absolutas entre as classificações do genótipo i nos ambientes; S<sub>2</sub>: variância das classificações do genótipo i nos ambientes; S<sub>3</sub>: soma dos desvios absolutos de cada classificação em relação à média das classificações.

Quanto ao parâmetro de adaptabilidade ( $\beta_{1i}$ ) os valores de cada touro foram submetidos ao teste *t*, com isso constatou-se que apenas o touro 3 tem o valor do coeficiente  $\beta_{1i} \neq 1$ , pelo fato do valor encontrado para este touro ser menor que um ( $\beta_{1i} < 1$ ) ele foi definido como adaptado a rebanhos desfavoráveis, ou seja, tem melhor desempenho em rebanhos em que o mérito genético das matrizes são piores para a característica estudada. Os outros touros (1, 2, 4, 5, 6, 11, 12, 13 e 14), pelo fato de terem o coeficiente  $\beta_{1i} = 1$ , foram classificados como de adaptabilidade geral ou ampla (Tabela 6).

Quanto ao parâmetro de estabilidade ( $\alpha^2_{di}$ ) os valores estimados para cada touro foram submetidos ao teste de significância, com isso constatou-se que os touros 1, 2, 3, 4, 5, 6, 11, 13 e 14 tem valores de  $\alpha^2_{di} = 0$ , além disso os valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foram considerados altos (acima de 50%), sendo assim estes touros foram classificados como sendo de alta estabilidade. Apenas o touro 12, por ter o coeficiente  $\alpha^2_{di} \neq 0$ , foi considerado como de baixa estabilidade (Tabela 6).

Diante destes resultados para a característica IPP, é possível identificar os touros com comportamento previsível nos diferentes ambientes e que poderão gerar progênes melhores desempenhos, ou seja, menores idades ao primeiro parto (abaixo da média). Sendo assim os touros 1, 4, 5 e 14 foram classificados como sendo de adaptabilidade geral ou ampla, alta estabilidade e com melhores desempenhos.

Quanto a metodologia não-paramétrica proposta por Huehn (1990), para a característica IPP observa-se que para as expressões  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$  os touros 1, 4, 5, 11 e 14 foram os que obtiveram menores valores. Sendo assim, considerando que para a característica IPP o interesse é sobre os touros que apresentam menores médias, pode-se verificar que os touros 1 e 14 foram os que apresentaram comportamento mais estável, e com boa classificação média em todos os ambientes, o que pode ser confirmado pela expressão  $r_1$  (Tabela 7). Sendo assim, para a característica IPP, as metodologias aplicadas nas análises de adaptabilidade e estabilidade concordaram parcialmente.

Tabela 6. Estimativas dos parâmetros de adaptabilidade ( $\beta_{oi}$ ,  $\beta_{1i}$ ) e estabilidade ( $\alpha^2_{di}$ ) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) dos dez touros avaliados para a característica idade ao primeiro parto (IPP), segundo a metodologia de Finlay e Wilkinson (1963) e Eberhart e Russell (1966)

Touros	$\beta_{oi}$ (dias)	$\beta_{1i}$	$\alpha^2_{di}$	$R^2$ (%)
1	1154,35	1,29 <sup>ns</sup>	482,18 <sup>ns</sup>	26,77
2	1207,72	3,30 <sup>ns</sup>	-329,43 <sup>ns</sup>	97,73
3	1148,57	-2,99 <sup>++</sup>	85,07 <sup>ns</sup>	78,60
4	1183,35	0,74 <sup>ns</sup>	-359,39 <sup>ns</sup>	85,17
5	1184,27	0,94 <sup>ns</sup>	-6,78 <sup>ns</sup>	31,01
6	1198,35	1,32 <sup>ns</sup>	190,31 <sup>ns</sup>	36,64
11	1199,68	1,76 <sup>ns</sup>	-195,17 <sup>ns</sup>	76,21
12	1243,91	3,58 <sup>ns</sup>	1208,62 <sup>**</sup>	60,54
13	1208,74	-1,22 <sup>ns</sup>	-151,65 <sup>ns</sup>	55,67
14	1153,63	1,29 <sup>ns</sup>	-315,33 <sup>ns</sup>	83,61
Média geral	1188,26			

ns = resultado não significativo ( $P > 0,05$ ) de acordo com o teste t empregado; ++ resultados significativos a 5% de probabilidade pelo teste t ; \*\* resultado significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $P < 0,05$ ) pelo teste F.

Marçal et. al. (2014) utilizando a metodologia de Finlay e Wilkinson (1963) e Eberhart e Russell (1966) para estimar os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, observaram que para a característica peso aos 120 dias de idade em animais da raça Tabapuã existem diferenças de desempenho nos rebanhos, e identificaram touros perfeitamente adaptados e estáveis, touros com adaptação geral, com adaptação específica a ambientes favoráveis e desfavoráveis. Barros et. al. (2006) utilizando a mesma metodologia, analisaram registros para peso à desmama, peso aos 12 meses e ganho de

peso até 160 dias pós-desmama, estes autores demonstraram que a metodologia utilizada foi eficiente em discriminar o comportamento das combinações genotípicas dentro de cada ambiente avaliado.

Tabela 7. Estimativas de estabilidade de acordo com a metodologia proposta por Huenh (1990), para os dez touros avaliados para a característica idade ao primeiro parto (IPP)

Touro	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$\bar{f}_i$
1	1.33	1.00	0.22	9.00
2	3.33	7.00	1.50	4.00
3	4.67	14.33	1.18	7.33
4	0.67	0.33	0.21	6.33
5	1.33	1.00	0.29	7.00
6	2.00	2.33	0.91	3.67
11	1.33	1.00	0.50	4.00
12	2.00	3.00	2.00	2.00
13	2.67	4.33	1.75	2.67
14	1.33	1.00	0.22	9.00

$\bar{f}_i$ : médias das classificações ou média dos postos dos fenótipos nos diferentes ambientes;  $S_1$ : média das diferenças absolutas entre as classificações do genótipo  $i$  nos ambientes;  $S_2$ : variância das classificações do genótipo  $i$  nos ambientes;  $S_3$ : soma dos desvios absolutos de cada classificação em relação à média das classificações.

## CONCLUSÃO

O comportamento dos dez touros analisados nas diferentes regiões estudadas para as características P420 e IPP, evidenciaram que os rebanhos e as regiões influenciaram na performance de suas progênes.

Por meio das metodologias aplicadas é possível identificar touros com adaptabilidade geral, alta estabilidade e com melhores desempenhos, os quais seriam os mais adequados a se utilizar em rebanhos onde não se conhece o mérito genético das matrizes e o ambiente onde serão criadas as progênes.

Os resultados das metodologias aplicadas nas análises de adaptabilidade e estabilidade indicaram que para a característica P420 não ocorreu concordância entre as metodologias, já para IPP ocorreu concordância parcial.

## REFERÊNCIAS

ARRUDA, Z, J.; SUGAI, Y, **Regionalização da pecuária bovina no Brasil**. Campo Grande: EMBRAPA-CNPGC, 1994. 144p.

BARROS, J. B. G.; BALEIRO, J. C. C.; ELER, J. P.; FERRAZ, J. B. S; BALIEIRO, E. S.; MATTOS, E. C. Estimativas e estabilidade fenotípica em características produtivas em bovinos de corte mestiços criados em diferentes ambientes. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.58, p.590-598, 2006.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, UFV, 2003.585p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 1997. 390p.

CRUZ, C. D. **Programa Genes: versão Windows – Aplicativo computacional em genética e estatística**. Viçosa: UFV, 2001. 648p.

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop. Science**, v.6, p.36-40, 1966.

FALCONER, D. S., MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4ed. England: Longman, 1996. 463p.

FINLAY, K. W.; WILKINSON, G. N. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. **Aus. J. Agric. Res.**, v.14, p.742-754, 1963.

HUEHN, M. Nonparametric measures of phenotypic stability. Part I: theory. **Euphytica**. v.47, p.189-194, 1990.

LAVORANTI, O. J. **Estabilidade e adaptabilidade fenotípica através da reamostragem “bootstrap” no modelo AMMI**. 2003. 166f. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agrônômica) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MARÇAL, M. F.; FERRAZ FILHO, P. B.; SOUZA, J. C.; SILVA, L. O. C.; GOMES, F. J.; FREITAS, J. A. Estabilidade e adaptabilidade de touros Tabapuã para característica de desempenho em função do índice de rebanhos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.66, p.195-202, 2014.

MOLINA, L. M. R. **Um estudo sobre métodos estatísticos na avaliação de interação genótipo x ambiente em linhagens de arroz (Oryza sativa L)**. 2007. 68f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal.

SCHMILDT, E. R.; CRUZ, C. D. Análise da adaptabilidade e estabilidade do milho pelos métodos de Eberhart e Russell (1966) e de Annicchiarico (1992). **Revista Ceres**, v. 52, p.45-58, 2005.