

Parâmetros genéticos do peso desde o nascimento até 730 dias de idade na raça Indubrasil

Fabio Luiz Buranelo Toral⁽¹⁾, Jonas Carlos Campos Pereira⁽¹⁾, José Aurélio Garcia Bergmann⁽¹⁾
e Luiz Antônio Josahkian⁽²⁾

⁽¹⁾Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária, Departamento de Zootecnia, Avenida Antônio Carlos, nº 6.627, CEP 31270-901 Belo Horizonte, MG, Brasil. E-mail: flbtoral@ufmg.br, jonas@vet.ufmg.br, bergmann@reitoria.ufmg.br ⁽²⁾Associação Brasileira dos Criadores de Zebu, Parque Fernando Costa, Praça Vicentino Rodrigues da Cunha, nº 110, CEP 38022-330 Uberaba, MG, Brasil. E-mail: abczsut@abcz.org.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi determinar parâmetros genéticos do peso desde o nascimento até 730 dias de idade na raça Indubrasil. Registros de peso (82.481) de 20.890 animais do nascimento aos 730 dias de idade foram utilizados. Os parâmetros genéticos foram determinados por meio de regressão aleatória. Amostras da distribuição a posteriori dos parâmetros de interesse foram obtidas com o amostrador de Gibbs. Polinômios de Legendre ou segmentados foram utilizados para modelar a trajetória média de crescimento. Os efeitos genético aditivo direto e de ambiente permanente direto foram modelados por polinômios de Legendre. Um polinômio segmentado linear-linear, com nó aos 251 dias de idade, ajustou a trajetória média. Polinômios de Legendre quadráticos e quinticos ajustaram, respectivamente, os efeitos genético aditivo e de ambiente permanente. Três classes de idade foram suficientes para modelar a heterocedasticidade residual. Na maior parte do intervalo considerado, as médias a posteriori da herdabilidade foram crescentes, com valores entre 0,10 e 0,45; a proporção da variância de ambiente permanente em relação à variância fenotípica foi constante, em torno de 0,48; e as correlações genéticas dos pesos em diferentes idades foram altas, acima de 0,60. Há variabilidade genética quanto ao peso na raça Indubrasil, e a seleção pode aumentar a média desta característica.

Termos para indexação: *Bos taurus*, correlação, herdabilidade, polinômios de Legendre, regressão aleatória, seleção.

Genetic parameters for weight from birth to 730 days of age in Indubrasil breed

Abstract – The objective of this work was to determine the genetic parameters for weight from birth to 730 days of age in Indubrasil breed. Weight data set (82,481) of 20,890 animals from birth to 730 days of age were used. The genetic parameters were determined by random regression. A posteriori distributions of the parameters of interest were obtained by the Gibbs sampler. Legendre or segmented polynomials were used to model the average growth trajectory. The direct additive genetic effect and direct permanent environmental effect were fit by Legendre polynomials. A linear-linear segmented polynomial, with a knot at 251 days of age, fitted the average growth trajectory. Quadratic and quintic Legendre polynomials fitted the direct additive genetic and permanent environmental effects, respectively. Three age classes were enough to model the residual heteroscedasticity. In the most part of the considered interval, the a posteriori means of heritability increased, with values between 0.10 and 0.45; the proportion of permanent environmental variance was constant in relation to the phenotypic variance and close to 0.48; and the genetic correlations of weight at different ages were high, over 0.60. There is genetic variability for weight in Indubrasil breed, and the selection can improve this trait's mean.

Index terms: *Bos taurus*, correlation, heritability, Legendre polynomials, random regression, selection.

Introdução

No Brasil, mais da metade dos registros genealógicos de zebuínos realizados nas décadas de 1930 e 1940 são da raça Indubrasil (Santiago, 1975), no entanto, a definição inadequada dos objetivos e critérios de seleção e a preferência por raças puras foram responsáveis pela

redução de sua importância. Esta raça pode ser opção para a produção de carne em regiões tropicais e com baixo nível tecnológico. A seleção deve ser vista como alternativa para aumentar a importância do Indubrasil na cadeia produtiva da carne, pois poderá acarretar aumento do interesse dos produtores em sua utilização e, assim, evitar sua extinção. O conhecimento dos

parâmetros genéticos das características de interesse econômico, como o peso, é fundamental para o delineamento de programas de seleção.

Avaliações genéticas do crescimento para a raça Indubrasil são realizadas quanto ao peso padronizado aos 120, 210 e 450 dias. A obtenção do peso depende da existência de duas medidas próximas da idade de interesse e da utilização de equações que considerem o ganho médio diário constante ao longo do tempo. Tais equações podem resultar em aumento da variância residual e redução da herdabilidade (Lôbo & Martins Filho, 2002). Esta técnica não permite avaliar animais com apenas uma pesagem ou que foram pesados fora do intervalo considerado. Assim, modelos de regressão aleatória podem ser utilizados para a obtenção dos parâmetros genéticos de crescimento, pois não dependem da padronização de peso e permitem incluir dados de animais com poucas pesagens ou pesados fora do intervalo determinado.

Modelos de regressão aleatória para obtenção de parâmetros genéticos do peso de zebuínos foram utilizados para as raças Brahman (Riley et al., 2007), Guzerá (Pelicioni et al., 2009), Nelore (Albuquerque & Meyer, 2001; Nobre et al., 2003; Valente et al., 2008) e Tabapuã (Dias et al., 2006), no entanto, não foram empregados para a raça Indubrasil. Em geral, modelos com polinômios de Legendre, com diferentes ordens, são comparados para o ajuste de efeitos aleatórios (como os genéticos e de ambiente permanente), e as covariâncias entre os coeficientes de regressão aleatória são utilizadas para obtenção das funções de covariância. Polinômios de Legendre até a ordem cúbica são utilizados para a modelagem das trajetórias médias de crescimento. Diferenças de ordens de ajustes das trajetórias médias influenciam as funções de covariância (Scalez et al., 2014), mas pouca atenção tem sido dada ao ajuste deste efeito.

O objetivo deste trabalho foi determinar parâmetros genéticos do peso desde o nascimento até 730 dias de idade na raça Indubrasil.

Material e Métodos

Dados do controle de desenvolvimento ponderal de bovinos Indubrasil, do nascimento aos 730 dias de idade e criados em pasto, foram obtidos da Associação Brasileira de Criadores de Zebu. Excluíram-se das análises os registros de peso pertencentes a classes de

fazenda e de ano de nascimento com menos de cinco animais, bem como os registros de peso dos filhos de vacas submetidas a protocolos de transferência de embrião ou de fecundação in vitro.

O arquivo final foi composto por 82.481 registros de peso de 20.890 animais (Figura 1), nascidos entre os anos de 1969 e 2012, filhos de 877 touros e 11.074 vacas, distribuídos em 134 fazendas das regiões Centro-Oeste (DF, GO, MS, MT), Nordeste (BA, CE, MA, PB, PE, RN, e SE) e Sudeste (ES, MG, RJ e SP). O número de classes de fazenda e ano de nascimento com cinco ou mais animais foi 829. Os registros foram distribuídos conforme a seguir: Centro-Oeste, 8.143 pesagens de 2.076 animais, filhos de 91 touros e 883 vacas; Nordeste, 42.064 pesagens de 10.681 animais, filhos de 521 touros e 5.918 vacas; e Sudeste, 32.274 pesagens de 8.133 animais, filhos de 358 touros e 4.324 vacas. Os números de animais com 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9 pesos foram 3.036, 3.123, 3.357, 2.983, 2.727, 2.678, 2.396, 589 e 1, respectivamente. Dos totais de vacas e touros com progênie incluídas na base de dados, 3.163 vacas e 359 touros também tiveram seus dados de pesagem incluídos no arquivo. O modelo geral considerado nas análises foi:

$$y_{ij} = F + \sum_{l=1}^3 \phi_l (ivp_m) b_l + \sum_{n=1}^N \varphi_n (id_j) c_n + \sum_{p=1}^P \gamma_p (id_j) \alpha_{ip} + \sum_{q=1}^Q \gamma_q (id_j) \rho_{iq} + e_{ij},$$

em que: y_{ij} representa o peso do animal i na idade j ; F é um conjunto de efeitos ambientais classificatórios (fazenda e ano de nascimento, mês de nascimento e sexo), que influenciam o peso; b_l é o coeficiente de regressão l , do efeito da idade da vaca ao parto sobre o peso; $\phi_l (ivp_m)$ é o valor do polinômio l , para a idade da vaca ao parto m ; c_n é o coeficiente de regressão n , para modelar o efeito da idade sobre o peso; $\varphi_n (id_j)$ é o valor do polinômio n para a idade j ; α_{ip} é o coeficiente de regressão p , para modelar o efeito genético aditivo do animal i ; $\gamma_p (id_j)$ é o valor do polinômio p para a idade j ; ρ_{iq} é o coeficiente de regressão q , para modelar o efeito de ambiente permanente do animal i ; $\gamma_q (id_j)$ é o valor do polinômio q para a idade j ; e_{ij} é o efeito de ambiente temporário. Os efeitos maternos – genético e de ambiente – não foram considerados, porque, em análises preliminares, as cadeias de Markov não convergiram. Problemas de convergência de cadeias de Markov podem acontecer quando há superparametrização do

modelo e a estrutura de dados não permite a separação adequada dos efeitos de interesse.

A idade da vaca ao parto variou de 730 a 6.205 dias, e seu efeito foi modelado com polinômio segmentado linear-linear-linear, com nós aos 2.555 e 4.380 dias. A trajetória média de crescimento foi modelada com polinômios de Legendre, de linear (N=2) a quártico (N=6), ou com polinômios segmentados linear-linear (N=3, intercepto + nó aos 251 dias) ou linear-linear-linear (N=4, intercepto + nós aos 242 e 432 dias). Polinômios de Legendre, de lineares até quárticos, foram utilizados para modelar os efeitos genético aditivo direto e de ambiente permanente direto. Inicialmente, as funções de covariância foram ajustadas com as mesmas ordens, para os efeitos genético aditivo e de ambiente permanente. Após a definição do melhor modelo para o ajuste da trajetória média, novas análises foram realizadas para verificar a possibilidade de reduzir o número de parâmetros do modelo. A partir do modelo com o polinômio de Legendre quártico (N = 6), para os efeitos genético aditivo e de ambiente permanente, foram avaliados modelos com polinômios de Legendre de ordens inferiores para o efeito genético aditivo. Após a definição da ordem mínima para tal efeito, realizou-se procedimento semelhante, para a identificação da ordem mínima do efeito de ambiente permanente. Nessas análises, a variância residual foi considerada heterogênea, com cinco classes de idade (dias): 0–30, 31–130, 131–330, 331–530 e 531–730. Após a definição das ordens de ajuste para os efeitos

genético e de ambiente permanente, classes de idade com estimativas semelhantes de variância residual foram agrupadas. Na forma matricial, o modelo geral pode ser descrito como $y = X\beta + Z_1a + Z_2p + \varepsilon$, em que: y representa o vetor com observações; X é a matriz de incidência dos efeitos ambientais; β é o vetor com as soluções para os efeitos ambientais; Z_1 é a matriz de incidência dos efeitos genéticos aditivos; a é o vetor com as soluções para os efeitos genéticos aditivos; Z_2 é a matriz de incidência dos efeitos de ambiente permanente; p é o vetor com as soluções para os efeitos de ambiente permanente; ε é o vetor com os erros. Considerou-se que

$$y | \beta, a, p, \sigma_{e_1}^2, \dots, \sigma_{e_s}^2 \sim \text{NMV}(X\beta + Z_1 a + Z_2 p, R).$$

As distribuições a priori, assumidas para os parâmetros desconhecidos, estão elencadas a seguir: $\beta \propto \text{constante}$; $a | \Lambda_a \sim \text{NVM}(0, G)$ com $G = \Lambda_a \otimes A$; $p | \Lambda_p \sim \text{NVM}(0, P)$ com $P = \Lambda_p \otimes I$; $\Lambda_a | v_a, S_a^2 \sim W^{-1}(v_a, v_a S_a^2)$; $\Lambda_p | v_p, S_p^2 \sim W^{-1}(v_p, v_p S_p^2)$; $R | v_e, S_e^2 \sim W^{-1}(v_e, v_e S_e^2)$.

Nessas equações, Λ_a e Λ_p representam matrizes de variância e covariância dos coeficientes de regressão para os efeitos genético aditivo e de ambiente permanente, respectivamente; NVM, distribuição normal multivariada; A representa a matriz de parentesco, com 34.707 animais; I representa a matriz identidade de ordem igual ao número de animais com dados; R representa a matriz de variâncias residuais; $v_a, S_a^2, v_p, S_p^2, v_e$ e S_e^2 , representam os graus de liberdade e valores a priori para as variâncias e covariâncias genéticas aditivas, de ambiente permanente e residual, respectivamente; e W^{-1} é a distribuição de Wishart invertida. Jamrozik & Schaeffer (1997) e Rekaya et al. (1999) apresentaram os detalhes das distribuições condicionais completas a posteriori.

Amostras das distribuições a posteriori dos parâmetros de interesse foram obtidas por meio do amostrador de Gibbs em cadeias de Markov. Foram consideradas cadeias com 250 mil iterações, com descarte das 50 mil iniciais, e amostragens a cada 50 ciclos. Estas cadeias foram obtidas com a utilização do programa GIBBS3F90 (Misztal et al., 2002). Os critérios de ajuste considerados para as comparações de modelo foram: a variância residual total (VRT), o critério de informação da deviance (CID) e o critério

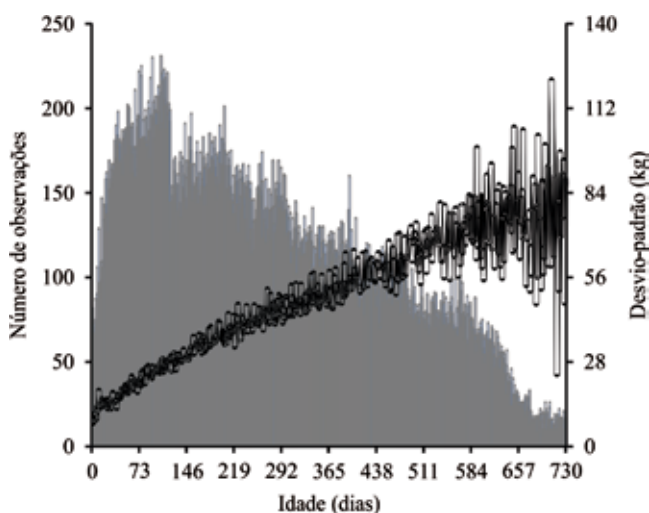


Figura 1. Número de observações e desvio-padrão do peso de bovinos Indubrasil, do nascimento aos 730 dias de idade.

de informação bayesiana (CIB), definidos de acordo com Pereira et al. (2013). Os modelos de melhor ajuste são os que apresentam os menores valores de VRT, CID e CIB.

Resultados e Discussão

Os polinômios segmentados se ajustaram melhor aos dados de crescimento de bovinos Indubrasil do que os polinômios de Legendre (Figura 2). Os polinômios segmentados e de Legendre superestimaram as trajetórias de crescimento até os 150 dias de idade. Os valores estimados pelos dois tipos de polinômios foram próximos dos valores observados entre 150 e 600 dias. Após este período, as estimativas obtidas com os polinômios segmentados foram superiores àquelas obtidas com os polinômios de Legendre e mais próximas das médias observadas. A utilização de polinômios segmentados também permite obter médias do ganho médio diário (kg por dia) dos animais, pois o coeficiente de regressão linear representa a mudança na variável dependente (peso, kg) em razão da mudança

em uma unidade da variável independente (idade, dias).

O aumento do número de nós dos polinômios segmentados, utilizados para modelar a trajetória média, não resultou em redução nos valores dos avaliadores de ajuste (VRT, CID e CIB) em metade dos modelos testados (Tabela 1). As soluções para os coeficientes de regressão do crescimento, no terceiro segmento (432–730 dias), foram próximas de zero (Tabela 2), o que é uma indicação de que o crescimento de bovinos Indubrasil foi constante entre 242 e 730 dias de idade. Com estes resultados, pode-se afirmar que um polinômio segmentado linear-linear, com nó aos 251 dias de idade, é suficiente para ajustar a trajetória média de crescimento de bovinos Indubrasil, em avaliações genéticas, por meio de regressão aleatória.

Tabela 1. Número total de componentes de covariância e variância (NCV), variância residual total (VRT), critério de informação da deviance (CID) e critério de informação bayesiana (CIB), de modelos de regressão aleatória com polinômios de Legendre ou segmentados, para determinação da trajetória média e funções de covariância, do peso de bovinos Indubrasil, do nascimento aos 730 dias de idade.

Modelo ⁽¹⁾	NCV	VRT	CID	CIB
L(2)L(22)R(5)	11	568.256	766.411	725.797
L(3)L(33)R(5)	17	327.306	741.332	689.626
L(4)L(44)R(5)	25	282.192	733.965	673.902
L(5)L(55)R(5)	35	247.464	725.660	654.097
L(6)L(66)R(5)	47	201.624	716.452	634.819
S(3)L(22)R(5)	11	404.237	747.270	701.576
S(3)L(33)R(5)	17	310.889	738.698	686.313
S(3)L(44)R(5)	25	276.397	732.417	670.952
S(3)L(55)R(5)	35	244.833	726.356	652.388
S(3)L(66)R(5)	47	202.403	716.658	635.936
S(4)L(22)R(5)	11	403.472	747.346	701.403
S(4)L(33)R(5)	17	310.861	737.889	687.052
S(4)L(44)R(5)	25	277.179	732.026	671.279
S(4)L(55)R(5)	35	244.937	725.944	652.766
S(4)L(66)R(5)	47	201.886	717.626	634.349

⁽¹⁾X(K_m)L(K_aK_p)R(5), polinômio do tipo X (L, Legendre; S, segmentado) com K_m coeficientes de regressão, para ajuste da trajetória média de crescimento, com polinômios de Legendre (L): com K_a coeficientes de regressão, para determinação do efeito genético aditivo direto; K_p coeficientes de regressão, para o efeito de ambiente permanente direto; e R(5), cinco classes de variância residual.

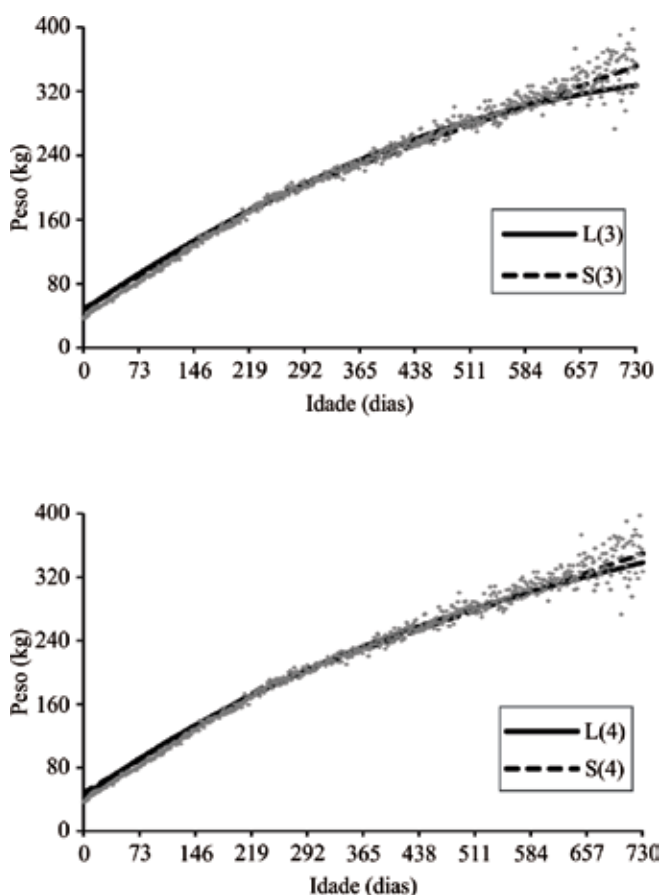


Figura 2. Trajetória média do peso de bovinos Indubrasil, desde o nascimento até 730 dias de idade. Valores observados (pontos) e ajustados por meio de polinômios de Legendre [L(K_m)] e segmentados [S(K_m)] com K_m coeficientes de regressão.

As médias a posteriori dos coeficientes de regressão para a trajetória média de crescimento de bovinos da raça Indubrasil, que podem ser interpretados como ganho médio diário do nascimento aos 8 meses de idade (pré-desmama) e dos 8 aos 24 meses (pós-desmama) foram 0,57 e 0,34 kg por dia, respectivamente (Tabela 2). Apesar das diferenças ambientais, os ganhos médios diários observados na raça Indubrasil foram iguais aos obtidos por Sumário de touros (2013) para bovinos Nelore, a principal raça zebuína utilizada para a produção de carne no Brasil. Portanto, a raça Indubrasil também apresenta potencial para a exploração comercial em sistemas de produção de carne bovina.

Os aumentos dos números de coeficientes de regressão aleatória, para modelar os efeitos genético aditivo e de ambiente permanente, resultaram em melhorias nos ajustes dos modelos, independentemente do polinômio utilizado para modelar a trajetória média (Tabela 1). Nos modelos com polinômio de Legendre quártico, para ajuste do efeito de ambiente permanente e cinco classes de variâncias residuais, o valor do CIB foi menor no modelo com polinômio de Legendre quártico S(3)L(36)R(5) para modelagem do efeito genético aditivo (Tabela 3). Meyer (2005) e Valente et al. (2008) também concluíram que polinômios de Legendre quárticos foram suficientes para modelar o efeito genético aditivo sobre o peso, desde o nascimento até os 820 dias, em bovinos Angus, na Austrália e Nova Zelândia, e dos 90 aos 450 dias, em bovinos Nelore, no Brasil. Os valores de VRT e

CID foram menores nos modelos com polinômios de Legendre cúbicos S(3)L(46)R(5) e quárticos S(3)L(66)R(5), respectivamente, quanto ao ajuste do efeito genético aditivo direto (Tabela 3). Nobre et al. (2003), Dias et al. (2006), Sousa Júnior et al. (2010) e Silva et al. (2013) utilizaram polinômios de Legendre cúbicos, e Santoro et al. (2005) utilizaram polinômios de Legendre quárticos, para modelar o efeito genético aditivo direto sobre o peso de zebuínos desde o nascimento até os dois anos de idade. Diferentes modelos seriam indicados como mais adequados a partir da análise dos critérios de ajuste, mas as médias a posteriori das variâncias genéticas obtidas com esses modelos foram semelhantes, exceto após os 700 dias de idade, quando as variâncias genéticas no modelo S(3)L(66)R(5) aumentaram subitamente (Figura 3 A). Portanto, não se justifica a utilização de polinômios de ordem superior à quártica para modelar a variância genética aditiva do peso do nascimento aos 730 dias de idade na raça Indubrasil.

A redução no número de coeficientes de regressão, para modelar o efeito de ambiente permanente, resultou em aumento de todos os critérios de ajuste considerados (Tabela 3). Estes resultados corroboram os de Meyer (2001) e Dias et al. (2006), que também verificaram a necessidade de utilização de polinômios de Legendre de ordens quártica ou quártica, pelo menos. Polinômios de Legendre de altas ordens foram necessários até para modelar o efeito de ambiente permanente direto do nascimento aos 300 dias (Meyer, 2001). A necessidade de utilização de altas ordens, para os polinômios

Tabela 2. Médias e desvios-padrão (DP) a posteriori dos coeficientes de regressão utilizados para ajuste da trajetória média do peso de bovinos Indubrasil, desde o nascimento até 730 dias de idade.

Modelo ⁽¹⁾	Intervalo 1 (0–251 ou 0–242 dias) ⁽²⁾		Intervalo 2 (251–730 ou 242–432 dias) ⁽³⁾		Intervalo 3 (432–730 dias)	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
S(3)L(22)R(5)	0,57011	0,00395	-0,24235	0,00183	-	-
S(3)L(33)R(5)	0,56288	0,00483	-0,22602	0,00428	-	-
S(3)L(44)R(5)	0,56086	0,00449	-0,22346	0,00446	-	-
S(3)L(55)R(5)	0,56211	0,00480	-0,22354	0,00511	-	-
S(3)L(66)R(5)	0,55740	0,00454	-0,21467	0,00557	-	-
S(4)L(22)R(5)	0,57315	0,00407	-0,23044	0,00255	-0,02700	0,00371
S(4)L(33)R(5)	0,57110	0,00460	-0,22626	0,00420	-0,01911	0,00485
S(4)L(44)R(5)	0,56959	0,00439	-0,22534	0,00452	-0,01829	0,00687
S(4)L(55)R(5)	0,56728	0,00489	-0,21903	0,00521	-0,02132	0,00672
S(4)L(66)R(5)	0,56236	0,00456	-0,20264	0,00882	-0,04051	0,00882

⁽¹⁾S(K_m)L(K_aK_p)R(5), polinômio do tipo S (segmentado) com K_m coeficientes de regressão, para ajuste da trajetória média de crescimento, com polinômios de Legendre (L): com K_a coeficientes de regressão, para o efeito genético aditivo direto; K_p coeficientes de regressão, para o efeito de ambiente permanente direto; e R(5), cinco classes de variância residual. ⁽²⁾Intervalo 0–251 dias para modelos S(3) e 0–242 dias para modelos S(4). ⁽³⁾Intervalo 251–730 dias para modelos S(3) e 242–432 dias para modelos S(4).

associados ao efeito de ambiente permanente, pode ser resultado da dificuldade de separá-lo do efeito genético aditivo direto e de problemas de amostragem (Meyer, 2001; Dias et al., 2006). A variação do número de observações em cada idade e diferenças nos intervalos de mensurações para cada animal também podem ser responsáveis por tal necessidade.

As mudanças das ordens do polinômio de Legendre, quanto ao efeito de ambiente permanente, resultaram em mudanças nos formatos das trajetórias de suas variâncias, especialmente no final do intervalo de idades (Figura 3 B). As médias a posteriori das variâncias de ambiente permanente, obtidas com polinômios de Legendre de lineares S(3)L(32)R(5) até quárticos S(3)L(35)R(5), aumentaram ao longo de todo o intervalo de idades. No caso do modelo com o polinômio de Legendre quártico S(3)L(36)R(5), as médias a posteriori da variância de ambiente permanente aumentou do nascimento as 630 dias e oscilou significativamente após esta idade. Meyer (2005) relatou comportamento semelhante com polinômios de ordem quártica e atribuiu este fato à dificuldade para ajustar a trajetória média de crescimento. Na parte final do intervalo de idades, houve redução do número de observações e maior oscilação das médias observadas

quanto ao peso, o que dificultou o ajuste da trajetória média.

Em função das semelhanças das médias a posteriori das variâncias residuais para a primeira (0–30 dias) e segunda (31–130 dias) classes de variância, bem como para a quarta (331–530 dias) e quinta (531–730 dias) classes (Figura 3 C), foi possível reduzir o número de classes de variância residual para três (0–130, 131–330, e 331–730 dias), sem comprometer os critérios de ajuste (Tabela 3). Toral et al. (2009) alertaram para a possibilidade de agrupar classes de idades adjacentes e com variâncias residuais semelhantes. Este procedimento foi aplicado com sucesso por Scalez et al. (2014), para a análise do peso de tourinhos Nelore e mestiços Charolês x Nelore.

As médias a posteriori da herdabilidade do peso de bovinos Indubrasil variaram entre 0,09 (50 dias) e 0,53 (700 dias) e estiveram associadas a intervalos de alta densidade (95% das amostras) estreitos (Figura 4 A). Estes resultados evidenciam que as diferenças dos valores genéticos aditivos de peso tornam-se maiores com o aumento da idade. Na raça Indubrasil, Carneiro et al. (2009) obtiveram estimativas de herdabilidade de 0,11, 0,16 e 0,15 para os pesos aos 205, 365 e 550 dias de idade, respectivamente. Tais valores foram

Tabela 3. Número total de componentes de covariância e variância (NCV), variância residual total (VRT), critério de informação da deviance (CID) e critério de informação bayesiana (CIB) de modelos de regressão aleatória, com polinômios de Legendre, para modelagem das funções de covariância do peso de bovinos Indubrasil, desde o nascimento até 730 dias de idade.

Modelo ⁽¹⁾	NCV	VRT	CID	CIB
Modelo de referência				
S(3)L(66)R(5)	47	202.403	716.658	635.936
Funções de covariância para efeitos genéticos				
S(3)L(26)R(5)	29	201.766	717.333	636.027
S(3)L(36)R(5)	32	202.061	717.175	634.573
S(3)L(46)R(5)	36	201.532	717.095	635.107
S(3)L(56)R(5)	41	202.024	716.774	635.314
Funções de covariância para efeito de ambiente permanente				
S(3)L(32)R(5)	14	313.340	738.497	684.827
S(3)L(33)R(5)	17	310.769	738.826	685.883
S(3)L(34)R(5)	21	276.765	732.953	671.927
S(3)L(35)R(5)	26	244.425	726.416	653.108
Variância residual				
S(3)L(36)R(4a)	31	202.149	717.232	634.331
S(3)L(36)R(4b)	31	202.028	717.645	634.902
S(3)L(36)R(3)	30	201.200	717.071	634.301

⁽¹⁾S(3)L(K_aK_p)R(5), polinômio do tipo segmentado, com três coeficientes de regressão, para ajuste da trajetória média de crescimento (intercepto + linear-linear) com polinômios de Legendre (L): com K_a coeficientes de regressão, para determinação do efeito genético aditivo direto; K_p coeficientes de regressão, para o efeito de ambiente permanente direto; e R(5), cinco classes de variância residual.

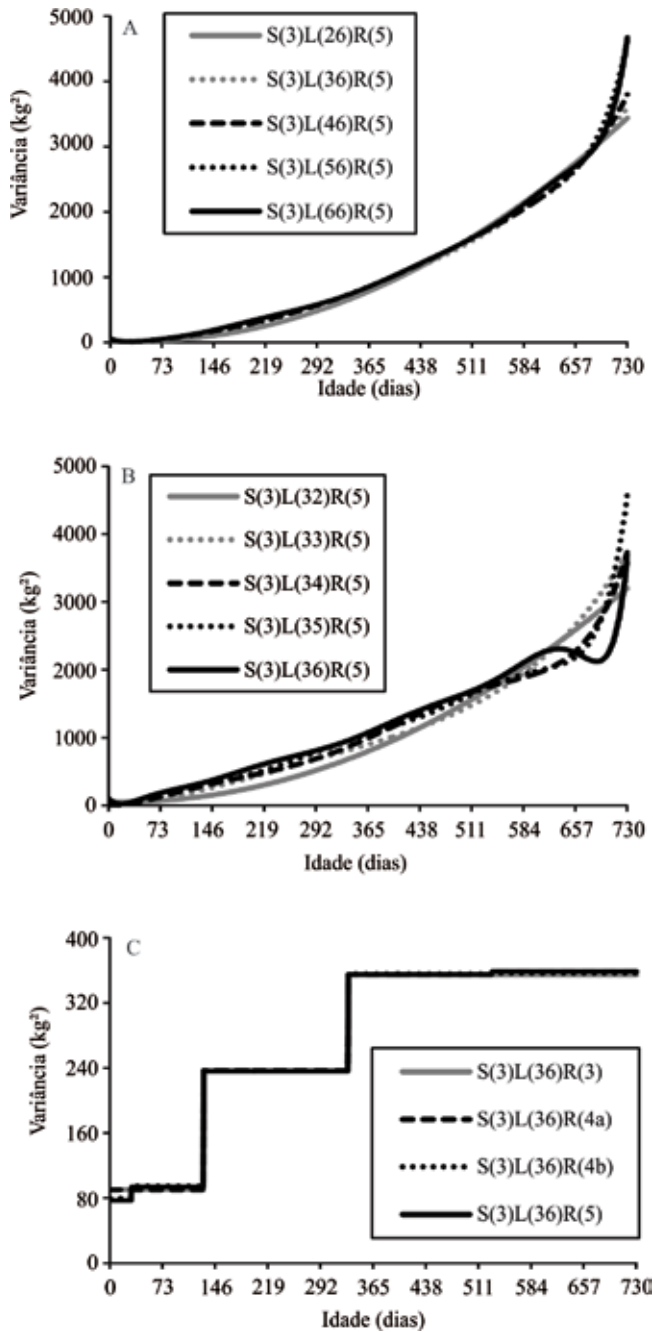


Figura 3. Médias a posteriori da variância genética aditiva direta (A), de ambiente permanente direto (B) e residual (C), do peso de bovinos Indubrasil, desde o nascimento até os 730 dias de idade, de acordo com o modelo estatístico. S(3), polinômio do tipo segmentado com três coeficientes de regressão, para ajuste da trajetória média de crescimento (intercepto + linear-linear); L ($K_a K_p$), polinômio de Legendre com K_a e K_p coeficientes de regressão, para determinação dos efeitos genético aditivo direto e de ambiente permanente direto, respectivamente; e R (X), número de classes de variância residual.

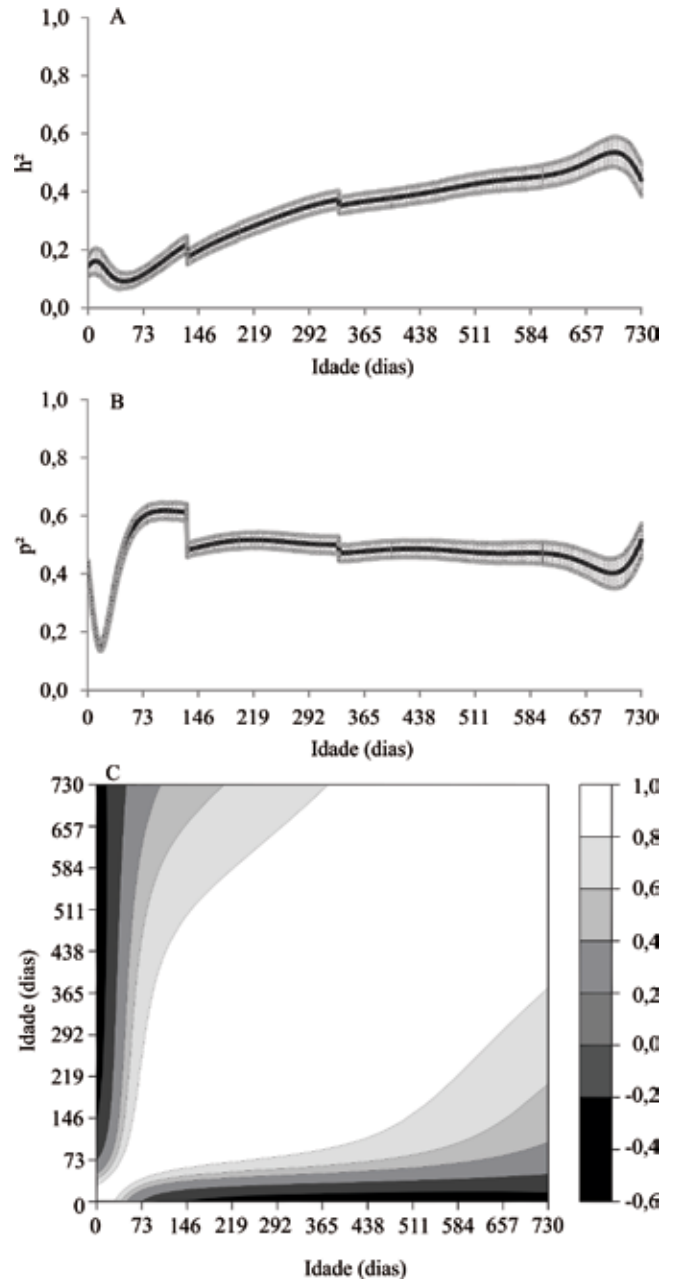


Figura 4. Médias a posteriori da herdabilidade (h^2) (A), proporção da variância de ambiente permanente em relação à variância fenotípica (p^2) (B), e correlações genéticas (C), do peso do nascimento até 730 dias de idade de bovinos Indubrasil, obtidas por meio de modelo de regressão aleatória, com polinômio do tipo segmentado com três coeficientes de regressão, para ajuste da trajetória média de crescimento (intercepto + linear-linear). Polinômios de Legendre: quadrático (três coeficientes), para determinação do efeito genético aditivo direto, e quádruplo (seis coeficientes), para o efeito de ambiente permanente direto, e três classes de variância residual [S(3)L(36)R(3)]. Intervalos de alta densidade (95% das amostras) estão delimitados em A e B.

inferiores às médias – 0,37, 0,37 e 0,44 para as três idades, respectivamente – e aos limites inferiores dos intervalos de alta densidade obtidos no presente trabalho. A herdabilidade obtida com o modelo de regressão aleatória pode ser superior à obtida com modelos multicaudalísticos (Nobre et al., 2003). Em geral, as estimativas de herdabilidade para o efeito direto, obtidas em modelos com inclusão de efeitos maternos, também são menores do que aquelas obtidas em modelos sem o efeito materno (Silva et al., 2006). Contudo, esta explicação não é responsável por toda essa diferença observada nos resultados do presente trabalho, em relação aos valores obtidos por Carneiro et al. (2009), uma vez que a herdabilidade do efeito materno do peso aos 205 dias foi 0,01. A herdabilidade do peso de bovinos Indubrasil foi de média a alta magnitude, o que indica que a seleção para aumentar o peso é uma alternativa viável para modificar a média desta característica.

As variâncias dos efeitos de ambiente permanente direto foram responsáveis por aproximadamente 48% das variâncias fenotípicas (Figura 4 B). Foram observadas oscilações nesta proporção, nos dois extremos do intervalo de idades. Tais oscilações resultaram da utilização de polinômios de elevadas ordens – quártica no presente caso – para o ajuste deste efeito. Os valores obtidos no presente trabalho estão dentro da amplitude dos resultados já publicados para outras raças zebuínas, que variaram de 40% na raça Nelore (Albuquerque & Meyer, 2001) a 70% na raça Tabapuã (Dias et al., 2006).

Em geral, foram elevadas as médias a posteriori das correlações genéticas dos pesos em diferentes idades (Figura 4 C), especialmente para idades próximas, o que é uma indicação de que a seleção para aumentar o peso, em qualquer idade, resultará em respostas correlacionadas no mesmo sentido para o peso em outras idades. Contudo, algumas correlações genéticas negativas foram observadas entre os pesos próximos ao nascimento com pesos em idades mais avançadas, o que pode ter ocorrido em razão de diferenças nos ajustes das trajetórias médias, especialmente no final do intervalo considerado.

Conclusões

1. Há variabilidade genética quanto ao peso de bovinos da raça Indubrasil, do nascimento aos 730 dias de idade.

2. A seleção para aumentar o peso em determinada idade promove respostas diretas e correlacionadas no peso em outras idades.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelas bolsas de produtividade em pesquisa; ao professor Ignacy Misztal da University of Georgia pela disponibilização do software GIBBS3F90; e aos criadores de bovinos Indubrasil pela coleta e disponibilização dos dados.

Referências

- 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.
- CARNEIRO, P.L.S.; MALHADO, C.H.M.; MARTINS FILHO, R.; CANEIRO, A.P.S.; SILVA, F.F. e; TORRES, R. de A. A raça Indubrasil no Nordeste brasileiro: melhoramento e estrutura populacional. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, p.2327-2334, 2009. DOI: 10.1590/S1516-35982009001200006.
- DIAS, L.T.; ALBUQUERQUE, L.G. de; TONHATI, H.; TEIXEIRA, R. de 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, p.1915-1925, 2006. DOI: 10.1590/S1516-35982006000700006.
- JAMROZIK, J.; SCHAEFFER, L.R. Estimates of genetic parameters for a test day model with random regressions for yield traits of first lactation Holsteins. *Journal of Dairy Science*, v.80, p.762-770, 1997. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(97)75996-4.
- LÔBO, R.B.B.; MARTINS FILHO, R. Avaliação de métodos de padronização dos pesos corporais às idades de 205, 365 e 550 dias. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31, p.1695-1706, 2002. DOI: 10.1590/S1516-35982002000700012.
- MEYER, K. Estimates of direct and maternal covariance functions for growth of Australian beef calves from birth to weaning. *Genetics Selection Evolution*, v.33, p.487-514, 2001. DOI: 10.1186/1297-9686-33-5-487.
- MEYER, K. Estimates of genetic covariance functions for growth of Angus cattle. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, v.122, p.73-85, 2005. DOI: 10.1111/j.1439-0388.2005.00503.x.
- MISZTAL, I.; TSURUTA, S.; STRABEL, T.; AUVRAY, B.; DRUET, T.; LEE, D.H. BLUPF90 and related programs (BGF90). In: WORLD CONGRESS ON GENETICS APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION, 7., 2002, Montpellier. *Proceedings*. Montpellier: WCGALP Permanent International Committee, 2002.
- NOBRE, P.R.C.; MISZTAL, I.; TSURUDA, S.; BERTRAND, J.K.; SILVA, L.O.C.; LOPES, P.S. Analyses of growth curves of Nelore cattle by multiple-trait and random regression models. *Journal of Animal Science*, v.81, p.918-926, 2003.

- PELICIONI, L.C.; ALBUQUERQUE, L.G. de; QUEIROZ, S.A. de. Estimção de componentes de co-variância para pesos corporais do nascimento aos 365 dias de idade de bovinos Guzerá empregando-se modelos de regressão aleatória. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.50-60, 2009. DOI: 10.1590/S1516-35982009000100007.
- PEREIRA, R.J.; BIGNARDI, A.B.; EL FARO, L.; VERNEQUE, R.S.; VERCESI FILHO, A.E.; ALBUQUERQUE, L.G. Random regression models using Legendre polynomials or linear splines for test-day milk yield of dairy Gyr (*Bos Taurus*) cattle. **Journal of Dairy Science**, v.96, p.565-574, 2013. DOI: 10.3168/jds.2011-5051.
- REKAYA, R.; CARBAÑO, M.J.; TORO, M.A. Use of test day yields for the genetic evaluation of production traits in Holstein-Friesian cattle. **Livestock Production Science**, v.57, p.203-217, 1999. DOI: 10.1016/S0301-6226(98)00181-X.
- RILEY, D.G.; COLEMAN, S.W.; CHASE JUNIOR, C.C.; OLSON, T.A.; HAMMOND, A.C. Genetic parameters for body weight, hip height, and the ratio of weight to hip height from random regression analyses of Brahman feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, v.85, p.42-52, 2007. DOI: 10.2527/jas.2005-651.
- SANTIAGO, A.A. Os **cruzamentos na pecuária bovina**. São Paulo: Instituto de Zootecnia, 1975. 549p.
- SANTORO, K.R.; BARBOSA, S.B.P.; SANTOS, E. de S.; BRASIL, L.H. de A. Uso de funções de covariância na descrição do crescimento de bovinos Nelore criados no Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, p.2290-2297, 2005. DOI: 10.1590/S1516-35982005000700015.
- SCALEZ, D.C.B.; FRAGOMENI, B.O.; PASSAFARO, T.L.; PEREIRA, I.G.; TORAL, F.L.B. Polynomials to model the growth of young bulls in performance tests. **Animal**, v.8, p.370-378, 2014. DOI: 10.1017/S1751731113002334.
- SILVA, I.S.; PACKER, I.U.; SILVA, L.O.C. da; TORRES JUNIOR, R.A. de A.; MELO, C.M.R. de. Avaliação de modelos para estimção de componentes de variância e parâmetros genéticos para características de crescimento de bovinos da raça Guzerá. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.1943-1950, 2006. DOI: 10.1590/S1516-35982006000700009.
- SILVA, T.B.R. da; ARAÚJO, C.V. de; BITTENCOURT, T.C.B. dos S.C. de; ARAÚJO, S.I.; LÔBO, R.B.; BEZERRA, L.A.F.; SILVA, D.A. da; SILVA, A.A. da. Use of orthogonal functions in random regression models in describing genetic variance in Nelore cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.42, p.254-258, 2013. DOI: 10.1590/S1516-35982013000400004.
- SOUZA JÚNIOR, S.C. de; OLIVEIRA, S.M.P. de; ALBUQUERQUE, L.G.; BOLIGON, A.A.; MARTINS FILHO, R. Estimção 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. DOI: 10.1590/S1516-35982010000500014.
- SUMÁRIO de touros. Uberaba: Associação Brasileira de Criadores de Zebu, 2013. 371p.
- TORAL, F.L.B.; ALENCAR, M.M. de; FREITAS, A.R. de. Estruturas de variância residual para estimção de funções de covariância para o peso de bovinos da raça Canchim. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.2152-2160, 2009. DOI: 10.1590/S1516-35982009001100012.
- 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. DOI: 10.1590/S0102-09352008000200018.

Recebido em 13 de fevereiro de 2014 e aprovado em 27 de junho de 2014