



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

AYRTON FERNANDES DE OLIVEIRA BESSA

**ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS GENÉTICOS PARA CARACTERÍSTICAS DE
IMPORTÂNCIA ECONÔMICA EM ANIMAIS DA RAÇA BRAHMAN**

AREIA
2021

AYRTON FERNANDES DE OLIVEIRA BESSA

**ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS GENÉTICOS PARA CARACTERÍSTICAS DE
IMPORTÂNCIA ECONÔMICA EM ANIMAIS DA RAÇA BRAHMAN**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, da Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

Comitê de orientação:

Prof. Dr. Marcos Eli Buzanskas - Orientador
Prof. Dr. Severino Gonzaga Neto - Coorientador

AREIA

2021

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

B557e Bessa, Ayrton Fernandes de Oliveira.

Estimação de parâmetros genéticos para características de importância econômica em animais da raça Brahman / Ayrton Fernandes de Oliveira Bessa. - Areia:UFPB/CCA, 2021.

37 f.

Orientação: Marcos Eli Buzanskas.

Coorientação: Severino Gonzaga Neto.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCA.

1. Avaliação genética. 2. Bovinos de corte. 3. Critérios de seleção. 4. Inferência Bayesiana. I. Buzanskas, Marcos Eli. II. Gonzaga Neto, Severino. III. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 636(043.3)



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

PARECER DE DEFESA DO TRABALHO DE DISSERTAÇÃO

TÍTULO: “ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS GENÉTICOS PARA CARACTERÍSTICAS DE IMPORTÂNCIA ECONÔMICA EM ANIMAIS DA RAÇA BRAHMAN”

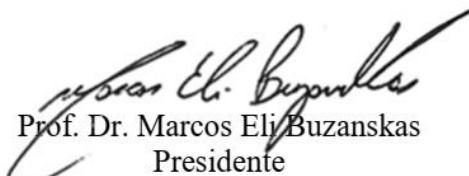
AUTOR: Ayrton Fernandes de Oliveira Bessa

ORIENTADOR: Marcos Eli Buzanskas

J U L G A M E N T O

CONCEITO: APROVADO

EXAMINADORES:


Prof. Dr. Marcos Eli Buzanskas
Presidente
Universidade Federal da Paraíba


Profa. Dra. Priscila Arrigucci Bernardes
Examinadora
Universidade Federal de Santa Catarina


Prof. Dr. Danísio Prado Munari
Examinador
Universidade Estadual Paulista

Areia, 10 de fevereiro de 2021.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Ayrton Fernandes de Oliveira Bessa, nascido em João Pessoa-PB, no dia 27 de agosto de 1994, filho de Wilamar Fernandes da Silva Bessa e Suenia de Oliveira Pereira, graduou-se em Zootecnia pela Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Campus II, Areia. Em março de 2019, iniciou o curso de mestrado na mesma instituição de ensino, sob orientação do professor Dr. Marcos Eli Buzanskas e coorientação do professor Dr. Severino Gonzaga Neto.

"Reparta o seu conhecimento.
É uma forma de alcançar a imortalidade."

Dalai Lama

Aos meus familiares, em especial,
aos meus pais Wilamar e Suenia,
à minha tia Suely e ao meu irmão Alexandre.

Dedico e ofereço este trabalho.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por iluminar meu caminho e me dar forças para seguir sempre em frente.

Aos meus amados Pais, pelo amor, confiança, força e carinho, que, sempre batalharam para que nada me faltasse. À toda minha família, pelo apoio e carinho.

Ao amigo, orientador e professor Dr. Marcos Eli Buzanskas, pela oportunidade, paciência, confiança, amizade e ensinamentos ao longo desses anos.

Aos membros da banca de defesa de dissertação, Profa. Dra. Priscila Arrigucci Bernardes e Prof. Dr. Danísio Prado Munari, pela disponibilidade e sugestões dadas ao trabalho.

Aos membros banca de qualificação Prof. Dr. Fernando Baldi e Profa. Dra. Priscila Arrigucci Bernardes, pelas sugestões e contribuições.

À Associação Nacional de Criadores e Pesquisadores (ANCP), pelo fornecimento do banco de dados de animais da raça Brahman utilizados neste estudo.

Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Campus II, Areia, pela oportunidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao amigo Igor Nelson Herculano Duarte e aos demais alunos do Grupo de Pesquisa em Genética e Genômica Animal (GPGGA-UFPB).

A todos que ajudaram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

BESSA, A. F. O. **Estimação de parâmetros genéticos para características de importância econômica em animais da raça Brahman**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, UFPB, Areia-PB. Orientador: Prof. Dr. Marcos Eli Buzanskas.

Com o desenvolvimento da pecuária bovina de corte no Brasil, criadores têm buscado ferramentas do melhoramento genético para obtenção de melhores resultados à campo. Neste sentido, estudos com uma ampla variedade de características buscam identificar animais com rápido desenvolvimento, adequado acabamento de gordura e performances reprodutivas precoces. Assim, os objetivos deste trabalho foram estimar parâmetros genéticos para características de peso corporal, reprodutivas e de qualidade da carcaça; estudar as tendências genéticas ao longo dos anos de avaliações genéticas; e a influência da endogamia sobre os fenótipos em bovinos da raça Brahman. As características estudadas foram: pesos corporais mensurados aos 120, 210, 365 e 450 dias de idade (P120, P210, P365 e P450); perímetros escrotais mensurados ao 365 e 450 dias de idade (PE365 e PE450), idade ao primeiro parto (IPP), período de gestação (PG), habilidade de permanência no rebanho (STAY), área olho de lombo (AOL), espessura de gordura subcutânea (EGS) e espessura de gordura na garupa (EGP8). Foi utilizado o método dos quadrados mínimos para determinar a significância dos efeitos fixos nas características estudadas e formação de grupos de contemporâneos. Os parâmetros genéticos foram estimados por meio de análises frequencistas e bayesianas, sob modelo animal. Para o estudo de tendências genéticas e depressão endogâmica foi utilizada a regressão linear e considerou-se a estatística t ao nível de significância de 5%. As estimativas de herdabilidade para P120, P210, P365, P450, PE365, PE450, IPP, PG, STAY, AOL, EGS e EGP8 variaram de $0,10 \pm 0,03$ a $0,43 \pm 0,06$, respectivamente. Estimativas de herdabilidade materna para P120, P210, P365, P450, PE365, PE450 e PG variaram de $0,07 \pm 0,02$ a $0,15 \pm 0,03$. A estimativa da proporção do ambiente permanente materno para P120 e P210 foi igual a $0,11 \pm 0,02$. Correlações genéticas variaram entre $-0,60 \pm 0,25$ (entre STAY e EGS) e $0,97 \pm 0,01$ (entre P365 e P450). Com exceção da IPP, todas as tendências genéticas foram significativas ($p < 0,05$) e favoráveis. Houve efeito significativo ($p < 0,05$) da endogamia para as características P120, P210, P365, P450 e IPP, as quais foram ajustadas para seus respectivos os efeitos fixos. Com base nas tendências genéticas avaliadas, foi possível verificar que a seleção conduzida para a maioria das características estudadas tem sido eficiente e resultaram em ganhos genéticos anuais favoráveis. Sugere-se atenção aos sistemas de acasalamento aplicados para controle da endogamia na população de bovinos da raça Brahman. Características reprodutivas de elevada importância econômica, de difícil mensuração e com baixa herdabilidade, como IPP e STAY, podem ser auxiliadas com a seleção em PE365, levando-se em consideração sua moderada herdabilidade e correlações genéticas favoráveis com estas características. A ênfase aplicada na seleção de características de peso corporal, em especial para P210, poderá auxiliar a AOL. Embora não estejam incluídas no índice de seleção da raça, EGS e EGP8 apresentam à variabilidade genética e têm respondido à seleção.

Palavras-chave: Avaliação genética. Bovinos de corte. Critérios de seleção. Inferência Bayesiana.

ABSTRACT

BESSA, A. F. O. **Genetic parameter estimates for traits of economic importance in Brahman cattle**. Dissertation (Master in Animal Science). Graduate Program in Animal Science, UFPB, Areia-PB. Advisor: Prof. Dr. Marcos Eli Buzanskas.

The Brazilian beef cattle breeders are constantly using genetic improvement tools to obtain better results in the field. In this sense, studies with a wide variety of traits aim to identify animals with rapid development, adequate fat finishing, and precocious reproductive performance. Thus, our objectives were to estimate genetic parameters for body weight, reproductive, and carcass quality traits; evaluate the genetic trends over the years; and the influence of inbreeding on the phenotypes of Brahman cattle. The traits studied were body weights at 120, 210, 365, and 450 days of age (P120, P210, P365, and P450); scrotal circumference at 365 and 450 days of age (PE365 and PE450), age at first calving (IPP), gestation length (PG), stayability (STAY), rib eye area (AOL), backfat thickness (EGS), and rumpfat thickness (EGP8). The least-squares method was used to determine the significance of the fixed effects on the studied traits, which were concatenated into contemporary groups. Genetic parameters were estimated using frequentist and Bayesian analyses, under an animal model. For the study of genetic trends and inbreeding depression, linear regression was used and the t-statistic was considered at the 5% significance level. Heritability estimates for P120, P210, P365, P450, PE365, PE450, IPP, PG, STAY, AOL, EGS, and EGP8 ranged from 0.10 ± 0.03 to 0.43 ± 0.06 , respectively. Estimates of maternal heritability for P120, P210, P365, P450, PE365, PE450, and PG ranged from 0.07 ± 0.02 to 0.15 ± 0.03 . The proportion of the maternal permanent environment for P120 and P210 was equal to 0.11 ± 0.02 . Genetic correlations ranged between -0.60 ± 0.25 (between STAY and EGS) and 0.97 ± 0.01 (between P365 and P450). Except for IPP, all genetic trends were significant ($p < 0.05$) and favorable. There was a significant effect ($p < 0.05$) of inbreeding for P120, P210, P365, P450, and IPP, which were adjusted to their respective fixed effects. Based on the evaluated genetic trends, it was possible to verify that the selection conducted for most of the studied traits has been efficient and resulted in favorable annual genetic gains. Greater attention to the mating systems is indicated to control inbreeding in the population of Brahman cattle. Reproductive traits of high economic importance, difficult to measure, and with low heritability, such as IPP and STAY, can be helped with the selection in PE365, taking into account its moderate heritability and favorable genetic correlations with these traits. The emphasis applied to the selection of body weight traits, especially for P210, may help AOL. Although not included in the breed selection index, EGS and EGP8 present genetic variability and could respond to selection.

Keywords: Bayesian inference. Beef cattle. Genetic evaluation. Selection criteria.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1	Características de peso corporal	11
2.2	Características reprodutivas	12
2.3	Características de carcaça	14
3	MATERIAL E MÉTODOS	15
4	RESULTADOS	18
5	DISCUSSÃO	23
6	CONCLUSÃO	28
7	REFERÊNCIAS	29
	APÊNDICES	34

1 INTRODUÇÃO

A bovinocultura de corte no Brasil representa uma das mais importantes atividades econômicas e tem como principal característica a produção a pasto. Esta atividade se modernizou devido aos avanços em pesquisas sobre as exigências nutricionais, o manejo reprodutivo, o bem-estar e, principalmente, o melhoramento genético, que em conjunto resultaram em avanços nos índices de produtividade e qualidade do produto final (SANTOS *et al.*, 2018). Este desenvolvimento foi motivado pelas crescentes exigências do mercado consumidor e pela disputa entre o comércio de carne bovina e de outras espécies.

Por ser resultante do cruzamento entre raças zebuínas (Gir, Nelore, Guzerá e Krishna Valley), o Brahman é bastante adaptado ao sistema de criação em clima tropical e apresenta elevada taxa de ganho de peso e precocidade sexual, tendo sido introduzida no Brasil em 1994 (FARIA *et al.*, 2010). Em 2001, o programa de melhoramento genético do Brahman, desenvolvido pela Associação Nacional de Criadores e Pesquisadores (ANCP), iniciou a avaliação genética da raça e atualmente aplica métodos de seleção visando o maior progresso genético anual para características de interesse econômico (LÔBO *et al.*, 2020).

Programas de melhoramento genético de bovinos de corte consideram em seus índices de seleção um conjunto de características associadas aos objetivos de seleção da raça, em que as características mais comuns são pesos corporais mensurados em idades pré e pós-desmame. Estas características apresentam estimativas de herdabilidade que variam entre $0,17 \pm 0,04$ a $0,50 \pm 0,06$ em zebuínos (VARGAS *et al.*, 2014; KAMPRASERT; DUIJVESTEIJN; VAN DER WERF, 2019; MANUEL *et al.*, 2019) e relacionam-se moderadamente às características de ganho de peso e peso da carcaça, com estimativas de correlações genéticas entre $0,36 \pm 0,10$ e $0,63 \pm 0,08$ (CAETANO *et al.*, 2013).

Outras características que são comumente incluídas nos índices de seleção são as reprodutivas para fêmeas e machos. As características reprodutivas de fêmeas, como a idade ao primeiro parto, período de gestação e habilidade de permanência no rebanho, são de grande importância para o sistema de produção, pois relacionam-se à precocidade sexual e fertilidade das fêmeas jovens, ao peso dos bezerros, facilidade de parto e à longevidade da matriz e, conseqüentemente, estão ligadas à lucratividade da atividade. A idade ao primeiro parto e habilidade de permanência no rebanho apresentam baixa variabilidade genética e elevada influência

do ambiente, principalmente devido aos diferentes tipos manejos aplicados nos rebanhos, resultando em estimativas de herdabilidade baixas (BUZANSKAS *et al.*, 2010; MARTÍNEZ *et al.*, 2016; PATERNO *et al.*, 2017; CAVANI *et al.*, 2015). Já o período de gestação apresenta herdabilidade de moderada magnitude (ROCHA *et al.*, 2005; MUJIBI; CREWS, 2009; CHUD *et al.*, 2014). Quanto às características reprodutivas dos machos, a mensuração do perímetro escrotal pós-desmame indica, além da precocidade sexual, a qualidade do sêmen de futuros reprodutores (GIPSON *et al.*, 1985) e apresenta estimativas de herdabilidade de moderadas a altas (FARIA *et al.*, 2012; BONAMY *et al.*, 2018), com respostas correlacionadas favoráveis com a idade ao primeiro parto (BONAMY *et al.*, 2018).

Características como de área de olho de lombo, espessura de gordura subcutânea e espessura de gordura na garupa têm sido o foco de programas de melhoramento genético que visam melhorias na qualidade da carcaça. Estas medidas são obtidas por meio de ultrassonografia e apresentam herdabilidades que variam de baixas a moderadas (YOKOO *et al.*, 2008; BUZANSKAS *et al.*, 2017; GORDO *et al.*, 2018; KLUSKA *et al.*, 2018). O acompanhamento do progresso genético ao longo dos anos de seleção para diversas características é realizado por meio da avaliação de tendências genéticas, as quais auxiliam no planejamento e ajustes das atividades dos programas de melhoramento animal (PASSAFARO *et al.*, 2016). A avaliação da depressão endogâmica em características produtivas e reprodutivas é outra importante ferramenta no monitoramento de perdas de desempenho fenotípico em progênies oriundas de acasalamentos endogâmicos (FALCONER; MACKAY, 1996).

Assim, os objetivos do trabalho foram estimar parâmetros genéticos de características produtivas, reprodutivas e de carcaça; estudar as tendências genéticas ao longo dos anos de seleção e a influência da endogamia sobre os fenótipos em bovinos da raça Brahman e desta forma, auxiliar o programa de avaliação genética da raça.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Características de peso corporal

O peso corporal é uma medida de fácil mensuração obtida desde o nascimento até a fase adulta do animal e utilizada com o objetivo de avaliar e monitorar o desenvolvimento e o ganho de peso em macho e fêmeas. Estas características são

amplamente consideradas em programas de melhoramento genético de bovinos de corte, devido à associação existente entre o peso corporal e da carcaça que, segundo Carvalho *et al.* (2017), pode variar de 0,53 a 0,85. Além disto, apresentam herdabilidades que variam de 0,17 a 0,50, indicando que podem responder à seleção direta de forma eficiente, assim como correlações genéticas favoráveis (entre 0,43 e 0,99) com pesos em diferentes idades (BOLIGON *et al.*, 2009; VARGAS *et al.*, 2014; KAMPRASERT; DUIJVESTEIJN; VAN DER WERF, 2019).

Características de peso corporal são determinadas não apenas pelo efeito genético aditivo direto, mas também por efeitos genéticos maternos e de ambiente permanente materno (MEYER, 1992). Estes efeitos podem apresentar maior influência em idades jovens, como ao nascimento e ao desmame e tendem a decrescer à medida que o indivíduo se desenvolve (BOLIGON *et al.*, 2006). No entanto, estes efeitos podem ser detectados em idades pós-desmame (VARGAS *et al.*, 2014; PIRES *et al.*, 2017), o que evidencia a necessidade de testar modelos de estimação de parâmetros genéticos adequados para então predizer de forma acurada os valores genéticos. Para a avaliação do peso corporal em bovinos de corte no Brasil, as medidas são padronizadas para os 120, 210, 365 e 450 dias de idade e levam em consideração o peso do animal ao nascimento, a idade ou data à mensuração e o ganho de peso entre idades (LÔBO; FILHO, 2002).

2.2 Características reprodutivas

O interesse na avaliação de características reprodutivas tem aumentado, pois estas interferem diretamente na lucratividade da atividade pecuária por estarem relacionadas à intensidade de seleção que poderá ser aplicada e no intervalo de gerações.

A principal característica reprodutiva avaliada em machos é o perímetro escrotal, medida de fácil obtenção e que se apresenta significativamente ($p < 0,05$) associada com características qualitativas e quantitativas do sêmen (GIPSON *et al.*, 1985), sendo avaliado aos 365 e 450 dias de idade em bovinos da raça Brahman. Estimativas de herdabilidade para perímetros escrotais variam entre 0,40 a 0,70 (FARIA *et al.*, 2012; BONAMY *et al.*, 2018) e apresentam respostas correlacionadas favoráveis com características reprodutivas de fêmeas, em especial, a idade ao primeiro parto, variando de -0,48 a -0,42 (TERAKADO *et al.*, 2015; BONAMY *et al.*,

2018). Além disto, esta característica possui correlações relacionadas à idade à puberdade em machos e fêmeas e às características de crescimento, como o peso corporal (FONSECA *et al.*, 2019).

A característica de idade ao primeiro parto está associada à precocidade sexual e fertilidade das fêmeas jovens e, conseqüentemente, relaciona-se à lucratividade da atividade pecuária. A antecipação da idade ao primeiro parto apresenta vantagens, pois proporciona o retorno financeiro para o produtor e capacita a fêmea a deixar maior número de descendentes durante sua vida (BRITO *et al.*, 2018). Embora o índice de seleção da raça Brahman leve em consideração a idade ao primeiro parto, esta apresenta baixa variabilidade genética e elevada influência do ambiente, resultando em estimativa de herdabilidade baixa, entre 0,10 a 0,19, e que podem resultar em progresso genético lento com resultados a longo prazo (CAVANI *et al.*, 2015; MARTÍNEZ *et al.*, 2016). Como já mencionado, a idade ao primeiro parto apresenta correlação genética favorável com medidas de perímetro escrotal e pode se beneficiar indiretamente com a seleção baseada nas características dos machos.

Bezerros oriundos de períodos de gestação curtos, apresentam menor peso ao nascimento e também ocorre menor incidência de partos distócicos, fato mais comum em bovinos de raças europeias (JAMROZIK; MILLER, 2014). De acordo com Paschal, Sanders e Kerr (1991), animais zebuínos apresentam menores chances de apresentarem dificuldades de parto. O período de gestação em bovinos de corte possui correlações genéticas que variam de baixas a moderadas com o peso ao nascimento e apresenta herdabilidade de moderada a alta magnitude (ROCHA *et al.*, 2005; MUJIBI; CREWS, 2009; CHUD *et al.*, 2014). Apesar de as estimativas de herdabilidade indicarem que o processo de seleção para o período de gestação poderia ser eficiente, modificações nesta característica seriam biologicamente limitadas, no entanto, a redução do período de gestação poderia auxiliar na recuperação pós-parto das vacas e, conseqüentemente, reduzir o período para a reconcepção (CHUD *et al.*, 2014).

Outra importante característica reprodutiva de fêmeas é a habilidade de permanência no rebanho ou “stayability”. Esta característica está associada à longevidade reprodutiva e tem como critério fêmeas que apresentaram três ou mais partos até a idade de 76 meses (FORMIGONI *et al.*, 2005), pertencendo à categoria denominada “sucesso”, enquanto que aquelas fêmeas que não atenderam aos critérios pertencerão à categoria “falha”. Portanto, a distribuição desta característica é

descontínua por apresentar fenótipo binário e necessita de metodologias bayesianas capazes de relacionar a escala categórica a uma escala subjacente normal contínua (SORENSEN *et al.*, 1995). Por ser uma característica medida tardiamente na vida do animal, em que diversos efeitos ambientais podem influenciar na capacidade reprodutiva, estimativas de herdabilidade de baixa magnitude são comuns, no entanto, a “stayability” apresenta correlações genéticas favoráveis com o perímetro escrotal e idade ao primeiro parto (BUZANSKAS *et al.*, 2010; SANTANA *et al.*, 2015; PATERNO *et al.*, 2017).

2.3 Características de carcaça

As características de carcaça têm recebido maior atenção devido às crescentes exigências do mercado consumidor por carne de qualidade, sendo sua avaliação incluída nos programas de melhoramento genético. Medidas de carcaça podem ser obtidas por meio do ultrassom que permitem acurada mensuração das características de área de olho de lombo (área do músculo *Longissimus dorsi*), espessura de gordura subcutânea (medida sobre o músculo *Longissimus dorsi*, entre a 12ª e a 13ª costelas) e espessura de gordura na garupa (medida entre a intersecção dos músculos *Gluteus medius* e *Biceps femoris*). A área de olho de lombo é uma região que envolve cortes nobres e está localizada na região traseira do animal, já as medidas de espessura de gordura irão indicar a precocidade de deposição de gordura do animal e estão associadas à capacidade de corte (HERRING *et al.*, 1994) e isolamento térmico durante o processo de resfriamento da carcaça (WILSON, 1992).

As estimativas de herdabilidade obtidas para características de carcaça indicam sua capacidade de responder eficientemente à seleção, em que a variação observada para a área de olho de lombo foi de 0,28 a 0,36 e para espessura de gordura foi de 0,16 a 0,52 (YOKOO *et al.*, 2008; BUZANSKAS *et al.*, 2017; GORDO *et al.*, 2018; KLUSKA *et al.*, 2018) em bovinos da raça Nelore. A área de olho de lombo apresentou correlações genéticas de moderadas a altas com pesos corporais, principalmente ao desmame e ao sobreano, no entanto, não foram observadas associações com características de gordura na carcaça (ZUIN *et al.*, 2012; BUZANSKAS *et al.*, 2017).

As medidas de espessura de gordura subcutânea e espessura de gordura na garupa apresentam correlações genéticas moderadas e favoráveis entre si, variando

de 0,48 a 0,64 (ZUIN *et al.*, 2012; BUZANSKAS *et al.*, 2017; KLUSKA *et al.*, 2018). Pires *et al.* (2017) observaram correlação genética negativa e moderada entre espessura de gordura na garupa e idade ao primeiro parto em bovinos da raça Canchim, indicando que características de deposição de gordura podem influenciar favoravelmente na reprodução de fêmeas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados fenotípicos analisados continham registros de animais nascidos no período de 1928 a 2018, participantes do Programa de Melhoramento Genético da Raça Brahman (PMGRB), sob gestão da Associação Nacional de Criadores e Pesquisadores (ANCP), Ribeirão Preto, São Paulo. As características estudadas foram: pesos corporais mensurados aos 120, 210, 365 e 450 dias de idade (P120, P210, P365 e P450, respectivamente); perímetros escrotais mensurados aos 365 e 450 dias de idade (PE365 e PE450, respectivamente); idade ao primeiro parto (IPP); período de gestação (PG); habilidade de permanência produtiva no rebanho aos 76 meses de idade (STAY); área de olho de lombo (AOL), espessura de gordura subcutânea (EGS) e espessura de gordura na garupa (EGP8). O programa considera em seu índice de seleção as seguintes ponderações: 6% para IPP, 15% para P210, 20% para P365, 23% para P450, 21% para STAY, 3% para PE365, 3% para PE450 e 9% para AOL.

A característica STAY é categórica, tendo a categoria “2” associada às fêmeas que atingiram o limiar de três partos até os 76 meses de idade e a categoria “1” associada às que falharam. As medidas das características de carcaça foram colhidas por meio do aparelho ALOKA 500V, com sonda linear de 17,2 cm, de 3,5MHz e um acoplador acústico em conjunto com um sistema de captura de imagens (Blackbox, Biotronics, Inc., Ames, IA, EUA) quando a idade média dos animais encontrava-se próxima aos 550 dias.

O controle de dados fenotípicos foi realizado por meio do programa computacional SAS (SAS 9.4, SAS Institute, Cary, NC, USA, 2014), em que foi utilizado o modelo linear geral para definição da significância ($p < 0,05$) de efeitos fixos e formação de grupos de contemporâneos. Para P120, P210, P365, P450, PG, AOL, EGS e EGP8 foram considerados os efeitos de sexo e fazenda-mês-ano ao nascimento. Já para PE365, PE450 e IPP, foram considerados apenas os efeitos de

fazenda-mês-ano de. Para STAY, foi utilizado o teste de qui-quadrado, por meio de análise de contingência, onde foram considerados os efeitos fixos de ano e fazenda de nascimento. A covariável idade da vaca ao parto teve efeito linear e quadrático significativo ($p < 0,05$) para P120, P210, P365, P450, com exceção de PG, que apresentou apenas efeito linear. A covariável idade à mensuração por ultrassonografia apresentou efeito linear significativo ($p < 0,05$) para AOL, EGS e EGP8.

Grupos de contemporâneos que apresentaram menos de cinco indivíduos, reprodutores com menos de cinco progênies e grupos contemporâneos compostos por progênies oriundas de apenas um reprodutor, foram removidos. Para STAY, grupos de contemporâneos que não apresentavam variabilidade para os fenótipos categóricos foram excluídos. Os resíduos padronizados para cada característica foram estudados e aqueles que se apresentaram acima de 3,00 ou abaixo de -3,00 foram excluídos, com exceção de STAY.

Para a estimação de parâmetros genéticos por inferência frequencista, foi utilizado o programa WOMBAT (MEYER, 2007), sob modelo animal, em análises uni e bi-características, em que foi utilizado o algoritmo “average information restricted maximum likelihood” (AIREML). Nas análises uni-características, foram testadas as influências dos efeitos genético materno e de ambiente permanente materno, cujo modelo estatístico geral, denominado de modelo completo, é descrito como:

$$y = X\beta + Za + Mm + Wpe + e$$

em que y é o vetor dos dados fenotípicos estudados, β é o vetor dos efeitos fixos, a é o vetor do efeito aleatório genético aditivo direto, m é o vetor do efeito aleatório genético aditivo materno, pe é o vetor do efeito aleatório de ambiente permanente materno, e e é o vetor do efeito aleatório ambiental. X, Z, M e W são as matrizes de incidência associadas aos seus respectivos efeitos em y .

Os demais modelos utilizados consideraram os efeitos aleatórios genético aditivo direto e ambiental; efeitos aleatórios genético aditivo direto, genético aditivo materno e ambiental; e efeitos aleatórios genético aditivo direto, de ambiente permanente materno e ambiental. As pressuposições do modelo completo foram assumidas como:

$$E[y] = X\beta, E \begin{bmatrix} a \\ m \\ pe \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, Var \begin{bmatrix} a \\ m \\ pe \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A\sigma_a^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & A\sigma_m^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I\sigma_{pe}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I\sigma_e^2 \end{bmatrix}$$

em que σ_a^2 é a variância genética aditiva direta, σ_m^2 é a variância genética direta materna, σ_{pe}^2 é a variância de ambiente permanente materno, σ_e^2 é a variância residual, A é a matriz de parentesco e I é a matriz identidade.

Para a definição dos modelos mais adequados, foi utilizado o teste de razão de verossimilhança, em que foram comparados os valores de 2 vezes o log de verossimilhança ($2 * \text{Log L}$) do modelo com maior número de parâmetros com os demais modelos, considerando-se a distribuição de qui-quadrado (χ^2) e nível de significância de 1% com 1 grau de liberdade (GL) e que resultam em $\chi_{1\%(GL=1)}^2 = 6,63$ (DOBSON, 1990). Após a definição dos modelos, análises bi-características foram conduzidas para estimação das correlações genéticas, ambientais e fenotípicas entre as características estudadas. A matriz de parentesco continha 52.730 animais e o critério de convergência considerado foi de 10^{-6} .

Para a análise de STAY, foi utilizada inferência bayesiana, por meio do programa THRGIBBS1F90 (MISZTAL, 2008), em análises uni-característica e bi-característica. Foram considerados os efeitos aleatórios genético aditivo direto e ambiental para STAY, enquanto que nas bi-características foram utilizados os modelos definidos após o teste de razão de verossimilhança para as demais características. Considerou-se nestas análises 350 mil iterações, com período de aquecimento das cadeias de 50 mil iterações e período de amostragem de 75 amostras por iteração, resultando em quatro mil amostras para análise de convergência. A convergência para STAY e para as correlações genéticas foi avaliada por diagnósticos de Geweke e de Heidelberg e Welch, presentes no pacote BOA (SMITH, 2007) e analisada no programa R (R CORE TEAM, 2021). Definiu-se que os parâmetros apresentaram convergência quando pelo menos um dos diagnósticos foi atendido.

Tendências genéticas foram estudadas por meio das médias dos valores genéticos anuais obtidos em análises uni-característica de indivíduos nascidos a partir do ano de 2001 (ano em que foram realizadas as primeiras avaliações genéticas da raça Brahman pela ANCP) e que apresentaram acurácia acima de 0,40. Para STAY, as estimativas presentes nas soluções (“liability”) foram transformadas utilizando a função densidade de probabilidade, presente a opção *pnorm* do programa R (R CORE TEAM, 2021). Foi utilizada a regressão linear das médias dos valores genéticos pelo

ano de nascimento e considerou-se a estatística t para testar a hipótese de nulidade de que o coeficiente de regressão foi igual a zero com nível de significância de 5%.

Coeficientes de endogamia foram obtidos por meio do programa CFC (SARGOLZAEI; IWAISAKI; COLLEAU, 2006) e aplicou-se a regressão linear das médias dos coeficientes pelo ano de nascimento, considerando-se a estatística t ao nível de significância de 5%. Para o estudo de depressão endogâmica, a mesma metodologia foi aplicada e utilizou-se os coeficientes de endogamia em relação às médias fenotípicas ajustadas para os efeitos fixos (grupos de contemporâneos), ao nível de significância de 5%.

4 RESULTADOS

As estatísticas descritivas para as características P120, P210, P365, P450, PE365, PE450, IPP, PG, STAY, AOL, EGS e EGP8 (Tabela 1) indicaram decréscimo no número de animais para características de peso corporal, o qual se deve à pré-seleção de animais que normalmente ocorre nas propriedades. Para as características de carcaça mensuradas por ultrassonografia, a idade média dos animais foi de $546,70 \pm 60,50$ dias. As porcentagens de falha (1) e sucesso (2) para STAY foram de 70,55% e 29,45%, respectivamente. A moda e a mediana para STAY foram iguais a um.

Após o teste de razão de verossimilhança, verificou-se que todos os efeitos aleatórios testados para P120 e P210 foram significativos, indicando que o modelo completo foi adequado para a estimação de parâmetros genéticos (Apêndice A). Para P365 e P450 (Apêndice A) e PE365, PE450 e PG (Apêndice B) foi considerado o modelo com efeitos genéticos aditivo direto e materno. Nestas características, houve confundimento entre os modelos que consideravam o efeito de ambiente permanente materno, o qual foi associado à quantidade de informações de progênies presentes no banco de dados (Tabela 1). Assim, optou-se em adotar o modelo com maior significância. Já para IPP (Apêndice B) e AOL, EGS e EGP8 (Apêndice C), considerou-se o modelo com efeito genético aditivo direto.

Tabela 1. Características, número de informações, reprodutores, matrizes, média fenotípica, desvio-padrão (DP) e grupo de contemporâneos (GC).

Características	Informações	Reprodutores	Matrizes			Média	DP	GC
			Total	P1	P2			
P120 (dias)	20.131	339	9.372	4.445	2.106	132,68	19,55	1.039
P210 (dias)	18.257	302	8.671	4.178	1.995	193,83	28,60	934
P365 (dias)	15.501	281	7.896	4.027	1.912	244,24	39,83	814
P450 (dias)	14.475	270	7.574	3.973	1.793	281,34	47,34	774
PE365 (cm)	4.151	157	3.198	2.457*	578**	21,10	2,24	229
PE450 (cm)	5.640	178	4.015	2.833*	846**	23,78	2,90	290
IPP (meses)	4.125	147	3.045	2.319	517	36,56	3,66	302
PG (dias)	9.838	72	5.180	2.734	1.209	293,30	5,80	446
STAY	6.951	223	4.249	2.921	775	1,29	0,45	210
AOL (cm ²)	2.078	94	1.661	1.351	232	53,49	10,59	97
EGS (mm)	1.927	92	1.584	1.314	217	2,39	0,87	96
EGP8 (mm)	1.896	78	1.500	1.204	224	3,21	1,10	84

P120, P210, P365 e P450 = Pesos corporais ajustados aos 120, 210, 365 e 450 dias de idade; PE365 e PE450 = perímetros escrotais ajustados aos 365 e 450 dias de idade; IPP = idade ao primeiro parto; PG = período de gestação; STAY = stayability; AOL = área de olho de lombo, EGS = espessura de gordura subcutânea; EGP8 = Espessura de gordura na garupa; P1 = Matriz e progênie com fenótipos mensurados; P2 = Matriz com pelo menos duas progênies que possuem fenótipos mensurados, * = Avô materno com uma progênie que possui fenótipo mensurado; ** = Avô materno com pelo menos duas progênies que possuem fenótipos mensurados.

Na Tabela 2 são apresentadas as médias para herdabilidades direta e materna e a proporção de ambiente permanente materno, além das correlações genéticas entre as características. Estimativas de herdabilidade direta variaram de $0,10 \pm 0,03$ (IPP) a $0,43 \pm 0,06$ (PG), já a herdabilidade materna apresentou valores mínimos e máximos iguais a $0,07 \pm 0,03$ (PG) e $0,15 \pm 0,03$ (P365). A proporção atribuída ao efeito de ambiente permanente materno foi igual a $0,11 \pm 0,02$ para P120 e P210. Correlações genéticas variaram entre $-0,60 \pm 0,25$ (entre STAY e EGS) e $0,97 \pm 0,01$ (entre P365 e P450). As correlações ambientais e fenotípicas entre as características estudadas variaram de baixas a altas magnitudes e foram similares em magnitude e sentido em relação às correlações genéticas (Apêndice D).

Tabela 2. Estimativas de herdabilidade direta^A, materna^B, proporção do efeito de ambiente permanente materno^C (diagonal, em negrito) e estimativas de correlações genéticas (acima da diagonal) obtidas em análises bi-características sob inferências frequentistas e bayesianas*.

Característica	P120	P210	P365	P450	PE365	PE450	IPP	PG	STAY*	AOL	EGS	EGP8
P120	0,19±0,03^A 0,13±0,03^B 0,11±0,02^C	0,95±0,01	0,83±0,04	0,80±0,04	0,39±0,12	0,46±0,11	-0,43±0,15	0,24±0,12	0,36±0,16 ^{G, HW}	0,49±0,14	0,24±0,18	0,20±0,15
P210	-	0,23±0,03^A 0,13±0,03^B 0,11±0,02^C	0,90±0,02	0,85±0,03	0,39±0,11	0,46±0,11	-0,47±0,13	0,17±0,11	0,59±0,14 ^{G, HW}	0,62±0,11	0,25±0,18	0,25±0,15
P365	-	-	0,23±0,03^A 0,15±0,03^B	0,97±0,01	0,48±0,11	0,55±0,10	-0,44±0,14	0,16±0,12	0,38±0,15 ^{G, HW}	0,74±0,09	0,32±0,17	0,29±0,14
P450	-	-	-	0,29±0,03^A 0,11±0,03^B	0,46±0,11	0,54±0,09	-0,41±0,14	0,18±0,11	0,38±0,15 ^{G, HW}	0,75±0,08	0,42±0,15	0,35±0,13
PE365	-	-	-	-	0,26±0,05^A 0,11±0,02^B	0,96±0,03	-0,56±0,18	0,31±0,15	0,52±0,23 ^G	0,29±0,18	0,16±0,21	0,26±0,18
PE450	-	-	-	-	-	0,22±0,04^A 0,07±0,02^B	-0,35±0,19	0,05±0,15	0,55±0,23 ^G	0,34±0,16	0,20±0,19	0,12±0,18
IPP	-	-	-	-	-	-	0,10±0,03^A	0,27±0,15	0,14±0,61 ^{HW}	0,07±0,29	-0,09±0,33	0,12±0,27
PG	-	-	-	-	-	-	-	0,43±0,06^A 0,07±0,03^B	-0,18±0,18 ^{G, HW}	0,10±0,16	0,31±0,18	0,14±0,15
STAY*	-	-	-	-	-	-	-	-	0,14±0,04^{A, G, HW}	0,42±0,33 ^{HW}	-0,60±0,25 ^{HW}	0,00±0,27 ^{G, HW}
AOL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,24±0,06^A	0,07±0,23	0,20±0,20
EGS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,17±0,06^A	0,77±0,14
EGP8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,27±0,07^A

*Erros-padrão e desvios-padrão indicados por $\pm$; ^G e ^{HW} = diagnósticos de convergência de Geweke e Heidelberg e Welch para STAY e STAY com as demais características; P120, P210, P365 e P450 = Pesos corporais ajustados aos 120, 210, 365 e 450 dias de idade; PE365 e PE450 = perímetros escrotais ajustados aos 365 e 450 dias de idade; IPP = idade ao primeiro parto; PG = período de gestação; STAY = stayability; AOL = área de olho de lombo; EGS = espessura de gordura subcutânea; EGP8 = Espessura de gordura na garupa.

As tendências genéticas das médias dos valores genéticos por ano de nascimento para P120, P210, P365, P450, PE365, PE450, PG, STAY, AOL, EGS e EGP8 foram significativas ($p < 0,05$) e indicaram mudanças anuais iguais a 0,31 kg, 0,47 kg, 0,59 kg, 0,70 kg, 0,03 cm, 0,05 cm, -0,05 dias, 0,004, 0,16 cm², 0,007 mm e 0,01 mm, respectivamente (Figura 1). Já para IPP, a tendência genética foi não significativa ($p > 0,05$). Tendências genéticas significativas ($p < 0,05$) para as médias de valores genéticos maternos por ano de nascimento apresentaram decréscimo anuais iguais a -0,13 kg, -0,15 kg, -0,11 kg, -0,01 cm, -0,01 cm e -0,02 dias para P120, P210, P450, PE365, PE450 e PG, respectivamente (Figura 2).

Verificou-se efeito significativo da endogamia ao longo dos anos de seleção, em que foram considerados todos os indivíduos (Endogamia Geral), apenas em machos e apenas em fêmeas (Figura 3). As endogamias médias observadas para o período de 2001 a 2018 em todos os indivíduos, apenas em machos e apenas em fêmeas foram iguais a 2,63%, 2,69% e 2,59%, respectivamente. Efeitos significativos ($p < 0,05$) na análise de depressão endogâmica foram observadas para P120, P210, P365, P450 e IPP (Figura 4). Observou-se decréscimo de 2,92 kg para P120, 4,08 kg para P210, 3,83 kg para P365 e 9,36 kg para P450. Nesta análise, a depressão endogâmica em IPP representou aumento de 0,70 meses.

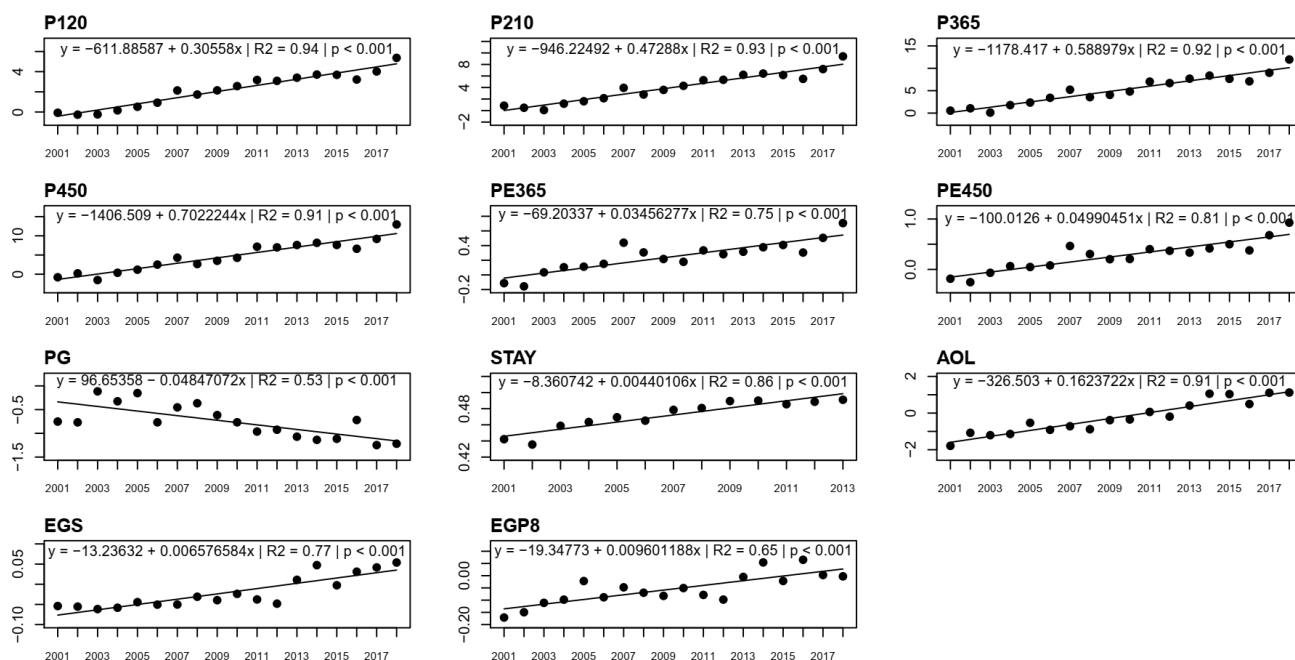


Figura 1. Tendências genéticas diretas para valores genéticos médios de peso corporal aos 120, 210, 365 e 450 dias de idade, perímetro escrotal aos 365 e 450 dias de idade (PE365 e PE450), período de gestação (PG), habilidade de permanência no rebanho (STAY), área de olho de lombo (AOL), espessura de gordura subcutânea e na garupa (EGS e EGP8), no eixo y, em relação ao ano de nascimento, no eixo x.

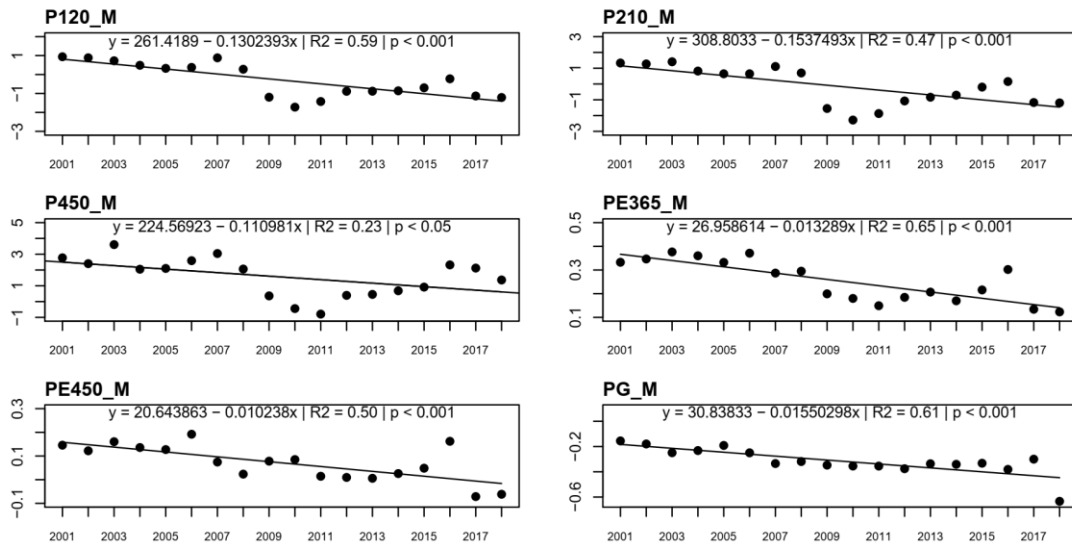


Figura 2. Tendências genéticas para valores genéticos maternos médios de peso corporal aos 120, 210 e 450 dias de idade (P120_M, P210_M e P450_M), perímetro escrotal mensurado aos 365 e 450 dias de idade (PE365_M e PE450_M) e período de gestação (PG_M), no eixo y, em relação ao ano de nascimento, no eixo x.

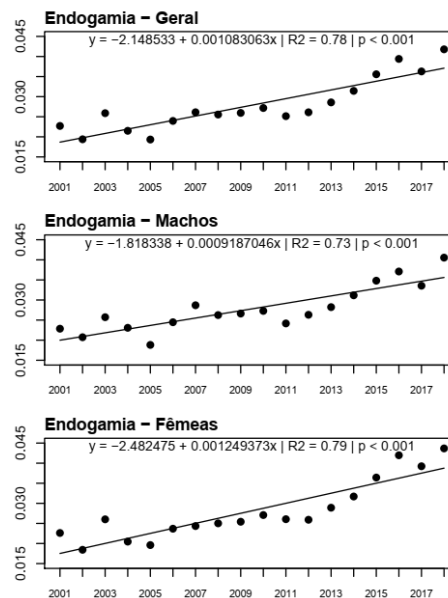


Figura 3. Coeficiente de endogamia (eixo y) ao longo dos anos de seleção (eixo x), considerando todos os indivíduos (Geral), apenas machos e apenas fêmeas.

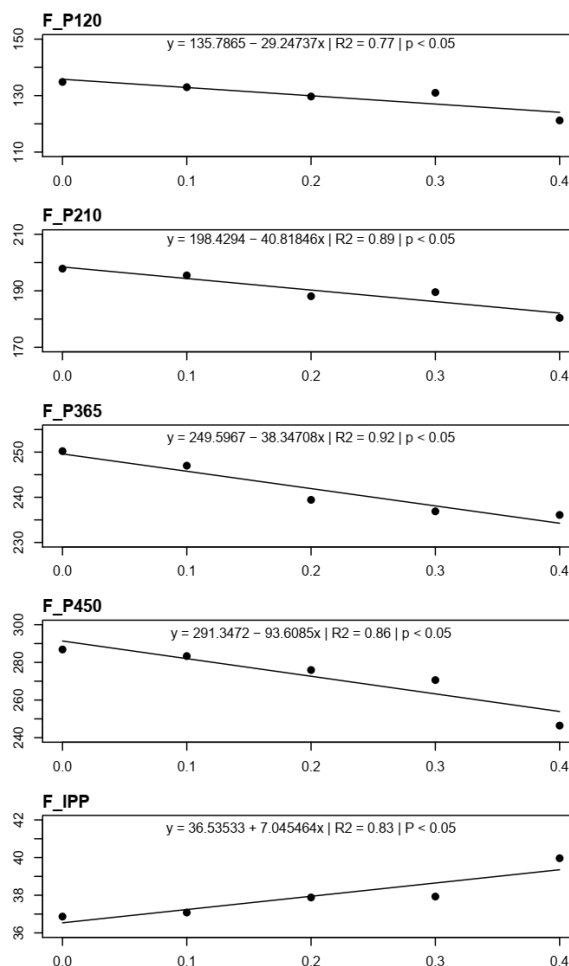


Figura 4. Depressão endogâmica para peso corporal aos 120, 210, 365 e 450 dias de idade (F_P120, F_P210, F_P365 e F_P450) e idade ao primeiro parto (F_IPP). No eixo y, são apresentados os fenótipos ajustados para efeitos fixos (grupos de contemporâneos) e no eixo x, os coeficientes de endogamia.

5 DISCUSSÃO

As estimativas de herdabilidade direta para pesos corporais foram consideradas como moderadas e variaram de $0,19 \pm 0,03$ a $0,29 \pm 0,03$. Estimativas de correlações genéticas entre estas características foram altas e positivas ($0,80 \pm 0,04$ a $0,97 \pm 0,01$), indicando que a seleção para qualquer uma delas poderá alterar favoravelmente as demais. Diante disto, a seleção de bovinos da raça Brahman para pesos corporais deverá dar prioridade às características mensuradas em idades jovens para que o processo de seleção seja mais eficiente e, portanto, a seleção baseada em P210 poderia ser indicada, pois se trata da idade em que os animais são desmamados e pré-avaliados pelos produtores. Em estudo com bovinos da raça Brahman, Vargas *et al.* (2014) observaram que a seleção para P210 pode ser utilizada

como critério de seleção e que promoveria ganhos indiretos nos pesos corporais pós-desmama e, conseqüentemente, aumento na produção de carne.

As estimativas de herdabilidade materna para P210 e P365 ($0,13 \pm 0,03$ e $0,15 \pm 0,03$, respectivamente) indicaram que este componente genético pode auxiliar na seleção de fêmeas com o objetivo de obtenção de progênie mais pesadas. Vargas *et al.* (2014) observaram resultados semelhantes aos deste estudo e indicaram que características de peso corporal pré-desmame devem considerar efeitos maternos nos modelos de estimação de parâmetros genéticos.

As correlações genéticas entre os pesos corporais com PE365 e PE450 foram moderadas e favoráveis ($0,39 \pm 0,11$ a $0,55 \pm 0,10$), logo, a seleção baseada em peso corporal poderá alterar as características reprodutivas dos machos. Em estudos com a raça Nelore, foram estimadas correlações genéticas favoráveis entre o perímetro escrotal e características de peso corporal, as quais variaram de 0,12 a 0,71 (CYRILLO *et al.*, 2001; PEREIRA *et al.*, 2010). No presente estudo, foram observadas correlações genéticas moderadas, negativas e favoráveis entre IPP e pesos corporais ($-0,47 \pm 0,13$ a $-0,41 \pm 0,14$), indicando que existe influência dos genes de ação aditiva que atuam nestas características. Mercadante, Lôbo e Oliveira (2000), estimaram a correlação genética entre pesos corporais e IPP e observaram valores de baixa magnitude e favoráveis em bovinos Nelore.

Foram observadas correlações genéticas favoráveis entre os pesos corporais e STAY ($0,38 \pm 0,15$ a $0,59 \pm 0,14$), indicando que animais com desenvolvimento corporal precoce poderão apresentar maior longevidade reprodutiva. Em animais da raça Nelore, Paterno *et al.* (2017) observaram que o peso corporal está associado à STAY, onde foram observadas correlações genéticas de baixa magnitude, porém favoráveis. As correlações genéticas entre PG e pesos corporais foram de baixa magnitude e com elevado erro-padrão ($0,16 \pm 0,12$ a $0,24 \pm 0,12$) e indicaram que estas características são independentes entre si.

Características de carcaça apresentaram correlações genéticas favoráveis com os pesos corporais ($0,20 \pm 0,15$ a $0,75 \pm 0,08$). À medida que a idade dos animais avaliados avança dos 120 aos 450 dias, pode-se observar aumento das magnitudes das correlações genéticas com AOL, EGS e EGP8. Em estudo com animais da raça Guzerá, Lima Neto *et al.* (2009) observaram correlações genéticas favoráveis do peso corporal ajustados aos 528 dias de idade com AOL e EGS, iguais a 0,79 e 0,20, respectivamente. De acordo com as estimativas de herdabilidade e correlações

genéticas, a seleção para peso corporal, em especial, para P210, poderá auxiliar indiretamente na obtenção de indivíduos mais precoces sexualmente, com maior longevidade reprodutiva e com melhor qualidade de carcaça.

As estimativas de herdabilidade direta para características reprodutivas variaram de baixas a altas ($0,10 \pm 0,03$ a $0,43 \pm 0,06$). As herdabilidades para PE365 e PE450 foram consideradas moderadas ($0,26 \pm 0,05$ e $0,22 \pm 0,04$, respectivamente) e apresentaram correlação genética alta e positiva ($0,96 \pm 0,03$) entre si. Isto indica que a seleção baseada em perímetros escrotais poderia ser realizada em idades jovens. Os perímetros escrotais apresentaram correlações genéticas negativas, porém favoráveis com IPP ($-0,56 \pm 0,18$ e $-0,35 \pm 0,19$) e indicaram que touros com maior perímetro escrotal podem contribuir para progênies sexualmente precoces. Estudos na raça Nelore indicaram que os perímetros escrotais apresentam associações genéticas moderadas, negativas e favoráveis com a IPP (BARROZO *et al.*, 2012; BUZANSKAS *et al.*, 2017). Para IPP foi observada estimativa de herdabilidade igual a $0,10 \pm 0,03$, considerada de baixa magnitude e que corrobora com as estimativas obtidas por Paterno *et al.* (2017) e Schmidt *et al.* (2018) em animais Nelore. Por se tratar de uma das características reprodutivas mais importantes economicamente, mas que apresenta elevada influência de efeitos ambientais, a IPP pode ser auxiliada com a seleção para perímetro escrotal.

Foi observada correlação genética desfavorável de PE365 com PG ($0,31 \pm 0,15$). Resultados favoráveis e negativos, iguais $-0,21$ e $-0,19$, foram relatados em animais da raça Nelore por Moreira *et al.* (2015), que indicaram que a seleção para perímetro escrotal poderia reduzir PG e auxiliar no controle do peso ao nascimento dos bezerros. Embora PG tenha apresentado estimativa de herdabilidade de alta magnitude ($0,43 \pm 0,06$), a seleção desta característica acarretaria em baixos ganhos indiretos nas demais. Estudos com a raça Nelore indicaram que as estimativas de herdabilidade de PG variam entre $0,05$ a $0,40$ (CHUD *et al.*, 2014; SILVEIRA *et al.*, 2015; LACERDA *et al.*, 2018; SCHMIDT *et al.*, 2019). Na raça Brahman, Faria *et al.* (2012) observaram estimativa de herdabilidade para PG igual a $0,29 \pm 0,08$ e correlações genéticas com perímetros escrotais que variaram de $0,13$ a $0,20$.

Por representar a longevidade reprodutiva de fêmeas até os 76 meses de idade, os fatores ambientais que influenciam a STAY podem afetar sua estimativa de herdabilidade, a qual foi igual a $0,14 \pm 0,04$ neste estudo. Foram observadas correlações genéticas favoráveis entre os perímetros escrotais com STAY ($0,52 \pm 0,23$

e $0,55 \pm 0,23$, respectivamente), o que sugere que a seleção para estas características resultaria em progênie mais longevas. Em estudo realizado por Kluska *et al.* (2018) com bovinos da raça Nelore, foi observado que a STAY, avaliada aos 64 e 76 meses de idade, apresentou estimativa de herdabilidade igual a 0,23 e 0,20, respectivamente. Cavani *et al.* (2015) observaram estimativa de herdabilidade para STAY, mensurado aos seis anos de idade em bovinos Brahman, igual a 0,10. Correlações genéticas favoráveis entre STAY e perímetros escrotais foram observadas por Costa *et al.* (2019), em bovinos Nelore, e por Buzanskas *et al.* (2010), em bovinos Canchim.

Correlações genéticas favoráveis entre os perímetros escrotais e características de carcaça foram observadas, porém, apresentaram elevados erros-padrão ($0,12 \pm 0,18$ a $0,34 \pm 0,16$), indicando que a seleção baseada em características reprodutivas de machos poderia influenciar, em menor grau, a qualidade de carcaça. Estimativas de correlações genéticas semelhantes às deste estudo foram obtidas por Buzanskas *et al.* (2017) em animais da raça Nelore. Correlação genética de baixa magnitude, positiva e favorável foi observada entre as características IPP e PG ($0,27 \pm 0,15$). Isto indicou que animais sexualmente precoces podem apresentar menores períodos de gestação, no entanto, a correlação genética observada apresentou elevado erro-padrão.

Dentre as correlações genéticas de características reprodutivas de fêmeas com as características de carcaça, pode-se destacar a associação de STAY com AOL como favorável ($0,42 \pm 0,33$), enquanto que as demais apresentaram estimativas desfavoráveis. No entanto, estas estimativas apresentaram elevado desvio-padrão. A correlação genética observada entre STAY e EGS ($-0,60 \pm 0,25$) foi desfavorável e representou o antagonismo entre as características. Na raça Nelore, Boligon, Carneiro e Albuquerque (2013) estimaram correlações favoráveis entre características de carcaça e reprodutivas.

As características AOL, EGS e EGP8 apresentaram estimativas de herdabilidade iguais a $0,24 \pm 0,06$, $0,17 \pm 0,06$, $0,27 \pm 0,07$, respectivamente. Pode-se destacar a correlação genética entre EGP8 e EGS como alta e favorável ($0,77 \pm 0,14$), o que indica que estas características são altamente influenciadas pelos mesmos genes de ação aditiva. A característica EGP8 poderá ser utilizada como critério de seleção para deposição de gordura na carcaça em bovinos da raça Brahman, pois esta apresentou maior herdabilidade em relação à EGS. Estimativas de herdabilidade para AOL, EGS e EGP8 observadas em animais da raça Nelore foram semelhantes

às obtidas no presente estudo (ZUIN *et al.*, 2012; BUZANSKAS *et al.*, 2017). Zuin *et al.* (2012) observaram estimativa de correlação genética entre AOL e EGS, AOL e EGP8 e EGS e EGP8 iguais a $0,15 \pm 0,08$, $0,09 \pm 0,08$ e $0,65 \pm 0,05$, respectivamente.

Por meio da análise de tendências genéticas (Figura 1) foi possível observar que houve aumento significativo ($p < 0,05$) nos valores genéticos diretos anuais para pesos corporais. Estes resultados estão de acordo com a ênfase dada pelo programa de avaliação genética, o qual considera em seu índice de seleção a ponderação de 58% para estas características. Embora não tenha sido observada significância para a tendência genética de IPP, esta é considerada no índice de seleção da raça recebendo a ponderação de 6%. As tendências genéticas para perímetro escrotal apresentaram aumento para o período avaliado, sendo que no índice de seleção as características reprodutivas de machos recebem a ponderação de 6%.

Dentre as características reprodutivas, a STAY apresenta maior ponderação no índice de seleção (21%), tendo sido adicionado ao índice de seleção em 2018. Esta característica apresentou estimativa de herdabilidade baixa e espera-se que baixos ganhos genéticos sejam observados. No entanto, a ênfase dada para STAY está de acordo com seu valor agregado, o qual considera o número de partos em determinado período de tempo e está diretamente à rentabilidade do sistema produtivo (GOLDEN; BOURDON, 1999). Para AOL, EGS e EGP8, as tendências genéticas indicam que inicialmente, a média dos valores genéticos anuais eram de sinal negativo. A partir dos anos de 2011 e 2013, a média dos valores genéticos para AOL e para EGS e EGP8, respectivamente, apresentaram sinal positivo. A característica AOL foi incorporada em 2018 no índice de seleção, recebendo a ponderação de 9%. Tendência genética favorável foi observada para PG, demonstrando que com o passar dos anos houve diminuição nesta característica. No entanto, PG deixou de fazer parte do índice de seleção da raça Brahman em 2018.

Em bovinos Nelore, tendências genéticas favoráveis para os valores genéticos aditivos diretos foram observados para P120 (SOUZA *et al.*, 2011); P210 e P365 (ZUIN *et al.*, 2012), P450 (LIRA *et al.*, 2013); PE365 e PE450 (MOREIRA *et al.*, 2015); IPP (LAUREANO *et al.*, 2011; SCHMIDT *et al.*, 2018); PG (CHUD *et al.*, 2014; SCHMIDT *et al.*, 2019), STAY (SILVA *et al.*, 2003; SCHMIDT *et al.*, 2018); AOL (ZUIN *et al.*, 2012); e EGS e EGP8 (BONIN *et al.*, 2015). Na Figura 2 as tendências genéticas maternas observadas foram desfavoráveis, observando-se redução das médias dos valores genéticos maternos ao longo dos anos e que também se mantiveram próximos

a zero. Resultados similares para a tendência genética materna nos pesos corporais foram encontrados por Souza *et al.* (2011), que indicaram a utilização dos valores genéticos diretos para a seleção, ao invés dos valores genéticos maternos. Não foram observados resultados de estudos com tendências genéticas maternas para PE365, PE450 e PG na literatura consultada.

Para o período de 2001 a 2018, o incremento anual da endogamia para fêmeas (0,10%) e machos (0,09%) foi considerado baixo (Figura 3). Em estudo com animais da raça Brahman criado nos Brasil entre os anos de 1998 a 2005, Faria *et al.* (2010) observaram que houve diminuição da endogamia nos períodos estudados, aumento do coeficiente de parentesco e contribuição genética de poucos ancestrais na população. Na Figura 4, foi possível observar a influência desfavorável do aumento da endogamia nas características de peso corporal e IPP. Em estudo com cinco raças zebuínas e 13 características, Pereira *et al.* (2016) observaram desempenhos fenotípicos comprometidos à medida em que o coeficiente de endogamia aumentava e destacaram que a depressão endogâmica foi mais evidente em características de crescimento do que nas reprodutivas.

6 CONCLUSÃO

Com base nas tendências genéticas avaliadas, foi possível verificar que a seleção conduzida para a maioria das características estudadas tem sido eficiente e resultaram em ganhos genéticos anuais favoráveis. Sugere-se atenção aos sistemas de acasalamento aplicados para controle da endogamia na população de bovinos da raça Brahman. Características reprodutivas de elevada importância econômica, de difícil mensuração e com baixa herdabilidade, como IPP e STAY, podem ser auxiliadas com a seleção em PE365, levando-se em consideração sua moderada herdabilidade e correlações genéticas favoráveis com estas características. A ênfase aplicada na seleção de características de peso corporal, em especial para P210, poderá auxiliar a AOL. Embora não estejam incluídas no índice de seleção da raça, EGS e EGP8 apresentam à variabilidade genética e têm respondido à seleção.

7 REFERÊNCIAS

- BARROZO, D. *et al.* Genetic parameters and environmental effects on temperament score and reproductive traits of Nellore cattle. **Animal**, Cambridge, v. 6, n. 1, p. 36–40, 2012.
- BOLIGON, A. A. *et al.* Herdabilidades para ganho de peso da desmama ao sobreano e perímetro escrotal ao sobreano e tendências genética e fenotípica para ganho de peso da desmama ao sobreano em bovinos Nelore-Angus. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1323–1328, 2006.
- BOLIGON, A. A. *et al.* Herdabilidades e correlações entre pesos do nascimento à idade adulta em rebanhos da raça Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, n. 12, p. 2320–2326, 2009.
- BOLIGON, A. A.; CARVALHEIRO, R.; ALBUQUERQUE, L. G. Evaluation of mature cow weight: Genetic correlations with traits used in selection indices, correlated responses, and genetic trends in Nelore cattle. **Journal of Animal Science**, Cary, v. 91, n. 1, p. 20–28, 2013.
- BONAMY, M. *et al.* Early rather than late scrotal circumference measurements better reflect female precocity in beef cattle. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 218, p. 79–84, 2018.
- BONIN, M. N. *et al.* Visual body-scores selection and its influence on body size and ultrasound carcass traits in Nellore cattle. **Journal of Animal Science**, Cary, v. 93, p. 5597–5606, 2015.
- BRITO, L. *et al.* Genetic evaluation of age at first calving for Guzará beef cattle using linear, threshold, and survival Bayesian models. **Journal of Animal Science**, Cary, v. 96, n. 7, p. 2517–2524, 2018.
- BUZANSKAS, M. E. *et al.* Genetic associations between stayability and reproductive and growth traits in Canchim beef cattle. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 132, p. 107–112, 2010.
- BUZANSKAS, M. E. *et al.* Parameter estimates for reproductive and carcass traits in Nelore beef cattle. **Theriogenology**, New York, v. 92, p. 204–209, 2017.
- CAETANO, S. L. *et al.* Estimates of genetic parameters for carcass, growth and reproductive traits in Nellore cattle. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 155, n. 1, p. 1–7, 2013.
- CARVALHO, G. M. C. *et al.* Live weight, carcass, and meat evaluation of Nellore, Curraleiro Pé-Duro, and their crossbred products in Piauí State. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 46, n. 5, p. 393–399, 2017.
- CAVANI, L. *et al.* Estimates of genetic parameters for reproductive traits in Brahman cattle breed. **Journal of Animal Science**, Cary, v. 93, p. 3287–3291, 2015.
- CHUD, T. C. S. *et al.* Genetic analysis for gestation length, birth weight, weaning

weight, and accumulated productivity in Nellore beef cattle. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 170, p. 16–21, 2014.

COSTA, E. V. *et al.* Bayesian linear-threshold censored models for genetic evaluation of age at first calving and stayability in Nellore cattle. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 230, p. 103833, 2019.

CYRILLO, J. N. S. G. *et al.* Estimativas de tendências e parâmetros genéticos do peso padronizado aos 378 dias de idade, medidas corporais e perímetro escrotal de machos Nelore de Sertãozinho, SP. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 56–65, 2001.

DOBSON, A. J. **An introduction to generalized linear models**. 2nd. ed. Melbourne, AU: Chapman and Hall, 1990.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4. ed. Essex: Pearson Prentice Hall, 1996.

FARIA, L. C. *et al.* Variabilidade genética da raça Brahman no Brasil detectada por meio de análise de pedigree. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 10, p. 1133–1140, 2010.

FARIA, L. C. *et al.* Análise genética de características reprodutivas na Raça Brahman. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 61, n. 236, p. 559–567, 2012.

FONSECA, V. O. *et al.* Parâmetros reprodutivos de touros Nelore (*Bos taurus indicus*) criados a pasto, em de diferentes faixas etárias. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 71, n. 2, p. 385–392, 2019.

FORMIGONI, I. B. *et al.* Valores econômicos para habilidade de permanência e probabilidade de prenhez aos 14 meses em bovinos de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 57, p. 220–226, 2005.

GIPSON, T. A. *et al.* Associations of scrotal circumference with semen traits in young beef bulls. **Theriogenology**, New York, v. 24, n. 2, p. 217–225, 1985.

GOLDEN, B. L.; BOURDON, R. M. The sire summary of the future. **Revista Brasileira de Produção Animal**, Salvador, v. 23, n. 2, p. 57–150, 1999.

GORDO, D. G. M. *et al.* Genetic analysis of carcass and meat quality traits in Nelore cattle. **Journal of Animal Science**, Cary, v. 96, n. 9, p. 3558–3564, 2018.

HERRING, W. O. *et al.* Comparison of live and carcass equations predicting percentage of cutability, retail product weight, and trimmable fat in beef cattle. **Journal of Animal Science**, Cary, v. 72, n. 5, p. 1107–1118, 1994.

JAMROZIK, J.; MILLER, S. P. Genetic evaluation of calving ease in Canadian Simmentals using birth weight and gestation length as correlated traits. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 162, p. 42–49, 2014.

KAMPRASERT, N.; DUIJVESTIJN, N.; VAN DER WERF, J. H. J. Estimation of genetic parameters for BW and body measurements in Brahman cattle. **Animal**,

Cambridge, v. 13, n. 8, p. 1576–1582, 2019.

KLUSKA, S. *et al.* Estimates of genetic parameters for growth, reproductive, and carcass traits in Nelore cattle using the single step genomic BLUP procedure. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 216, p. 203–209, 2018.

LACERDA, V. V. *et al.* Effect of mature size and body condition of Nelore females on the reproductive performance. **Theriogenology**, New York, v. 118, p. 27–33, 2018.

LAUREANO, M. M. M. *et al.* Estimativas de herdabilidade e tendências genéticas para características de crescimento e reprodutivas em bovinos da raça Nelore. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 63, n. 1, p. 143–152, 2011.

LIMA NETO, H. R. *et al.* Parâmetros genéticos para características de carcaça avaliadas por ultrassonografia em bovinos da raça Guzerá. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 61, n. 1, p. 251–258, 2009.

LIRA, T. S. *et al.* Tendências genéticas para características de crescimento em rebanhos Nelore criados na região do trópico úmido do Brasil. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 14, n. 1, p. 23–31, 2013.

LÔBO, R. B. *et al.* **Sumário de Touros das Raças Nelore, Guzerá, Brahman e Tabapuã: Edição Maio de 2020**. Ribeirão Preto-SP, Brazil: ANCP, 2020. Disponível em: https://www.ancp.org.br/wp/wpcontent/uploads/2020/08/Sumario-Agosto-2020_1008_2_final.pdf. Acesso em: 1 jan. 2021.

LÔBO, R. N. B.; FILHO, R. M. Avaliação de Métodos de Padronização dos Pesos Corporais às Idades de 205, 365 e 550 Dias. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 1695–1706, 2002.

MANUEL, M. *et al.* Estimação de parâmetros genéticos para características de pesos e pesos metabólicos na desmama e pós-desmama em bovinos Brahman. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 71, n. 1, p. 274–280, 2019.

MARTÍNEZ, R. A. *et al.* Direct and maternal genetic effects on growth, reproduction, and ultrasound traits in zebu brahman cattle in Colombia. **Journal of Animal Science**, Cary, v. 94, n. 7, p. 2761–2769, 2016.

MERCADANTE, M. E. Z.; LÔBO, R. B.; OLIVEIRA, H. N. Estimativas de (Co)variâncias entre características de reprodução e de crescimento em fêmeas de um rebanho Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 997–1004, 2000.

MEYER, K. Variance components due to direct and maternal effects for growth traits of Australian beef cattle. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 31, p. 179–204, 1992.

MEYER, K. WOMBAT: a tool for mixed model analyses in quantitative genetics by restricted maximum likelihood (REML). **Journal of Zhejiang University. Science B**, Hangzhou, v. 8, n. 11, p. 815–821, 2007.

MISZTAL, I. Reliable computing in estimation of variance components. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, Hoboken, v. 125, n. 6, p. 363–370, 2008.

MOREIRA, H. L. *et al.* Reproductive traits selection in nelore beef cattle. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 39, n. 4, p. 355–362, 2015.

MUJIBI, F. D. N.; CREWS, D. H. Genetic parameters for calving ease, gestation length, and birth weight in Charolais cattle. **Journal of Animal Science**, Cary, v. 87, n. 9, p. 2759–2766, 2009.

PASCHAL, J. C.; SANDERS, J. O.; KERR, J. L. Calving and weaning characteristics of Angus-, Gray Brahman-, Gir-, Indu-Brazil-, Nellore-, and Red Brahman-sired F1 calves. **Journal of Animal Science**, Cary, v. 69, n. 6, p. 2395–2402, 1991.

PASSAFARO, T. L. *et al.* Análise genética do peso em um rebanho de bovinos Nelore. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 2, p. 149–158, 2016.

PATERNIO, F. M. *et al.* Genetic analysis of visual assessment and body weight traits and their relationships with reproductive traits in Nellore cattle. **Journal of Agricultural Science**, New York, v. 155, n. 4, p. 679–687, 2017.

PEREIRA, M. C. *et al.* Altura da garupa e sua associação com características reprodutivas e de crescimento na raça Nelore. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 6, p. 613–620, 2010.

PEREIRA, R. J. *et al.* Inbreeding depression in Zebu cattle traits. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, Hoboken, v. 133, n. 6, p. 523–533, 2016.

PIRES, B. C. *et al.* Genetic analyses on bodyweight, reproductive, and carcass traits in composite beef cattle. **Animal Production Science**, Clayton, v. 57, n. 3, p. 415–421, 2017.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2021. Disponível em: <https://www.r-project.org>. Acesso em: 1 jan. 2021.

ROCHA, J. C. M. C. *et al.* Genetic parameters estimates for gestation length in beef cattle. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 57, n. 6, p. 784–791, 2005.

SANTANA, M. L. *et al.* Two-trait random regression model to estimate the genetic association of scrotal circumference with female reproductive performance in Nelore cattle. **Theriogenology**, New York, v. 83, n. 9, p. 1534–1540, 2015.

SANTOS, G. *et al.* Resultado econômico de confinamento de bovinos de corte em diferentes cenários. **Revista IPecege**, Piracicaba, v. 4, n. 3, p. 15–22, 2018.

SARGOLZAEI, M.; IWAISAKI, H.; COLLEAU, J. CFC: A Tool for Monitoring Genetic Diversity. *In: World Congress of Genetics Applied to Livestock Production*, 8., 2006, Belo Horizonte. **Anais [...]** Belo Horizonte: American Society of Animal Science, 2006.

- SCHMIDT, P. I. *et al.* Genetic analysis of age at first calving, accumulated productivity, stayability and mature weight of Nelore females. **Theriogenology**, New York, v. 108, p. 81–87, 2018.
- SCHMIDT, P. I. *et al.* Genetic analysis of female reproductive efficiency, scrotal circumference and growth traits in Nelore cattle. **Theriogenology**, New York, v. 128, p. 47–53, 2019.
- SILVA, J. A. V. *et al.* Análise genética da habilidade de permanência em fêmeas da raça Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 598–604, 2003.
- SILVEIRA, D. D. *et al.* Body condition score of Nelore cows and its relation with mature size and gestation length. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 175, p. 10–17, 2015.
- SMITH, B. J. *boa*: An R Package for MCMC Output Convergence Assessment and Posterior Inference. **Journal of Statistical Software**, Los Angeles, v. 21, p. 1–37, 2007.
- SORENSEN, D. *et al.* Bayesian inference in threshold models using Gibbs sampling. **Genetics Selection Evolution**, London, v. 27, n. 3, p. 229, 1995.
- SOUZA, J. C. *et al.* Parâmetros e tendência genética de peso de bovinos criados á pasto no Brasil. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 60, n. 231, p. 457–465, 2011.
- TERAKADO, A. P. N. *et al.* Genetic associations between scrotal circumference and female reproductive traits in Nelore cattle. **Journal of Animal Science**, Cary, v. 93, n. 6, p. 2706–2713, 2015.
- VARGAS, G. *et al.* Genetic parameter estimation for pre- and post-weaning traits in Brahman cattle in Brazil. **Tropical Animal Health and Production**, Dordrecht, v. 46, n. 7, p. 1271–1278, 2014.
- WILSON, D. E. Application of ultrasound for genetic improvement. **Journal of Animal Science**, Cary, v. 70, n. 3, p. 973–983, 1992.
- YOKOO, M. J. *et al.* Genetic and environmental factors affecting ultrasound measures of longissimus muscle area and backfat thickness in Nelore cattle. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 117, p. 147–154, 2008.
- ZUIN, R. G. *et al.* Genetic analysis on growth and carcass traits in Nelore cattle. **Meat Science**, Oxon, v. 91, p. 352–357, 2012.

APÊNDICES

Apêndice A. Estimativas de herdabilidade direta (h_a^2), materna (h_m^2) e proporção atribuída ao ambiente permanente materno (c^2) obtidas em análises uni-característica para características de peso corporal analisadas sob inferência frequencista.

Modelos	$h_a^2 \pm EP$	$h_m^2 \pm EP$	$c^2 \pm EP$	LogL	Comparação	LRT
Peso aos 120 dias de idade (P120)						
M1	0,62±0,02	-	-	-62587,01	2 x (M2-M1)	385,58*
M2	0,18±0,02	0,24±0,01	-	-62394,22	2 x (M3-M1)	373,22*
M3	0,30±0,03	-	0,20±0,01	-62400,40	2 x (M4-M2)	66,35*
M4	0,20±0,03	0,11±0,02	0,13±0,02	-62361,05	2 x (M4-M3)	78,71*
Peso aos 210 dias de idade (P210)						
M1	0,64±0,02	-	-	-62433,95	2 x (M2-M1)	355,29*
M2	0,21±0,03	0,25±0,01	-	-62256,31	2 x (M3-M1)	357,86*
M3	0,34±0,03	-	0,20±0,01	-62255,02	2 x (M4-M2)	64,42*
M4	0,24±0,03	0,11±0,02	0,13±0,02	-62224,10	2 x (M4-M3)	61,85*
Peso aos 365 dias de idade (P365)						
M1	0,52±0,03	-	-	-55513,07	2 x (M2-M1)	132,27*
M2	0,23±0,03	0,15±0,01	-	-55446,93	2 x (M3-M1)	73,81*
M3	0,36±0,03	-	0,10±0,01	-55476,16	2 x (M4-M2)	5,00
M4	0,24±0,03	0,11±0,02	0,04±0,02	-55444,43	2 x (M4-M3)	63,46*
Peso aos 450 dias de idade (P450)						
M1	0,49±0,03	-	-	-53322,14	2 x (M2-M1)	79,22*
M2	0,29±0,04	0,10±0,02	-	-53282,53	2 x (M3-M1)	27,17*
M3	0,40±0,03	-	0,06±0,01	-53308,56	2 x (M4-M2)	0,27
M4	0,30±0,04	0,09±0,02	0,01±0,02	-53282,39	2 x (M4-M3)	52,33*

$M1 = \sigma_a^2 + \sigma_e^2$; $M2 = \sigma_a^2 + \sigma_m^2 + \sigma_e^2$; $M3 = \sigma_a^2 + \sigma_{pe}^2 + \sigma_e^2$; $M4 = \sigma_a^2 + \sigma_m^2 + \sigma_{pe}^2 + \sigma_e^2$; σ_a^2 = variância genética aditiva direta; σ_m^2 = variância genética aditiva materna; σ_e^2 = variância ambiental; σ_{pe}^2 = variância de ambiente permanente materno; LogL = logaritmo da verossimilhança; LRT= teste de razão da verossimilhança; EP = erro-padrão;

*Significativamente diferente de zero ($\chi^2_{1\%}(GL=1) = 6,63$).

Apêndice B. Estimativas de herdabilidade direta (h_a^2), materna (h_m^2) e proporção atribuída ao ambiente permanente materno (c^2) obtidas em análises uni-característica para características reprodutivas analisadas sob inferência frequencista.

Modelos	$h_a^2 \pm EP$	$h_m^2 \pm EP$	$c^2 \pm EP$	LogL	Comparação	LRT
Perímetro escrotal aos 365 dias de idade (PE365)						
M1	0,46±0,06	-	-	-8,487	2 x (M2-M1)	14*
M2	0,27±0,06	0,11±0,03	-	-8,473	2 x (M3-M1)	- 4
M3	0,37±0,07	-	0,07±0,03	-8,492	2 x (M4-M2)	-
M4	0,27±0,07	0,11±0,04	0,00±0,04	Não apresentou convergência		
Perímetro escrotal aos 450 dias de idade (PE450)						
M1	0,34±0,05	-	-	-14,337	2 x (M2-M1)	9,17*
M2	0,24±0,05	0,07±0,02	-	-14,328	2 x (M3-M1)	0,04
M3	0,26±0,05	-	0,07±0,03	-14,337	2 x (M4-M2)	- 8,04
M4	0,23±0,05	0,06±0,03	0,02±0,03	-14,336	2 x (M4-M3)	1,09
Idade ao primeiro parto (IPP)						
M1	0,09±0,03	-	-	-11,781	2 x (M2-M1)	-2
M2	0,09±0,03	0,00±0,01	-	-11,783	2 x (M3-M1)	-2
M3	0,09±0,03	-	0,00±0,03	-11,783	2 x (M4-M2)	-2
M4	0,09±0,03	0,00±0,01	0,00±0,03	-11,785	2 x (M4-M3)	-2
Período de gestação (PG)						
M1	0,59±0,03	-	-	-20520,87	2 x (M2-M1)	10,99*
M2	0,43±0,06	0,07±0,02	-	-20515,38	2 x (M3-M1)	9,85*
M3	0,50±0,04	-	0,05±0,02	-20515,95	2 x (M4-M2)	1,29
M4	0,44±0,06	0,04±0,03	0,03±0,02	-20514,73	2 x (M4-M3)	2,42

$M1 = \sigma_a^2 + \sigma_e^2$; $M2 = \sigma_a^2 + \sigma_m^2 + \sigma_e^2$; $M3 = \sigma_a^2 + \sigma_{pe}^2 + \sigma_e^2$; $M4 = \sigma_a^2 + \sigma_m^2 + \sigma_{pe}^2 + \sigma_e^2$; σ_a^2 = variância genética aditiva direta; σ_m^2 = variância genética aditiva materna; σ_e^2 = variância ambiental; σ_{pe}^2 = variância de ambiente permanente materno; LogL = logaritmo da verossimilhança; LRT= teste da razão da verossimilhança; EP = erro-padrão;

*Significativamente diferente de zero ($\chi^2_{1\%}(GL=1) = 6,63$).

Apêndice C. Estimativas de herdabilidade direta (h_a^2), materna (h_m^2) e proporção atribuída ao ambiente permanente materno (c^2) obtidas em análises uni-característica para características de carcaça analisadas sob inferência frequencista.

Modelos	$h_a^2 \pm EP$	$h_m^2 \pm EP$	$c^2 \pm EP$	2 x LogL	Comparação	LRT
Área de olho de lombo (AOL)						
M1	0,22±0,07	-	-	-5058,21	2 x (M2-M1)	4,95
M2	0,19±0,06	0,05±0,03	-	-5055,74	2 x (M3-M1)	4,58
M3	0,18±0,06	-	0,09±0,04	-5055,92	2 x (M4-M2)	1,92
M4	0,17±0,06	0,03±0,03	0,06±0,05	-5054,78	2 x (M4-M3)	2,29
Espessura de gordura subcutânea (EGS)						
M1	0,16±0,06	-	-	301,52	2 x (M2-M1)	-0,14
M2	0,16±0,06	0,00±0,02	-	301,45	2 x (M3-M1)	-0,47
M3	0,16±0,07	-	0,00±0,05	301,28	2 x (M4-M2)	-0,51
M4	0,17±0,07	0,00±0,02	0,00±0,06	301,20	2 x (M4-M3)	-0,18
Espessura de gordura na garupa (EGP8)						
M1	0,26±0,07	-	-	-566,51	2 x (M2-M1)	-0,32
M2	0,27±0,08	0,00±0,03	-	-566,67	2 x (M3-M1)	0,03
M3	0,26±0,08	-	0,01±0,04	-566,50	2 x (M4-M2)	-0,04
M4	0,25±0,08	0,00±0,04	0,02±0,05	-566,69	2 x (M4-M3)	-0,38

$M1 = \sigma_a^2 + \sigma_e^2$; $M2 = \sigma_a^2 + \sigma_m^2 + \sigma_e^2$; $M3 = \sigma_a^2 + \sigma_{pe}^2 + \sigma_e^2$; $M4 = \sigma_a^2 + \sigma_m^2 + \sigma_{pe}^2 + \sigma_e^2$; σ_a^2 = variância genética aditiva direta; σ_m^2 = variância genética aditiva materna; σ_e^2 = variância ambiental; σ_{pe}^2 = variância de ambiente permanente materno; LogL = logaritmo da verossimilhança; LRT= teste da razão da verossimilhança; EP = erro-padrão;

*Significativamente diferente de zero ($\chi^2_{1\%}(GL=1) = 6,63$).

Apêndice D. Estimativas de correlações fenotípicas (acima da diagonal) e ambientais (abaixo da diagonal) obtidas em análises bi-características sob inferências frequencistas e bayesianas*.

Características	P120	P210	P365	P450	PE365	PE450	IPP	PG	STAY*	AOL	EGS	EGP8
P120	-	0,86±0,01	0,69±0,00	0,62±0,01	0,37±0,01	0,32±0,01	-0,11±0,02	0,08±0,01	0,02±0,03	0,29±0,02	0,09±0,02	0,11±0,03
P210	0,76±0,01	-	0,81±0,00	0,73±0,00	0,44±0,01	0,39±0,01	-0,14±0,02	0,06±0,01	0,05±0,03	0,35±0,02	0,10±0,03	0,09±0,03
P365	0,57±0,01	0,72±0,01	-	0,90±0,00	0,50±0,01	0,47±0,01	-0,16±0,02	0,04±0,01	0,05±0,03	0,48±0,02	0,17±0,03	0,17±0,03
P450	0,49±0,02	0,62±0,01	0,86±0,00	-	0,47±0,01	0,49±0,01	-0,22±0,02	0,05±0,02	0,08±0,03	0,55±0,02	0,19±0,02	0,21±0,03
PE365	0,32±0,03	0,41±0,03	0,49±0,03	0,44±0,03	-	0,83±0,00	-0,09±0,03	0,02±0,03	0,04±0,02	0,35±0,03	0,17±0,03	0,14±0,03
PE450	0,24±0,03	0,33±0,03	0,43±0,02	0,47±0,03	0,77±0,01	-	-0,05±0,03	-0,01±0,02	0,03±0,02	0,40±0,02	0,16±0,03	0,15±0,02
IPP	-0,07±0,03	-0,09±0,03	-0,12±0,03	-0,19±0,03	-	-	-	0,02±0,03	-0,27±0,03	0,66±0,08	-0,63±0,10	0,09±0,21
PG	0,04±0,04	0,03±0,04	-0,01±0,04	-0,01±0,04	-0,14±0,07	0,01±0,05	-0,07±0,05	-	-0,01±0,04	-0,01±0,03	0,00±0,03	-0,01±0,03
STAY*	-0,06±0,05	-0,09±0,05	-0,02±0,04	0,00±0,05	-	-	-0,29±0,04	0,05±0,06		0,33±0,38	0,08±0,39	-0,33±0,21
AOL	0,27±0,04	0,30±0,04	0,42±0,04	0,49±0,04	0,40±0,06	0,44±0,05	0,78±0,10	-0,07±0,06	0,32±0,46	-	0,25±0,02	0,32±0,02
EG	0,07±0,04	0,07±0,05	0,14±0,04	0,13±0,04	0,20±0,06	0,16±0,04	-0,71±0,11	-0,13±0,06	0,23±0,49	0,30±0,05	-	0,48±0,02
EGP8	0,10±0,05	0,04±0,05	0,15±0,05	0,17±0,05	0,10±0,07	0,17±0,06	0,09±0,26	-0,10±0,07	-0,43±0,28	0,36±0,05	0,41±0,04	-

* Análises bi-características de STAY com as demais, realizadas por inferência bayesiana; P120, P210, P365 e P450 = Pesos corporais ajustados aos 120, 210, 365 e 450 dias de idade; PE365 e PE450 = perímetros escrotais ajustados aos 365 e 450 dias de idade; IPP = idade ao primeiro parto; PG = período de gestação; STAY = stayability; AOL = área de olho de lombo; EGS = espessura de gordura subcutânea; EGP8 = Espessura de gordura na garupa.