

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

MARIA PAULA MARINHO DE NEGREIROS

Novos critérios de seleção para avaliação de bovinos de corte

Pirassununga

2022

MARIA PAULA MARINHO DE NEGREIROS

Novos critérios de seleção para avaliação de bovinos de corte

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência do programa de pós-graduação em Biociência Animal.

Área de Concentração: Genética, Biologia Molecular e Celular

Orientador: Prof. Dr. Fernando Sebastián Baldi Rey

Ficha catalográfica elaborada pelo
Serviço de Biblioteca e Informação, FZEA/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

N385n Negreiros, Maria Paula Marinho de
Novos critérios de seleção para avaliação de
bovinos de corte / Maria Paula Marinho de Negreiros
; orientador Fernando Baldi. -- Pirassununga, 2022.
62 f.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
em Biociência Animal) -- Faculdade de Zootecnia e
Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo.

1. Bovinos de corte. 2. Distocia. 3. Tamanho
animal. 4. Parâmetros genéticos. I. Baldi, Fernando,
orient. II. Título.



CERTIFICADO DE ISENÇÃO DE ANÁLISE ÉTICA

Certificamos que o Projeto de Pesquisa abaixo mencionado foi **isento da análise ética** pela *Comissão de Ética no Uso de Animais*, da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da USP, uma vez que, de acordo com o projeto e desenho de estudo apresentados, os animais utilizados no projeto não estão sob a égide da Lei Federal Nº 11.794, de 8 de outubro de 2008.

Título do projeto: Estimativas de correlação genética entre Facilidade de Parto em novilhas precoces com características reprodutivas, crescimento, carcaça e eficiência alimentar em bovinos Nelore

Pesquisador(a): Fernando Sebastián Baldi Rey e Maria Paula Marinho de Negreiros

Motivo da dispensa: De acordo com os documentos apresentados pelo pesquisador responsável, o estudo não envolve a manipulação de animais, e sim análise de dados de animais da raça Nelore participantes do Programa de Melhoramento Genético da Raça Nelore (PMGRN) da Associação Nacional dos Criadores e Pesquisadores (ANCP, Ribeirão Preto, Brasil).

Pirassununga, 11 de março de 2021.

Profa. Dra. CRISTIANE GONÇALVES TITTO

Presidente da Comissão de Ética no Uso de Animais

Profa. Dra. DANIELE DOS SANTOS MARTINS

Vice-Presidente da Comissão de Ética no Uso de Animais

MARIA PAULA MARINHO DE NEGREIROS

Novos critérios de seleção para avaliação de bovinos de corte

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência do programa de pós-graduação em Biociência Animal.

Área de Concentração: Genética, Biologia Molecular e Celular

Orientador: Prof. Dr. Fernando Sebastián Baldi Rey

Data da aprovação: 14/10/2022

Banca Examinadora

Prof. Dr. Fernando Sebastián Baldi Rey

Instituição: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – FZEA/USP

Prof. Dr. Júlio César de Carvalho Balieiro

Instituição: Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Victor Breno Predosa

Instituição: Universidade Estadual de Ponta Grossa

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

Agradeço à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, pela oportunidade de curso de mestrado no Programa de Biociência Animal.

Agradeço à Deus, pelo dom da vida, por ter me sustentando e permitido chegar até aqui.

Aos meus pais, irmãos e avós, meus sinceros agradecimentos, por todo suporte, orações e por sempre me incentivarem na busca de conhecimento.

Ao meu namorado Guilherme, por todo me apoiar em todos os momentos, pelo companheirismo e colaboração para o desenvolvimento do trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fernando Baldi, obrigada pela orientação, amizade, ensinamentos, confiança e oportunidades concedidas.

Agradeço ao Prof. Dr. Raysildo Lôbo, pessoa que tenho grande admiração pelo exemplo de pessoa e profissional.

À Associação Nacional de Criadores e Pesquisadores (ANCP - Ribeirão Preto/SP) pela disponibilidade de dados deste trabalho.

Também agradeço a todas as meninas da equipe ANCP: Flávia, Leticia, Lilian, Rita e Thainara, com as quais convivi e aprendi muito durante esse período.

Especial agradecimento ao colaborador da ANCP: Danilo Oliveira por toda ajuda e contribuição a este trabalho.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	9
1.1 Referências	11
2. CAPÍTULO 1	12
2.1 INTRODUÇÃO	14
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	17
2.2.1 Aprovação ética	17
2.2.2 Animais e dados	17
2.2.3 Características Avaliadas	17
2.2.4 Modelo Estatístico	20
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
2.4 CONCLUSÃO	32
2.5 REFERÊNCIAS	32
3. CAPÍTULO 2:	38
3.1 INTRODUCTION	39
3.2 MATERIALS AND METHODS	41
3.2.1 Data	41
3.2.2 Traits	41
3.2.3 Genetics parameter estimation	44
3.2.4 Correlated response	46
3.3 RESULTS AND DISCUSSION	49
3.4 CONCLUSIONS	58
3.5 REFERENCES	58

RESUMO

NEGREIROS, M. P.M. 2022. 61f. **Novos critérios de seleção para avaliação de bovinos de corte**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2022

Os programas de melhoramento genético de bovinos de corte vêm implementando uso de tecnologias para intensificar a seleção e atender aos diversos objetivos de produção. Dada a importância econômica das características de ganho de peso no melhoramento genético de zebuínos e aumento do tamanho adulto dos animais, foi investigado uma nova característica para a raça Nelore, o frame score (frame). Concomitantemente também foi necessário estudar sobre características reprodutivas em fêmeas precoces, um novo critério de seleção para raça Nelore, a facilidade de parto (FP). Assim, esta dissertação teve como principais objetivos: 1) estimar parâmetros genéticos para facilidade de parto em primíparas e as correlações genéticas com características de crescimento, reprodutivas, carcaça e de eficiência alimentar em bovinos da raça Nelore; 2) Estimar parâmetros genéticos para frame score através de uma equação de predição desenvolvida para bovinos Nelore e associações genéticas entre frame com características de crescimento, reprodutivas, carcaça, eficiência alimentar e cinco índices bioeconômicos. Para FP foram utilizados 4.587 fenótipos, os quais foram pontuados em duas categorias: sem assistência (1), com assistência (2). As características consideradas no estudo de FP foram probabilidade de parto precoce aos 30 meses de idade (3P), Idade ao Primeiro Parto (IPP), Stayability (STAY), Circunferência Escrotal Ajustada aos 365 dias (PE365), Produtividade Acumulada da Vaca (PAC), Idade à Puberdade de Machos (IPM) e Período de Gestação (PG), Peso ao Nascer (PN), pesos ajustados aos 210 (P210) e aos 450 dias de idade (P450), Peso Adulto da Vaca (PAV) e frame, Área de Olho de Lombo (AOL), Espessura de Gordura Subcutânea (EG), Espessura de Gordura na Garupa (P8), Marmoreio (MAR), Consumo Alimentar Residual (CAR) e Ingestão de Matéria Seca (IMS). A herdabilidade direta para FP foi de moderada magnitude (0,27), e a herdabilidade maternal foi de 0,19. Foram obtidas estimativas moderadas de correlações genéticas entre FP e PN (0,66), 3P (-0,49), IPP (0,36), P210 (0,31) e IMS (0,30) sugerindo associação entre as características. As estimativas de correlações genéticas foram de moderadas a baixas entre FP e com as características PG (0,27), STAY (0,26), IPM (0,24), PE365 (0,11), PAC (-0,04), P450 (-0,25), PAV (-0,27), FRAME (-0,20), ALT (0,11), P8 (0,22), EG (0,12), AOL (-0,08), MAR (-0,04) e CAR

(0,14), sugerindo dissociação entre tais características. No segundo estudo, foi estimado parâmetros genéticos para frame e as associações genéticas com as características PN, peso ajustado aos 120 (P120), P210, P450, PAV, IPP, 3P, STAY, PAC, circunferência escrotal ajustada aos 365 (PE365) e aos 450 (PE450) dias de idade, AOL, EG, P8, MAR, CAR e IMS. A herdabilidade estimada para frame foi moderada (0,30). Frame apresentou correlações genéticas moderadas com características de crescimento, PN (0,51), peso ajustado aos 120 (0,41), 210 (0,35) e 450 (0,29) dias de idade. As estimativas de correlação genética entre frame e P8 foi de alta magnitude (-0,84), mas baixas com PAC (0,25) e CAR (0,10). No contexto de seleção unicaracterística ou multicaracterística, houve um menor ganho correlacionado para frame quando a seleção foi aplicada para características comumente mensuradas em programas de pecuária de corte.

Palavras-chave: Bovinos de corte, distocia, tamanho animal, parâmetros genéticos.

ABSTRACT

NEGREIROS, M. P.M. 2022. 61 f. **New selection criteria for evaluating beef cattle.** Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2022

The beef cattle genetic improvement programs have been implementing technologies to intensify the selection and meet the various production objectives. Given the economic importance of weight gain traits in the genetic improvement of Zebu and increase in the adult size of the animals, a new attribute for the Nelore breed was investigated, the frame score (frame). At the same time, it was also necessary to study reproductive characteristics in precocious females, a new selection criterion for the Nelore breed, calving ease (CE). Thus, the primary purposes of this dissertation were: 1) Estimate genetic parameters for calving ease in primiparous and the genetic correlations with growth, reproductive, carcass, and feed efficiency traits in Nelore cattle; 2) Estimate genetic parameters for frame using a prediction equation developed for Nelore cattle and genetic associations between frame score (frame) with growth, reproductive, carcass, feed efficiency-related traits and five bioeconomic indexes. For CE, 4,587 phenotypes were used, scored in two categories: without assistance (1) and with service (2). The traits considered in the CE study were the probability of

precocious calving (PP30), age at first calving (AFC), stayability (STAY), adjusted scrotal circumference at 365 (SC365), accumulated cow productivity (ACP), age at puberty in males (APM), gestational length (GL), birth weight (BW), adjusted weight at 210 (W210) and 450 (W450) days of age, adult weight (AW), hip height (HH), frame score, rib eye area (REA), subcutaneous backfat thickness (BFT), rump fat thickness (RFT), intramuscular fat percentage (IMF), residual feed intake (RFI) and dry matter intake (DMI) were included in the analyses. Direct heritability for CE was of moderate magnitude (0.27), and maternal heritability was 0.19. Obtained Moderate estimates of genetic correlations were between CE e BW (0.66), PPC30 (-0.49), AFC (0.36), W210 (0.31) e DMI (0.30) suggesting an association between the traits. Estimates of genetic correlations were moderate to low between FP and traits. GL (-0.27), STAY (0.26), APM (0.24), SC365 (0.11), ACP (-0.04), W450 (-0.25), AW (-0.27), FRAME (-0.20), HH (0.11), RFT (0.22), BFT (0.12), REA (-0.08), IMF (-0.04) e RFI (-0.14), suggesting independence between such traits. In the second chapter, genetic parameters were estimated for the frame and genetic associations with BW, adjusted weight at 120 (W120), W210 and 450 W450 days of age, AW, AFC, PPC30, STAY, ACP, adjusted scrotal circumference at 365 (SC365) and 450 (SC450) days of age, REA, BFT, RFT, IMF, RFI and DMI. The estimated heritability for frame was moderate (0.30). Frame score showed moderate genetic correlations with growth traits, BW (0.51), W120 (0.41), W210 (0.35) e W450 (0.29). The genetic correlation estimates between frame and RFT was high (-0.84), but low with ACP (0.25) and RFI (0.10). In the single-trait and multi-trait contexts, there was a lower correlated gain for frame when the selection was applied for traits commonly measured in beef cattle breeding programs.

Keywords: Beef cattle, dystocia, animal size, genetic parameters.

1.INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta posição de destaque na produção mundial de carne, sendo o maior exportador de carne bovina do mundo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES - ABIEC, 2021), e maior parte dessa carne é oriunda de *Bos indicus*, principalmente a raça Nelore, altamente adaptada às condições climáticas brasileira. Historicamente, bovinos de corte *Bos indicus* têm sido selecionados principalmente para medidas de crescimento (MARCONDES et al., 2000) com uma resposta favorável em características adaptativas (PRAYAGA; HENSHALL, 2005).

Os programas de melhoramento genético de bovinos de corte vêm implementando uso de tecnologias para intensificar a seleção e atender aos diversos objetivos de produção. Para atender à crescente demanda mundial por carne bovina são necessárias estratégias de seleção mais eficientes, a associação da seleção genômica com tecnologias reprodutivas são meios eficazes para intensificar o uso de indivíduos jovens geneticamente superiores, garantindo maiores acurácias de predição para indivíduos jovens e redução dos intervalos de gerações, acelerando o progresso genético (MEUWISSEN; HAYES; GODDARD, 2013), sendo especialmente relevante para características de importância econômica e não mensuradas rotineiramente.

Dada a importância econômica das características de ganho de peso no melhoramento genético de zebuínos, notou-se a necessidade de um critério de seleção para monitorar o tamanho adulto. Guimarães (2020) desenvolveram equações de predição para classificar animais da raça Nelore para Frame Score (frame), utilizando medidas de carcaça obtidas por ultrassonografia, altura da garupa, idade e sexo dos animais, com dados oriundos do programa Nelore Brasil (ANCP). A partir disso, Negreiros et al. (2022) observaram que a DEP para frame é um critério apropriado para monitorar o peso ao nascimento (PN) e peso adulto da matriz (PAV), sendo que a seleção para frame deve aumentar o PN e PAV. No entanto, o frame não se mostrou uma característica apropriada para melhorar a precocidade sexual, fertilidade e produtividade das matrizes, devido à baixa associação genética com essas características.

Concomitantemente, com o aumento do tamanho dos animais, a seleção na raça Nelore também está direcionada para critérios de precocidade sexual. Com a

intensificação da seleção para precocidade sexual das fêmeas e redução da idade ao primeiro parto tem-se notado aumento da frequência de partos distócicos. Na raça Nelore a medida utilizada para reduzir a incidência de distocias é seleção para baixo peso ao nascer, no entanto como o PN é apenas um indicador de distocia, a seleção para PN não melhora necessariamente a facilidade de parto (BURFENING et al., 1978; MACNEIL; URICK; SNELLING, 1998) como a seleção direta para facilidade de parto (FP). Assim, foi estimado nesse estudo a viabilidade da seleção direta e materna para FP e a associação genética dessa característica com outros critérios de seleção na raça Nelore.

A presente dissertação é constituída por dois artigos. No primeiro artigo foi descrita a associação genética entre a facilidade de parto com outras características que são tradicionalmente utilizadas como critério de seleção em bovinos Nelore. No segundo artigo, também para raça Nelore, foram estimado parâmetros genéticos entre frame score e características relacionadas ao crescimento, reprodução, carcaça, eficiência alimentar, além disso foram estimadas respostas diretas e correlacionados à seleção para frame, aplicando cinco índices de seleção comercial para sistemas cria, recria e engorda.

1.1 Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES – ABIEC. **Beef Report, Perfil da Pecuária no Brasil**, 2021. Disponível em: <http://abiec.com.br/wp-content/uploads/Sumario_2021_BR_3_8.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2022.
- BURFENING, P.J et al. Calving ease and growth rate of Simmental-sired calves: 1. Factors affecting calving ease and growth rate. **Journal of Animal Science**, v. 46, p. 922–929, 1978
- GUIMARÃES, N.C. **Desenvolvimento do novo sistema de frame score para bovinos da raça Nelore e sua associação com características produtivas**. 2020. 156 f. Tese Doutorado, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2020.
- MACNEIL, M. D.; URICK, J. J.; SNELLING, W. M. Comparison of selection by independent culling levels for below-average birth weight and high yearling weight with mass selection for high yearling weight in line 1 Hereford cattle. **Journal of Animal Science**, v.76, p.458-467,1998
- MARCONDES et al. **Análise de alguns critérios de seleção para características de crescimento na raça Nelore**. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v.52, n.1, 2000
- MEUWISSEN, T.; HAYES, B.; GODDARD, M. Accelerating improvement of livestock with genomic selection. **Annual Review of Animal Biosciences**, v. 1, p. 221–237, 2013.
- NEGREIROS, M. P. et al. Selection criteria for frame score and its association with growth-, reproductive-, feed efficiency- and carcass-related traits in Nelore cattle. **Animal Production Science**, 2022
- PRAYAGA, K. C.; HENSHALL, J. M. Adaptability in tropical beef cattle: Genetic parameters of growth, adaptive and temperament traits in a crossbred population. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 45, n. 7–8, p. 971–983, 2005.

2. CAPÍTULO 1

Estimativas de correlação genética entre facilidade de parto em primíparas e características economicamente importantes em bovinos Nelore

Maria Paula Negreiros¹, Raysildo Barbosa Lobo, Ludmilla Costa Brunet, Fernando Baldi,

Departamento de Ciência Animal, Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, SP, Brasil.

Associação Nacional de Criadores e Pesquisadores, Ribeirão Preto, SP, Brasil.

Centro de Desempenho Animal, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, Brasil.

Departamento de Ciência Animal, Universidade Estadual de São Paulo (UNESP), Jaboticabal, SP, Brasil.

RESUMO

NEGREIROS, M. P.M **Estimativas de correlação genética entre facilidade de parto em primíparas e características economicamente importantes em bovinos Nelore**. 2022. 61 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2022.

Este estudo teve como objetivo estimar parâmetros genéticos para facilidade de parto (FP) em primíparas e as correlações genéticas com características de crescimento, reprodutivas, de carcaça e de eficiência alimentar em bovinos da raça Nelore. Um total de 4.587 fenótipos foram coletados para FP, os quais foram pontuados em duas categorias: parto normal (sem assistência), categorizado como sucesso (2) e parto assistido categorizado como falha (1). As características reprodutivas consideradas foram probabilidade de parto precoce aos 30 meses de idade (3P), Idade ao Primeiro Parto (IPP), Stayability (STAY), Circunferência Escrotal Ajustada aos 365 dias (PE365), Produtividade Acumulada da Vaca (PAC), Idade à Puberdade de Machos (IPM) e Período de Gestação (PG). As características de crescimento foram Peso ao Nascer (PN), pesos ajustados aos 210 (P210) e aos 450 dias de idade (P450), Peso Adulto da Vaca (PAV) e Frame Score (frame). Também foram consideradas características de carcaça como Área de Olho de Lombo (AOL), Espessura de Gordura Subcutânea (EG), Espessura de Gordura na Garupa (P8) e Marmoreio (MAR), além das características indicadoras de eficiência alimentar Consumo Alimentar Residual (CAR) Ingestão de Matéria Seca (IMS). O modelo animal de limiar

foi utilizado para as análises das características binárias: facilidade de parto, STAY e 3P. As estimativas dos parâmetros genéticos e componentes de covariância das características de crescimento, carcaça e reprodução foram obtidas através do modelo animal linear. A herdabilidade direta para FP foi de moderada magnitude (0,27) e a herdabilidade maternal para FP foi de 0,19. Foram obtidas estimativas moderadas de correlações genéticas entre FP e PN (-0,66), 3P (0,49), IPP (-0,36), P210 (-0,31) e IMS (-0,30) sugerindo associação entre as características. As características PG, STAY, IPM, PE365 e PAC apresentaram correlações genéticas de baixa magnitude com facilidade de parto, estimativas de -0,27, 0,26, 0,24, 0,11 e -0,04, respectivamente. As características de crescimento P450, PAV, FRAME e ALT também apresentaram estimativas de correlações genéticas baixas, -0,25, -0,27, -0,20 e 0,11 respectivamente. Por fim, verificou-se baixas estimativas de correlações entre características de carcaças EG (0,12), P8 (0,22), AOL (-0,08), MAR (-0,04), bem como, de eficiência alimentar (CAR, 0,14). Esses resultados sugerem independência entre facilidade de parto com desempenho para crescimento e peso corporal, fertilidade sexual, longevidade reprodutiva, produtividade da vaca, carcaça e eficiência alimentar. A característica facilidade de parto apresenta herdabilidade e viabilidade de seleção e ganho genético, bem como, associações favoráveis com características produtivas, como peso ao nascer e desempenho ponderal. A seleção direta para FP deve ser associada a seleção para precocidade sexual, visando a obtenção de animais de menor IPP e IPM e a redução dos problemas de parto.

Palavras-chave: Bovinos de corte. Distocia. Correlações genéticas. Precocidade sexual.

ABSTRACT

NEGREIROS, M. P.M. **Estimates of genetic correlation between calving ease in primiparous and economically important traits in Nellore cattle.** 2022. 61 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2022.

The aim of this study was to estimate genetic parameters for calving ease (CE) in primiparous, as well as genetic associations with growth, reproductive, carcass and feed efficiency traits in Nellore cattle. A total of 4.587 records were collected for CE, they were scored in two categories: normal calving (without assistance), categorized

as successful (2) and calving assisted categorized as failure (1). The reproductive traits considered are probability of precocious calving (PPC30), age at first calving (AFC), stayability (STAY), adjusted scrotal circumference to 365 days (SC365), accumulated cow productivity (APC), age at puberty in males (APM) and gestational length (GL). The growth traits were birth weight (BW), adjusted weights to 210 (W210) and 450 days of age (W450), adult weight (AW), frame score (frame) and hip height (HH). Carcass traits such as rib eye area (REA), subcutaneous backfat thickness (BFT), rump fat thickness (RFT) and traits of food efficiency such as the residual feed intake (RFI) and dry matter intake (DMI). Calving ease analyzes were performed using an animal threshold model. Estimates of genetic parameters and covariance components of growth, carcass and reproduction traits were obtained using the linear-threshold animal model, with the exception of STAY, 3P and calving ease which were analyzed using the threshold animal model. Heritability for the CE of trait was of high magnitude, showed an estimate direct CE of estimate of 0.27 and maternal CE of 0.19. Were obtained moderate estimates of genetic correlations between CE with BW (-0.66), PPC30 (0.49), AFC (-0,36). W210 (-0,31) and DMI (-0,30), suggesting an association between traits. The traits GL, STAY, APM, APC and SC365 showed low genetic correlations with calving ease of -0.27, 0.26, 0.24, 0,11 and -0,04, respectively. The growth traits W450, AW, FRAME and HH also showed low genetic correlations, 0.25, 0.27, 0.20 and -0.01, respectively. Finally, there were low estimates of correlations between carcass traits BFT (0,12), RFT (0.22), REA (-0,08), MAR (-0,04), as well as feed efficiency (CAR, 0.14). These results suggest independence between calving ease and performance for growth and body weight, sexual fertility, reproductive longevity, cow productivity, carcass and feed efficiency. The calving ease trait presents heritability and viability of selection and genetic gain, as well as favorable associations with productive traits, such as birth weight and weight performance. Direct selection for CE must be associated with selection for sexual precocity, to obtaining animals with lower AFC and APM and reducing parturition problems.

Keywords: Beef cattle. dystocia. genetic correlation. sexual precocity

2.1 INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta posição de destaque na indústria global da carne bovina, sendo o detentor do maior rebanho comercial de bovino do mundo, além de ser o

maior exportador e o segundo colocado no “ranking” da produção mundial de carne bovina, de acordo com os dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2022). O mercado consumidor tem exigido um sistema pecuário eficiente baseado em um regime de ciclo curto de produção, que otimizem os recursos ambientais. A intensificação da atividade pecuária proporcionou a redução do ciclo de produção, com isso nas últimas duas décadas obtivemos aumento da produtividade da pecuária de corte brasileira em 159% (ABIEC, 2021), o que impulsionou a produção de carne de qualidade e sustentável. Entre as consequências do aumento da produtividade da pecuária, está o melhoramento genético animal, o qual permite reduzir o ciclo de produção, além de maximizar o potencial produtivo e reprodutivo do rebanho (MOREIRA et al., 2015).

Na seleção de zebuínos, há uma preocupação crescente em relação às maiores taxas de crescimento e peso vivo em idades jovens e seus impactos no tamanho adulto, composição da carcaça, fertilidade e produtividade do rebanho. Desenvolvendo modelos bioeconômicos para bovinos de corte do Brasil Central, Brumatti et al. (2011) evidenciaram que as características reprodutivas são economicamente mais importantes do que as características ponderais, como ganho de peso. Nesse contexto, tem crescido o interesse a avaliação de características relacionadas a precocidade sexual e eficiência reprodutiva (KLUSKA et al., 2018). A antecipação da prenhez em novilhas é uma característica binária que tem sido amplamente utilizada para avaliar a precocidade sexual, pois apresenta algumas vantagens, entre elas, pode ser mensurada em todas as novilhas e apresenta estimativas de herdabilidade moderadas a altas na raça Nelore (BONAMY et al., 2019; KLUSKA et al., 2018), sugerindo viabilidade de resposta à seleção para precocidade sexual de novilhas.

Em animais de raças taurinas, um componente importante na eficiência reprodutiva de bovinos de corte é a facilidade de parto (FP), pois afeta a lucratividade dos rebanhos e o bem-estar dos animais (SILVESTRE et al., 2019). A ocorrência de distocia severas em novilhas apresentou efeitos desfavoráveis para a fertilidade, proporcionando menores taxas de reconcepção, prejudicando a viabilidade e aumentando a taxa de mortalidade dos bezerros (HOSSEIN-ZADEH, 2016; LOURENÇO et al., 2022). Apesar do impacto econômico, a FP tem sido amplamente avaliada apenas em bovinos leiteiros (HOSSEIN-ZADEH, 2016; SILVESTRE et al., 2019). O desafio de novilhas à precocidade sexual permite aumentar a produção e a

eficiência reprodutiva do rebanho. No entanto, a incidência de partos assistidos em novilhas primíparas de 2 anos de idade apresenta variação considerável entre os rebanhos de gado de corte (HICKSON et al., 2010; HOGAN et al., 2022). A raça Nelore tradicionalmente é caracterizada por apresentar baixa frequência de partos distócicos, contudo ainda não há relatos na literatura que correlacionem a ocorrência de distocias em novilhas Nelores selecionadas para precocidade sexual, fato importante a ser considerado, uma vez que esse tipo de seleção vem sendo amplamente aplicado. Em bovinos Nelore, a FP está associada a pesos moderadamente baixos ao nascer, enquanto bezerros com alto peso ao nascer (PN) são mais propensos a distocia (KAMEI et al., 2017).

A utilização do PN do bezerro como indicativo de dificuldade de parto envolve estratégias de seleção que adotam o uso de baixas diferença esperada na progênie (DEPs) direta para PN, visando diminuir a frequência de partos assistidos em novilhas precoces. Esse critério de seleção é apoiado em estudos que evidenciaram alta associação genética entre PN e dificuldade de parto. Em bovinos de corte, Eriksson et al. (2004a) apresentaram estimativas diretas de correlação genética entre PN e dificuldade ao parto de 0,62 e 0,72 para bovinos das raças Charolês e Hereford, respectivamente. Em consonância, Jamrozik e Miller (2014) analisando as mesmas características no gado Simental canadense, obtiveram estimativas de 0,68 para vacas e 0,83 para primíparas.

No entanto, a seleção para baixo PN pode interferir no desenvolvimento dos animais, uma vez que os ganhos genéticos de peso ao nascimento até o pós-desmame podem ser obtidos pelas respostas correlacionadas dessas características (SILVEIRA et al., 2019), assim selecionar para baixo PN poderá prejudicar o ganho de peso e o peso corporal em idades superiores e, portanto, a rentabilidade. Assim, embora a seleção para baixo PN possa contribuir para a FP, a seleção direta e direcionada para reprodução visando melhora FP pode ser uma melhor escolha a longo prazo (BENNETT et al., 2021). Um estudo recente de Saad et al. (2020) com bovinos de corte da raça Simental Americana, quantificou a resposta à seleção para FP versus a seleção para baixo PN, e as tendências genéticas obtidas elucidaram que a seleção para FP em vez de baixo PN, melhorou substancialmente a FP e produziu animais mais pesados.

De acordo com a atual problemática da bovinocultura de corte, com intuito de aumentar a rentabilidade dos rebanhos e minimizar problemas futuros relacionados

ao parto, surge a necessidade de avaliar a variabilidade genética direta para a característica facilidade de parto em novilhas da raça Nelore, assim como mensurar a associação genética entre a facilidade de parto com outras características que são tradicionalmente utilizadas como critério de seleção. Assim, o objetivo desse estudo foi estimar parâmetros genéticos para facilidade de parto em bovinos Nelore e também as correlações genéticas com características de crescimento, reprodutivas, carcaça e de eficiência alimentar.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Aprovação ética

A coleta de informações fenotípicas não é categorizada como experimento, uma vez que as intervenções estão relacionadas sob a égide da Lei Federal Nº 11.794, de 8 de outubro de 2008. Assim, o presente estudo foi certificado isento de análise ética pela Comissão Ética no Uso de Animais, da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da USP.

2.2.2 Animais e dados

O conjunto de dados utilizados neste estudo foi composto por animais da raça Nelore de 21 rebanhos distribuídos por todo território brasileiro. Esses rebanhos participam do Programa de Melhoramento Genético da Raça Nelore (PMGRN) da Associação Nacional dos Criadores e Pesquisadores (ANCP, Ribeirão Preto, Brasil). Foram analisados 4.587 dados de facilidade de parto de novilhas e primíparas.

Para análise de facilidade de parto foram consideradas apenas dados de primíparas, as quais foram divididas em 2 categorias. As fêmeas que pariram antes dos 27 meses de idade foram consideradas precoces, categoria 1. E as fêmeas que apresentaram o primeiro parto após os 27 meses foram consideradas primíparas, categoria 2. As coletas fenotípicas foram realizadas logo após o parto, os registros foram pontuados em duas categorias: parto normal (sem assistência), categorizado como sucesso (2) e parto anormal (com assistência) categorizado como falha (1). A estrutura de pedigree contou com informações de 137.467 animais.

2.2.3 Características Avaliadas

Além da FP, as características analisadas nesse estudo compreendem reprodução, crescimento, carcaça e eficiência alimentar. As características reprodutivas consideradas foram: probabilidade de parto precoce (3P), stayability (STAY), idade ao primeiro parto (IPP), circunferência escrotal ajustada aos 365 dias de idade (PE365), produtividade acumulada da vaca (PAC), idade à puberdade de machos (IPM) e Período de Gestação (PG).

A PAC indica a produtividade da matriz, em quilogramas de bezerros desmamados por ano, e avalia a mesma quanto à precocidade e periodicidade reprodutiva e, ainda, quanto à sua habilidade materna, por meio de sua capacidade em desmamar crias com maior peso (LÔBO et al., 2000). Para análise de 3P, todas as novilhas que tiveram confirmação gestacional e pariram até 30 meses de idade tiveram seus fenótipos categorizadas como sucesso (2) ou falha (1). Para STAY, vacas com pelo menos 3 bezerros paridos até os 76 meses de idade tiveram seus fenótipos caracterizados como de sucesso (2) ou falha (1).

Características de crescimento como peso ao nascer (PN), pesos ajustados aos 210 (P210), 450 dias de idade (P450), peso adulto da vaca (PAV) e frame foram incluídos nas análises. Nos rebanhos analisados, o peso vivo dos animais foi aferido a cada 90 dias até os 18 meses de idade, após esse período o peso foi mensurado uma vez ao ano até os 16 anos de idade. A partir disso foi calculado o peso ajustado para a idade de acordo com a equação proposta por Garner et al. (2001), em que o ganho médio diário (kg/dia) de cada período é utilizado para ajustar à idade padrão.

O frame é um índice caracterizado pela relação existente entre peso, sexo e a idade do animal. A classificação do frame score foi proposta por Guimarães (2020) e obtida através de rebanhos participantes da ANCP, a metodologia utilizada foi a predição de regressão linear múltipla e aplicados em 2 equações para predição, uma para machos (Eq 1) e outra para fêmeas (Eq 2), como segue:

$$FRAME_{Machos} = -20.35 + 0.1305 \times AOL + 0.2633 \times EG - 0.5901 \times P8 + 0.1139 \times ALT + 0.0056 \times IDD \quad (1)$$

$$FRAME_{Fêmeas} = -11.87 + 0.1316 \times AOL - 0.2457 \times EG - 0.6218 \times P8 + 0.1139 \times ALT + 0.0009507 \times IDD \quad (2)$$

Onde AOL, EG, P8, ALT e IDD são área de olho de lombo (cm²), espessura de gordura subcutânea (cm), espessura de gordura na garupa (cm), altura (cm) e idade (dias) mensurados no dia da ultrassonografia.

Registros de medidas ultrassonográficas da AOL, EG, P8 e marmoreio (MAR) foram obtidos em animais com média de idade de 485 ± 155 dias. Para obtenção dessas medidas foi utilizado aparelho de ultrassonografia (ALOKA 500 V) e transdutor linear de 3,5 MHz. A AOL, EG e MAR foram mensuradas entre a 12^a e 13^a costelas, e o P8 foi mensurado na junção dos músculos *Glúteo Médio* e *Bíceps Femoral*, entre os ossos íleo e ísquio. EG e P8 foram mensurados em milímetros (mm), AOL em centímetros quadrados (cm²) e o marmoreio como a percentagem de gordura intramuscular. No dia da ultrassonografia também foi coletado o dado fenotípico de altura da garupa (ALT), mensurada utilizando fita métrica, como a distância em metros (m) do solo à ponta do íleo (BIF, 2002).

As características indicadoras de eficiência alimentar consideradas foram o consumo alimentar residual (CAR) e a ingestão de matéria seca (IMS). O CAR foi obtido em provas de eficiência alimentar realizadas entre 2011 a 2018. Os animais foram mantidos em baias individuais ou coletivas com sistemas automatizados de medição de ingestão de alimentar (GrowSafe® ou Intergado®). Os animais foram avaliados em condições semelhantes de ambiente e manejo, para avaliação do consumo de ração e ganho médio diário (GMD). Os animais iniciaram os testes com média de idade de 13,5 ± 4,15 meses, e permaneceram em teste durante 70 dias, após período de adaptação de 21 dias. Durante os testes, o peso médio de cada animal foi obtido por pesagens periódicas, bem como no início e final do período de avaliação.

As dietas oferecidas ao longo dos anos diferiram em composição e ingredientes, mas foram formuladas à base de silagem e concentrado comercial, com média de 64% de nutrientes digestíveis totais (NDT), 13% de proteína bruta (PB), 76% de matéria seca (MS), e formuladas para ganhos de 1,2 kg/dia (MENDES et al., 2020). Para garantir o consumo de ração *ad libitum*, a oferta de alimentos foi ajustada diariamente, permitindo recusas que variam de 5 a 10% das ofertas.

Os seguintes registros de consumo diário não foram considerados nas análises: dias em que os animais foram manuseados fora das instalações por muitas horas, falha do equipamento e quando nenhuma recusa foi encontrada. O percentual de matéria seca da dieta foi determinado a partir de amostras semanais de ofertas e

recusas. O GMD em cada teste foi considerado como o coeficiente de regressão linear do peso corporal (PC) em dias em teste (DIT):

$$y_{ij} = \alpha + \beta * DIT + \varepsilon_i$$

onde, y_{ij} é o peso na i -ésima observação do j -ésimo dia; α = intercepto da equação de regressão correspondente ao PC inicial; β = coeficiente de regressão linear correspondente ao GMD; DIT_i = dias em teste para a i -ésima observação; e ε_i = erro aleatório associado a cada observação. O peso metabólico ($PM^{0,75}$) foi calculado como: $PM^{0,75} = [\alpha + \beta \times (DIT / 2)]^{0,75}$, com α e β assumindo os valores obtidos pela equação descrita acima.

A IMS (kg/dia) foi obtida pelo cálculo da média de todos os valores de ingestão diária válidos durante o período de teste. Em baias individuais, esse parâmetro foi calculado como a diferença entre a matéria seca oferecida e o resíduo. Nas baias coletivas, a IMS foi calculado como a quantidade de ração consumida individualmente registrada automaticamente pelos sistemas eletrônicos.

O CAR foi considerado como o erro da equação de regressão múltipla da ingestão de matéria seca (IMS) no GMD e no peso metabólico, conforme apresentado a seguir:

$$y = \beta_0 + \beta_1 * GMD + \beta_2 * PM + \varepsilon$$

onde, y é o CAR; β_0 é o intercepto, β_1 e β_2 são os coeficientes de regressão linear para GMD e PM respectivamente; e ε é o erro residual (i.e. RFI). O número de dados e estatística descritiva do presente estudo estão apresentados na tabela 1.

2.2.4 Modelo Estatístico

O grupo de contemporâneo (GC) para facilidade de parto foi composto por fazenda, ano de nascimento da novilha, ano de parição, mês de parição e sexo do bezerro. Para as características de crescimento, carcaça e reprodutivas, com exceção de STAY e 3P, os grupos de contemporâneos foram compostos por fazenda, grupo de manejo, sexo, ano e estação de nascimento (estação seca de abril a setembro e estação chuvosa de outubro a março). Para STAY e 3P, o GC foi composto por fazenda, ano e estação de nascimento. Para as características relacionadas à eficiência alimentar, o GC foi composto por fazenda, grupo de manejo, sexo, identificação do teste de eficiência alimentar, ano e estação de nascimento. Registros dentro do intervalo de $\pm 3,5$ desvios-padrão da média do GC foram considerados na

análise. Além disso, foram mantidos GC com no mínimo três animais. Os grupos de contemporâneos sem variabilidade fenotípica para STAY, 3P e FP foram eliminados.

Para a estimação dos componentes de variância e parâmetros genéticos foram incluídos para todas as características o efeito aleatório genético aditivo direto. Para as características P210 e PN, além do efeito aleatório genético aditivo direto, foi incluído o efeito genético materno e efeito de ambiente permanente materno. Para a estimação dos componentes de (co)variância para P210, P450, PAV, FRAME, ALT, PAC, IPM, IPP, PE365, PG, AOL, EG, P8, CAR e IMS foi utilizado o modelo animal linear bivariado:

$$y = X\beta + Zg + Mm + Wmpe + e$$

Onde, y é um vetor de variáveis dependentes; β é um vetor de efeitos fixos, incluindo o GC e a classe de idade da mãe ao parto (variando de 1 a 10) para P210 e PN; X é a matriz de incidência associando β com y ; g é um vetor de efeitos aleatórios dos efeitos genéticos aditivos diretos; Z é a matriz de incidência que associa g com y ; m é o vetor dos efeitos aleatórios de efeitos genéticos aditivos maternos (somente para PN e P210); M é a matriz de incidência que associa m com y ; mpe é um vetor de aleatório de efeito de ambiente permanente materno (somente para FP, PN e P210); W é a matriz de incidência associando mpe com y ; e é o vetor dos efeitos aleatórios residuais. Assume-se que $E[y] = X\beta$. Os efeitos genéticos, materno, ambiente permanente e residual foram distribuídos normalmente com média igual a zero e variâncias $Var(g) = A \otimes S_g$; $Var(m) = A \otimes S_m$; $Var(mpe) = I \otimes S_{mpe}$; $Var(e) = I \otimes S_e$, respectivamente, onde: S_g é a matriz de covariância genética aditiva direta; S_m é a matriz que variância genética aditiva materna, somente para FP, PN e P210; S_{mpe} é a matriz de variância de ambiente permanente materno; S_e é a matriz de covariância residual, A é a matriz de relacionamento e I é a matriz de identidade.

No modelo de análise de FP, os efeitos fixos considerados foram: grupo de contemporâneo, efeito genético direto e materno, idade da fêmea ao parto para definir a categoria. Fêmeas que pariram até 27 meses foram classificadas como precoces e fêmeas que apresentaram o primeiro parto após 27 meses classificadas como primíparas.

Para estimar os componentes de (co)variância e parâmetros genéticos para FP, 3P e STAY foi utilizado o modelo animal limiar (MRODE; THOMPSON, 2005), assumindo uma escala subjacente com uma distribuição normal:

$$U|\theta \sim N(W\theta, I\sigma_e^2)$$

Onde U é o vetor da escala de base com a ordem r (com r : número de animais); $\theta = (\beta, u, m, mpe)$ é o vetor de parâmetros com a ordem s (com s : número de classe); β é um vetor de efeitos fixos com a ordem s ; u é o vetor do vetor de efeito aditivo genético direto; m é o vetor de efeito aditivo genético materno; mpe é o vetor do vetor de efeitos ambientais permanentes maternos, W é a matriz de incidência com a ordem $r \times s$; I é a matriz de identidade com ordem $r \times r$; e σ_e^2 é a variação residual. Para modelos binários, a variação residual é fixada em $\sigma_e^2 = 1$ (SORENSEN; GIANOLA, 2002). A ligação entre a base e escala subjacente foi realizada pela função de ligação de probabilidade (GIANOLA; FOULLEY, 1983).

Os componentes de (co)variância para as características lineares foram obtidos pelo método de máxima verossimilhança restrita usando o software REMLF90 (MISZTAL et al., 2002) e aplicando o algoritmo de máxima verossimilhança restrita à informação média usando o software AIREMLF90 (MISZTAL et al., 2002). Para as características categóricas (FP, 3P e STAY) e combinação de FP com as demais características avaliadas as análises foram realizadas usando o software THRGIBBS1F90 (MISZTAL et al., 2014), e foram geradas cadeias Gibbs de 1.000.000 iterações com um *burn-in* inicial de 50.000 e um intervalo de amostragem de 100. Foram calculadas herdabilidades, covariâncias e correlações com as amostras geradas em cada interação e, posteriormente, foi estimada a média das amostras. A partir disso, para os componentes de covariância e parâmetros genéticos estimados em um nível de credibilidade de 90% foi construído o intervalo de maior densidade posterior (HPD). A convergência foi testada utilizando o Bayesian Output Analysis (BOA) (SMITH, 2008) implementado no programa R (2010). Assim, o período de *burn-in*, tamanho da cadeia e período de amostragem considerados foram suficientes para alcançar convergência em todas as estimativas de parâmetros.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estatística descritiva, incluindo número de animais por característica analisada, grupo de contemporâneo (GC) e média estão apresentados na tabela 1. Para facilidade de parto, a porcentagem de animais classificados como sucesso foi de 88% (partos que não necessitaram de assistência) e 12% foram categorizados como

insucesso (assistência ao parto). A incidência de distocias apresentadas no presente estudo, estão de acordo com outros estudos em bovinos de corte, as incidências relatadas variaram de 6,2% a 37,2% de partos assistidos (PHOCAS; LALOE, 2003; ERICKSSON et al., 2004; JAMROZIK; MILLER, 2014; HOSSONO et al., 2020).

Tabela 1 - Número de dados (N), número de grupos de contemporâneos (GC), média e desvio padrão (s.d.) para facilidade de parto em primíparas e características reprodutivas, de crescimento, de carcaça e indicadores de eficiência alimentar em bovinos Nelore.

Característica	N	GC	Média ± s.d
FP	4.587	219	1,12 ± 0,32
3P (%)	42.386	1147	1,43 ± 0,49
STAY (%)	48.362	491	1,48 ± 3,73
IPM (meses)	37.89	32	16,3 ± 3,73
IPP (meses)	55.814	788	32 ± 6,35
PAC (kg bez. Desm./vaca/ano)	25.190	614	163,62 ± 32,77
PE365 (cm)	34.674	883	22,35 ± 2,74
PG (dias)	47.757	839	295,14 ± 6,05
ALT	9.974	319	136,89 ± 6,3
FRAME	10.717	432	5,73 ± 1,93
P210 (kg)	86.653	2801	204,41 ± 31,97
P450 (kg)	72.330	1847	324,64 ± 60,28
PAV (kg)	12.182	270	512,61 ± 69,29
PN (kg)	44.995	1471	34,75 ± 4,88
AOL (cm ²)	58.413	1978	59,5 ± 11,42
EG (mm)	58.104	1975	3,53 ± 1,97
P8 (mm)	58.323	1973	4,98 ± 2,74
MAR (%)	16.424	564	2,56 ± 0,94
CAR (kg de MS)	9.525	154	-0,0035 ± 0,7
IMS (kg de MS)	9.552	154	8,23 ± 1,82

FP= facilidade de parto; 3P= probabilidade de parto precoce; STAY= stayability; IPP= idade ao primeiro parto; IPM= idade à puberdade de machos; PAC= produtividade acumulada da vaca; PE365= perímetro escrotal ajustado ao 365 dias de idade; PG= período gestacional; ALT= altura; FRAME= frame score; P210= peso ajustado aos 210 dias de idade; P450= peso ajustado aos 450 dias de idade; PAV= peso adulto da vaca; PN= peso ao nascer; AOL= área de olho de lombo; EG= espessura de gordura subcutânea; P8= espessura de gordura na garupa; MAR= marmoreio; CAR= consumo alimentar residual; IMS= ingestão de matéria seca.

Para todas as características estudadas foram calculados os intervalos de HPD com base nas estimativas de herdabilidades direta e materna, os quais estão representados na tabela 2. Para facilidade de parto, a estimativa de herdabilidade direta foi de moderada magnitude (0,27) e a maternal foi de moderada a baixa

magnitude (0,19). Na raça Nelore, estimativas de parâmetros genéticos para FP ainda são escassos, Silva et al. (2020) analisaram novilhas precoces Nelore, e obtiveram através do modelo touro-pai avô materno estimativas de herdabilidade direta de 0,18 e materna de 0,39 para FP. A herdabilidade materna obtida pelos autores apresentou média superior à encontrada no presente estudo, no entanto, devemos levar em consideração que o conjunto de dados utilizado por Silva et al. (2020) foi composto por apenas 2 rebanhos e os parâmetros genéticos foram obtidos através do modelo touro-pai avô materno, o que pode superestimar as estimativas de herdabilidade. Saad et al. (2020) relataram estimativas de magnitudes semelhantes às obtidas nesse estudo, os autores analisaram população de bovino Simental Americano e obtiveram através do modelo touro e touro avô-materno herdabilidade direta de 0,23 e materna de 0,14.

As estimativas de herdabilidade relatadas na literatura para facilidade de parto diferem de acordo com a raça e o modelo utilizado para estimação. Benett e Gregory (2001) obtiveram estimativas de herdabilidades moderadas para rebanho composto de bovinos de corte através do modelo animal multi-característica, com valores de 0,4 e 0,22, para herdabilidade direta e materna, respectivamente. Já as estimativas apresentadas por Eaglen e Bejima (2009), utilizando modelo animal linear em rebanho Charolês, foram de baixa magnitude, 0,14 e 0,06 para herdabilidade direta e materna, respectivamente. Com base nas estimativas relatadas na literatura e os resultados do presente estudo, sugere-se que a seleção para FP é viável, e que a característica é favorável à seleção direta. As estimativas de herdabilidades maternas apresentaram menores magnitudes. No entanto, é proposto a influência de um componente maternal na seleção para FP, devendo este efeito ser incluído nas análises de estimação de componentes de (co)variância. Silva et al. (2020) estudaram regiões genômicas associadas à FP em novilhas Nelore, e identificaram que 0,5% da variância genética aditiva para FP diferiram entre efeitos maternos e diretos, sugerindo que diferentes classes de genes controlam efeitos diretos e materno da característica.

Foram obtidas estimativas direta de herdabilidade moderadas para as características de crescimento ALT (0,32), FRAME (0,35), P450 (0,39) e PAV (0,34), demonstrando viabilidade de seleção. Estimativas semelhantes foram reportadas para na raça Nelore por Negreiros et al. (2022), cujos valores foram 0,30, 0,27 e 0,26 para FRAME, PAV e P450, respectivamente. Schmidt et al. (2019) também na raça Nelore obtiveram moderada herdabilidade para peso (0,44) e altura (0,34) avaliadas ao sobreano. Já no estudo de Boligon, Baldi, de Albuquerque (2011) foram apresentadas

maiores estimativas de herdabilidade para altura quadril ao desmame (0,51) e altura de quadril no pós-desmame (0,54) também para a raça Nelore.

As estimativas de herdabilidade obtidas no presente estudo para peso ao nascimento foram de menor magnitude do que outros relatos para a raça Nelore. A herdabilidade direta foi de 0,20 e a materna de 0,04. Esses valores indicam que os ganhos genéticos devido a seleção direta podem ser baixos. Kamei et al. (2017), avaliando bovinos Nelore apresentaram estimativa de herdabilidade direta e materna para PN de 0,17 e 0,11. Silveira et al. (2019) relatou estimativas de herdabilidade direta para PN de 0,29 e para herdabilidade materna de 0,07, avaliando bovinos Nelore. Estudos envolvendo outras raças de bovinos de corte apresentaram maiores estimativas de herdabilidade para PN. Saad et al. (2020) na raça Simental apresentaram herdabilidade direta de 0,52, assim como Herrera-Ojeda et al. (2019), que para a raça Charolês, obtiveram para PN estimativa de 0,51 para herdabilidade direta e 0,32 para materna.

Para desempenho até a desmama a estimativa de herdabilidade direta obtida no presente estudo foi de baixa magnitude (0,18), assim como a materna (0,11), demonstrando alta influencia ambiental e baixa resposta a seleção. As estimativas obtidas estão dentro do intervalo apresentado na literatura para P210 para a raça Nelore, para efeito direto as estimativas variaram de 0,17 a 0,32, e para efeito materno variaram de 0,09 a 0,29 (KAMEI et al., 2017; LOPES et al., 2017; PEDROSA et al., 2014).

Estimativas de herdabilidade de alta magnitude foram obtidas para as características reprodutivas como PE365 (0,47) e PG (0,59), indicando que os ganhos para seleção direta para essas características podem ser altos. A estimativa de herdabilidade obtida no presente estudo para PE365 está dentro do limite superior (0,33 a 0,48) reportado para a raça Nelore (CARVALHO FILHO et al., 2020; KLUSKA et al., 2018; NEGREIROS et al., 2022). Para PG, as estimativas de herdabilidade reportadas na literatura para a raça Nelore são inferiores as obtidas no presente estudo, cujos valores variam de 0,18 a 0,23 (BRUNES et al., 2020; SCHMIDT et al., 2019). A estimativa de herdabilidade para IPM foi moderada (0,33), indicando viabilidade de seleção. Esse resultado é semelhante à estimativa obtida por Da Silva Neto et al. (2020), que reportaram herdabilidade de 0,30 para IPM também na raça Nelore. Para 3P, STAY, IPP e PAC as estimativas de herdabilidade foram baixas, de 0,16, 0,13, 0,12 e 0,08, respectivamente. Esses resultados refletem a alta influencia ambiental para essas características. Estimativas de baixa magnitude também foram

relatadas para essas características em estudos anteriores (BONAMY et al., 2019; DA SILVA NETO et al., 2020; KLUSKA et al., 2018; SCHMIDT et al., 2018) na raça Nelore.

As herdabilidades estimadas para as características de carcaça foram classificadas como moderada, cujos valores obtidos foram 0,37, 0,36 e 0,22, para AOL, EG e P8, respectivamente, demonstrando viabilidade de seleção e resposta genética. Resultados semelhantes para AOL, EG e P8 foram reportados na raça nelore por Bonamy et al. (2019) e Kluska et al. (2018), com estimativas variando de 0,17 a 0,34. Para MAR a estimativa de herdabilidade obtida foi baixa (0,17). Outros estudos, também com a raça nelore, exibiram baixas estimativas de herdabilidade para MAR (FEITOSA et al., 2016; MAGALHÃES et al., 2016). No entanto, Bonin et al. (2021) relataram estimativas de herdabilidade variando de 0,12 a 0,30 para MAR em bovinos Nelore.

Tabela 2 - Média posterior e intervalo de densidade de alta probabilidade (HPD) para herdabilidade direta com os respectivos desvios padrões ($h^2 \pm sd$) e HPD para herdabilidade materna e os desvios padrões ($hm^2 \pm sd$) para facilidade de parto, características reprodutivas, de crescimento, carcaça e indicadores de eficiência alimentar em bovinos Nelore

Característica	$h^2 \pm sd$	HPD		$hm^2 \pm sd$	HPD m	
		upper	lower		upper	lower
FP	0,27 ± 0,08	0,43	0,12	0,19 ± 0,07	0,33	0,07
3P	0,16 ± 0,03	0,21	0,12			
IPM	0,33 ± 0,05	0,42	0,24			
IPP	0,08 ± 0,01	0,10	0,07			
PAC	0,12 ± 0,01	0,14	0,09			
PE365	0,47 ± 0,02	0,51	0,43			
PG	0,59 ± 0,01	0,61	0,57			
STAY	0,13 ± 0,01	0,16	0,11			
ALT	0,32 ± 0,04	0,39	0,26			
FRAME	0,35 ± 0,03	0,41	0,3			
P210	0,18 ± 0,01	0,21	0,16	0,11 ± 0,21	0,12	0,09
P450	0,39 ± 0,03	0,41	0,36			
PAV	0,34 ± 0,03	0,39	0,29			
PN	0,24 ± 0,02	0,27	0,21	0,04 ± 0,01	0,05	0,0
AOL	0,37 ± 0,01	0,39	0,35			
EG	0,22 ± 0,01	0,24	0,21			
P8	0,36 ± 0,01	0,38	0,34			
MAR	0,29 ± 0,02	0,33	0,25			
CAR	0,17 ± 0,02	0,22	0,13			
IMS	0,32 ± 0,03	0,38	0,26			

FP= facilidade de parto; 3P= probabilidade de parto precoce; IPP= idade ao primeiro parto; ; IPM= idade à puberdade de machos; PAC= produtividade acumulada da vaca; PE365=

perímetro escrotal ajustado ao 365 dias de idade; PG= período gestacional; STAY= stayability; ALT= altura; FRAME= frame score; P210= peso ajustado aos 210 dias de idade; P450= peso ajustado aos 450 dias de idade; PAV= peso adulto da vaca; PN= peso ao nascer; AOL= área de olho de lombo; EG= espessura de gordura subcutânea; P8= espessura de gordura na garupa; CAR= consumo alimentar residual; IMS= ingestão de matéria seca.

Na tabela 3, estão representados os resultados obtidos para estimativas de correlação genética entre os efeitos diretos e maternos entre facilidade de parto e características reprodutivas, de crescimento, carcaça e eficiência alimentar.

Tabela 3 – Média posterior e intervalo de densidade de alta probabilidade (HPD) para correlações genéticas diretas com os respectivos desvios padrões ($rg \pm s.d$) e HPD para correlações genéticas maternas e os respectivos desvios padrões ($rm \pm s.d$) entre facilidade de parto e características relacionadas ao crescimento, reprodução, carcaça e eficiência alimentar em bovinos Nelore

Característica	rg \pm s.d	HPD		rm \pm s.d	HPD m	
		upper	lower		upper	lower
PAC	-0,04 \pm 0,26	-0,55	0,44			
IPP	-0,36 \pm 0,25	-0,71	0,35			
PG	-0,27 \pm 0,14	-0,53	0			
PE365	0,11 \pm -0,11	-0,27	0,49			
IPM	0,24 \pm 0,25	-0,24	0,76			
STAY	0,26 \pm 0,23	-0,14	0,74			
3P	0,49 \pm 0,24	-0,01	0,9			
AOL	-0,08 \pm 0,16	-0,38	0,24			
EG	0,12 \pm 0,12	-0,12	0,36			
P8	0,22 \pm 0,13	-0,02	0,49			
PN	-0,66 \pm 0,13	-0,9	-0,4	-0,20 \pm 0,21	-0,65	0,16
P210	-0,31 \pm 0,13	-0,59	-0,08	-0,03 \pm 0,11	-0,25	0,18
PAV	-0,27 \pm 0,27	-0,72	0,18			
P450	-0,25 \pm 0,15	-0,53	0,03			
FRAME	-0,2 \pm 0,17	-0,55	-0,55			
ALT	0,11 \pm 0,26	-0,42	0,55			
IMS	-0,3 \pm 0,21	-0,69	0,14			
CAR	0,14 \pm 0,25	-0,36	0,62			
MAR	-0,04 \pm 0,18	-0,38	0,32			

3P= probabilidade de parto precoce; IPP= idade ao primeiro parto; IPM= idade à puberdade de machos; PAC= produtividade acumulada da vaca; PE365= perímetro escrotal ajustado ao 365 dias de idade; PG= período gestacional; STAY= stayability; ALT= altura; FRAME= frame score; P210= peso ajustado aos 210 dias de idade; P450= peso ajustado aos 450 dias de idade; PAV= peso adulto da vaca; PN= peso ao nascer; AOL= área de olho de lombo; EG= espessura de gordura subcutânea; P8= espessura de gordura na garupa; CAR= consumo alimentar residual; IMS= ingestão de matéria seca;

A estimativa de correlação genética entre FP e características reprodutivas das fêmeas foram de moderada magnitude, 3P (0,49) e IPP (-0,36), sugerindo que a seleção para maior precocidade sexual e antecipação de partos em novilhas pode aumentar a incidência de problemas ao parto nessa categoria. A menor idade ao primeiro parto de novilhas também foi relacionada a maior dificuldade de parto do que as parições posteriores, tanto em bovinos de corte quanto de leite (NIX et al., 1998; MEYER et al., 2001; LÓPEZ-PAREDES et al., 2018; STEINBOCK et al., 2003; UEMATSU et al., 2013). A relação genética entre essas características foi confirmada também em estudos de associação genômica em novilhas Nelore, tendo sido relatado SNPs com efeito na IPP abrigaram também QTLs associados a facilidade de parto, indicando que há relações biológicas entre facilidade de parto e precocidade sexual (MOTA et al., 2020). Esses resultados demonstram que a seleção para precocidade sexual de fêmeas está geneticamente associada à ocorrência de problemas ao parto, o que traz consequências negativas para a fertilidade, reforçando assim a importância da seleção para facilidade de parto como critério auxiliar de seleção, principalmente, em rebanhos que fazem seleção para precocidade sexual

Para as outras características reprodutivas consideradas no estudo, as correlações genéticas com FP foram de baixa magnitude. A correlação genética entre FP e IPM foi positiva e de baixa magnitude (0,24), indicando que a seleção para redução da idade à puberdade de machos tem pouca associação com a ocorrência de maiores problemas ao parto. A correlação genética estimada entre FP e PE365 foi de 0,11, indicando que seleção para perímetro escrotal aos 12 meses de idade não interfere na facilidade de parto. A correlação genética obtida entre FP e STAY (0,26) também foi baixa e positiva, indicando que a ocorrência de problemas ao parto não trará alto efeito na longevidade das vacas. Ainda assim, estudos em bovinos de corte e leite relataram que a ocorrência de dificuldades ao parto em novilhas com intervenções ao parto, impactou negativamente a longevidade, o que desencadeou maior probabilidade de abate e menor longevidade do rebanho (SEWALEM et al., 2006; ROGERS et al., 2004). A correlação entre FP e PAC foi de baixa magnitude, próxima a zero (-0,04), indicando ausência de associação genética entre FP e produtividade acumulada da vaca, assim a ocorrência de problemas ao parto não necessariamente inviabiliza a produtividade das vacas.

A correlação genética entre FP e PG foi de baixa magnitude (-0,27), indicando baixa associação genética entre duração da gestação e FP. A magnitude obtida está

de acordo com estimativas relatadas na literatura. Kemp et al. (1988) Burfering et al. (1986) e Jamrozik e Miller (2014) reportaram baixas estimativas de correlação genética entre duração da gestação e FP (-0,06, 0,12 e -0,21), respectivamente. Já no estudo de Mujibi e Crews (2009) foi analisado correlação genética direta entre FP com PG e PN, e obtiveram valores de -0,38 e 0,43, indicando que gestações mais longas são associadas com maior peso ao nascer. No entanto, no presente estudo as estimativas obtidas para PG não foram de alta magnitude, assim não há sugestão de interferência do comprimento gestacional na facilidade de parto.

A FP apresentou correlações genéticas negativas e magnitude moderada com PN direto (-0,66) e baixa com PN materno (-0,20). A moderada correlação genética direta obtida entre FP e PN é favorável do ponto de vista de seleção, uma vez que a seleção para menor peso ao nascimento pode proporcionar redução na incidência de partos distócicos. As correlações genéticas para PN obtida nesse estudo está dentro das estimativas relatadas por outros autores. MCGUIRK; GOING; GILMOUR (1999) apresentaram, para raça Holandesa, alta estimativa de correlação genética entre peso ao nascer e a ocorrência de distocia de 0,81. Já em estudos com bovinos de corte de raças compostas, Bennett e Gregory (2001) obtiveram correlações genéticas entre escores de dificuldade de parto e PN de efeito direto de 0,81 e efeito materno de 0,34. Eriksson et al. (2004a) através de análises bivariadas obtiveram correlações genéticas entre peso ao nascer e dificuldade de parto direta de 0,62 e 0,71 e maternal de 0,46 e -0,28, para Charolês e Hereford, respectivamente. Outras estimativas também foram propostas na literatura para bovinos de corte. Mujibi e Crews (2009) apresentaram, para bovinos da raça Charolês, correlação genética entre PN e FP (transformada em escores de Snell) de -0,93 para efeitos diretos e -0,69 para maternos. Para bovinos da raça Simental, foram relatadas estimativas de correlação genética direta entre PN e FP de 0,67 a -0,85 (JAMROZIK; MILLER, 2014; SAAD et al. 2020). A partir das estimativas analisadas na literatura e os resultados obtidos no presente estudo, tem-se a justificativa da adoção da característica PN como critério indicativo de distocias. Porém, apesar da moderada correlação genética com FP (-0,66), a estimativa não é suficientemente alta para poder afirmar que a característica PN pode substituir ou ser uma característica indicadora de FP. Além disso, em condições extensivas, o peso ao nascer é uma característica que envolve maior dificuldade para obtenção do fenótipo, pois requer uso de balança, enquanto que a FP é uma medida observacional. Assim, é possível inferir que a facilidade de parto é

um componente importante a ser considerado na seleção para redução de problemas ao parto da raça Nelore.

Para desempenho à desmama, as estimativas foram de baixa a moderada magnitude. Correlação genética direta obtida entre FP e P210 foi de -0,31, já para os efeitos maternos a correlação foi de 0,03. Bennett e Gregory (2001) para raças compostas, apresentaram maiores estimativas de correlações genéticas diretas entre os escores de dificuldade de parto com peso à desmama e ganho pós-desmame de 168 dias (0,41 e 0,36, respectivamente). Já Phocas e Laloe (2004) estimaram parâmetros genéticos entre dificuldade de parto e peso a desmama para raças de corte especializadas (Charolês, Limousin, Blonde D'Aquitaine e Maine Anjou) e obtiveram estimativas de correlações genéticas de moderada magnitude para efeitos diretos (0,30 a 0,40) e para os efeitos maternos (0,30). Os resultados do presente estudo e dos estudos anteriores, sugerem moderada associação genética entre maior peso à desmama e ocorrência de dificuldade ao parto. Já a correlação genética maternal entre FP e P210 foi de baixa magnitude, próxima a zero, indicando baixa influência do componente maternal de peso à desmama na FP. Bennett et al. (2021) analisaram animais selecionados para facilidade de parto, e obtiveram que bezerros da linha selecionada foram amamentados por mais tempo e ganharam 10% a mais peso do que os bezerros da linha controle.

Para as demais características de crescimento, as estimativas foram de baixa magnitude. A correlação genética estimada entre FP e P450 foi -0,25 e com PAV de -0,27, indicando que a seleção para FP não deve influenciar o desempenho de peso pós desmame. Estimativas baixa a moderada de correlação genética entre dificuldade de parto e peso ao sobreano também foram apresentadas por Roughsedge et al. (2005) para 4 raças de bovinos de corte. As estimativas foram de -0,20; 0,46; 0,33 e 0,19 para Aberdeen Angus, South Devon, Limousin e Simental, respectivamente.

Para as características indicativas de tamanho dos animais as estimativas também foram baixas, cujos valores foram -0,20 e 0,11 com frame e ALT respectivamente, sugerindo que a seleção parto facilidade de parto não afetaria o escore corporal e altura dos animais. Os resultados apresentados para as características de crescimento sugerem baixa interferência da seleção para facilidade de parto no desempenho ponderal, assim a seleção para facilidade de parto terá baixa influencia no ganho de peso. Está é uma vantagem da seleção para FP em relação a seleção para baixo PN, a qual pode proporcionar retardo no padrão de crescimento

animal. Uma vez que PN é altamente e favoravelmente correlacionado com peso a desmama e peso ao sobreano (SILVEIRA et al., 2019).

Para as características de carcaça, as estimativas de correlações genéticas também foram de baixa magnitude entre FP e AOL (-0,08), EG (0,12), P8 (0,22) e MAR (-0,04) sugerindo que a seleção para facilidade de parto não afetaria o rendimento de cortes de carnes, nem a deposição de gordura intramuscular, espessura de gordura subcutânea e na garupa. Os resultados apresentados estão em consonância com o estudo de Hosono; Oyama; Inoue (2020), os quais observaram dissociação entre facilidade de parto e características relacionadas à gordura ou AOL. Esses autores estimaram parâmetros genéticos em bovinos de corte japonês para facilidade de parto e obtiveram baixas estimativas entre FP com EG e MAR (0,09 a 0,28), e estimativas próximas a zero entre FP e AOL (0,06 a 0,08). Por outro lado, Bennett et al. (2021) analisaram animais de raça composta de bovinos de corte selecionados para facilidade de parto e a influência da seleção nas características de carcaça, e obtiveram que animais da linhagem selecionada para FP foram mais pesados e ressaltaram 11% a mais de espessura de gordura, indicando maior deposição de gordura na carcaça na linhagem selecionada para FP. Eriksson et al. (2004b) analisaram animais Hereford e Charolês e inferiram que tanto as características de carcaça quanto as relacionadas ao desempenho do parto devem ser incluídas na seleção de gado de corte, uma vez que tais características apresentaram correlações desfavoráveis.

A correlação genética obtida entre FP e CAR foi baixa (0,14), indicando que a seleção para facilidade de parto não interfere na conversão alimentar e no aproveitamento do alimento. Já a correlação genética entre FP e IMS foi moderada (0,30), indicando que animais selecionados para maior FP apresentarão menor consumo alimentar. A ingestão alimentar está correlacionada geneticamente e fenotipicamente com peso corporal (BRUNES et al., 2021), assim, geralmente, animais menores tendem a comer menos. A relação entre eficiência alimentar e desempenho de vacas de corte Irlandesas foi relatado por Crowley et al. (2011), os quais obtiveram baixas estimativas de correlações genéticas entre características de eficiência e dificuldade de parto. A taxa de conversão alimentar e ingestão residual de ração apresentaram estimativas de correlação genética com dificuldade de parto de -0,02 e -0,1, respectivamente.

A facilidade de parto mostrou-se como importante critério de seleção a ser considerado na raça Nelore, principalmente pela relevância e a influência dos efeitos diretos e maternos na expressão dessa característica. Se o intuito da seleção for proporcionar redução de problemas ao parto, a seleção direta para FP é mais eficaz do que a seleção para baixo peso ao nascer. O efeito direto da FP permite selecionar reprodutores para FP, os quais serão pais dos bezerras. Já os efeitos maternos permitem a seleção de touros que serão pais das matrizes, visando selecionar fêmeas com menor incidência de problemas ao parto. Além disso, a associação da seleção para FP com características reprodutivas e de crescimento, pode otimizar a seleção para precocidade sexual, visando maior sucesso dos índices reprodutivos com redução das perdas de desempenho, resultando, simultaneamente, em menor incidência de problemas ao parto e maior taxa de crescimento em idades mais avançadas.

2.4 CONCLUSÃO

As estimativas obtidas para herdabilidade direta e maternal de FP indicam que a seleção para FP é viável. A presença dos efeitos direto e materno na expressão dessa característica permitem a seleção dos reprodutores e matrizes, alcançando assim diferentes objetivos de seleção. As estimativas de correlações genéticas obtidas entre FP e PN, permitem concluir que a seleção exclusiva para baixo peso ao nascer não é indicativo de correspondência para FP, uma vez que a estimativa de correlação genética obtida entre ambas é moderada, e não suficientemente alta para inferir que a característica PN poderia substituir FP. Assim, a adoção desse novo critério seleção para a raça Nelore é capaz de proporcionar redução de problemas ao parto, principalmente em animais precoces, e garantir maiores ganhos em características de crescimento e melhor produtividade, além de ser dissociada com características de carcaça e conversão alimentar.

2.5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES – ABIEC. **Beef Report, Perfil da Pecuária no Brasil**, 2021. Disponível em: <http://abiec.com.br/wp-content/uploads/Sumario_2021_BR_3_8.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2022.

BENNETT, G. L.; GREGORY, K. E. Genetic (co)variances for calving difficulty score in composite and parental populations of beef cattle: I. Calving difficulty score, birth weight, weaning weight, and postweaning gain. **Journal of Animal Science**, v. 79, p. 45-51, 2001.

BENNETT, G. L. et al. Genetic changes in beef cow traits following selection for calving ease. **Translational Animal Science**, v. 5, n. 1, p. 1–10, 2021.

BIF. **Beef Improvement Federation**. Guidelines for uniform beef improvement programs. Athens: 2002.

BOLIGON, A. A.; BALDI, F.; DE ALBUQUERQUE, L. G. Genetic parameters and relationships between growth traits and scrotal circumference measured at different ages in Nelore cattle. **Genetics and Molecular Biology**, v. 34, n. 2, p. 225–230, 2011.

BONAMY, M. et al. Genetic association between different criteria to define sexual precocious heifers with growth, carcass, reproductive and feed efficiency indicator traits in Nelore cattle using genomic information. **Journal of Animal Breeding Genetics**.v.136, p. 15-22, 2019

BONIN, M. DE N. et al. Genetic parameters associated with meat quality of Nelore cattle at different anatomical points of longissimus: Brazilian standards. **Meat Science**, v. 171, n. April 2020, p. 108281, 2021

BRUMATTI, R. C. et al. Desenvolvimento de índice de seleção em gado corte sob o enfoque de um modelo bioeconômico. **Archivos de Zootecnia**, v. 60, n. 230, p. 205–213, 2011.

BRUNES L. C. et al. Selection criteria for feed efficiency-related traits and their association with growth, reproductive and carcass traits in Nelore cattle. **Animal Production Science**, v.61, p. 1633-1642, 2021.

BRUNES, L. C. et al. Genetic-quantitative analysis for reproductive traits in Nelore cattle selected for sexual precocity. **Animal Production Science**, v. 60, n. 7, p. 896-902, 2020.

BURFENING, P.J et al. Calving ease and growth rate of Simmental-sired calves: 1. Factors affecting calving ease and growth rate. **Journal of Animal Science**, v. 46, p. 922–929, 1978

CARVALHO, I. et al. Genetic parameters for fertility traits in Nelore bulls. n. August 2019, p. 38–43, 2020.

CROWLEY, J. J. et al. Genetic relationships between feed efficiency in growing males and beef cow performance. **Journal of Dairy Science**, v. 89, p. 3372-3381. 2011.

DA SILVA NETO, J. B. et al. Genetic correlation estimates between age at puberty and growth, reproductive, and carcass traits in young Nelore bulls. **Livestock Science**, v. 241, n. September, p. 104266, 2020.

EAGLEN, S. A. E.; BIJMA, P. Genetic parameters of direct and maternal effects for calving ease in Dutch Holstein-Friesian cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 92, p. 2229-2237, 2009.

ERIKSSON, S. et al. Genetic parameters for calving difficulty, stillbirth, and birth weight for Hereford and Charolais at first and later parities. **Journal of Animal Science**, v.82, p. 375-383, 2004.

ERIKSSON, S. et al. Genetic relationships between calving and carcass traits for Charolais and Hereford cattle in Sweden. **Journal of Animal Science**, v. 82, n. 8, p. 2269–2276, 2004.

FEITOSA, L. B. et al. Genetic correlation estimates between beef fatty acid profile with meat and carcass traits in Nelore cattle finished in feedlot. **Journal of Applied Genetics**, 2016.

GARNERO, A. DEL V. et al. Comparação entre alguns critérios de seleção para crescimento na raça Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 3, p. 714–718, 2001.

GIANOLA, D.; FOULLEY, J. L. Sire evaluation for ordered. **Genetics Selection Evolution**, v. 15, n. 2, p. 201–224, 1983.

GUIMARÃES, N.C. **Desenvolvimento do novo sistema de frame score para bovinos da raça Nelore e sua associação com características produtivas**. 2020. 156 f. Tese Doutorado, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2020.

HERRERA-OJEDA, J. B. et al. Genetic variances and covariances of live weight traits in Charolais cattle by multi-trait analysis. **Journal of Applied Genetics**, v. 60, n. 3–4, p. 385–391, 2019.

HICKSON, R. E. et al. Profitability of calving heifers at 2 compared with 3 years of age and the effect of incidence of assistance at parturition on profitability. **Animal Production Science**, v. 50, n. 6, p. 354–358, 2010.

HOGAN, L. A. et al. Suckling Behaviour of Beef Calves during the First Five Days Postpartum. **Ruminants**, v. 2, n. 3, p. 321–340, 2022.

HOSSEIN-ZADEH, N. Effect of dystocia on subsequent reproductive performance and functional longevity in Holstein cows. **Journal of animal physiology and animal nutrition**, v. 100, n. 5, p. 860–867, 2016.

HOSONO, M.; OYAMA, H.; INOUE, K. Genetic relationships of calving difficulty with birth measurements and carcass traits in Japanese Black cattle, **Animal Science Journal**, v. 91, n. 1, p. 1–7, 2020.

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

KAMEI, L. M. et al. Genetic parameters of growth traits in Nelore cattle. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, p.1503-1510, 2017.

KEMP, et al. Phenotypic and genetic parameter estimates for gestation length, calving ease and birth weight in simmental cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, p. 291–294, 1988.

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**, v. 216, p. 203–209, 2018.

LÔBO, R.B et al. **Avaliação genética de animais jovens, touros e matrizes**. Ribeirão Preto: Universidade de São Paulo/GEMAC, 2000. 90p.

LOPES, F. B. et al. Bayesian analyses of genetic parameters for growth traits in Nelore cattle raised on pasture. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 3, 2017.

LÓPEZ-PAREDES, J.; PÉREZ-CABAL, M. A.; JIMÉNEZ-MONTERO, J. A.; ALENDA, R. Influence of age at first calving in a continuous calving season on productive, functional, and economic performance in a Blonde d'Aquitaine beef population. **Journal of Animal Science**, v. 96, n. 10, p. 4015-4027, 2018. doi: 10.1093/jas/sky271.

LOURENÇO, J. C. S. et al. Caracterização da distocia em um rebanho de vacas da raça Holandesa no Brasil. **Ciência Animal Brasileira**, v. 23, 2022.

MAGALHÃES, A. F. B. et al. Genome-Wide Association Study of Meat Quality Traits in Nelore Cattle. **PLoS ONE**, v. 11, n. 6, p. 1–12, 2016.

MCGUIRK, B. J.; I. GOING; A. R. GILMOUR. 1 The genetic evaluation of UK Holstein Friesian sires for calving ease and related traits. **Animal. Science**, v.68, p.413-422, 1999.

MENDES E.D.M et al. **Procedimentos para mensuração de consumo individual de alimento em bovinos de corte**. Ribeirão Preto: Associação Nacional de Criadores e Pesquisadores, 2020.

MEYER, C. L. et al. Phenotypic Trends in Incidence of Stillbirth for Holsteins in the United States. **Journal of Dairy Science**, v.84, p.515-523, 2001.

MISZTAL, I. et al. BLUPF90 and related programs (BGF90). IN: 7TH WORLD CONGRESS ON GENETICS APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION, 2002, Montpellier. **Proceedings...** Montpellier, 2002. p.21-22. Communication n 28-07.

MISZTAL I. et al. **Manual for BLUPF90 family of programs**, Universidade da Georgia, 2014. <http://nce.ads.uga.edu/wiki/doku.php?id=documentation>. 2018

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

Mota, L.F.M., Lopes, F.B., Fernandes Júnior, G.A. et al. Genome-wide scan highlights the role of candidate genes on phenotypic plasticity for age at first calving in Nelore heifers. **Scientific Report**, v. 10, p. 6481, 2020.

MRODE, R.A., THOMPSON, R. **Linear Models for the Prediction of Animal Breeding Values**, 2nd ed. Wallingford: CABI, 2005.

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

NEGREIROS, M. P. et al. Selection criteria for frame score and its association with growth-, reproductive-, feed efficiency- and carcass-related traits in Nelore cattle. **Animal Production Science**, 2022

NIX, J. M. et al. A retrospective analysis of factors contributing to calf mortality and dystocia in beef cattle. **Livestock Science**, v.49, p.1515-1523, 1998.

PEDROSA, V. B. et al. Use of weaning management group as a random effect for a more robust estimation of genetic parameters for post-weaning traits in Nelore cattle. **Genetics and Molecular Research**, v. 13, n. 3, p. 7013–7021, 2014.

PHOCAS, F.; LALOE, D. Genetic parameters for birth and weaning traits in French specialized beef cattle breeds. **Livestock Science**, v. 89, p. 121-128, 2004.

ROGERS, P. L. et al. Evaluating longevity of composite beef females using survival analysis techniques. **Journal of Dairy Science**, v. 82, p. 860-866, 2004.

ROUGHSEGE, T. et al. Genetic parameters for a maternal breeding goal in beef production. **Journal of Dairy Science**, v. 83, p. 2319-2329, 2005.
29

SAAD, H. M. et al. Differential response from selection for high calving ease vs. low birth weight in American Simmental beef cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 7, p.1-10, 2020

SCHMIDT, P. I. et al. Genetic analysis of age at first calving, accumulated productivity, stayability and mature weight of Nelore females. **Theriogenology**, v. 108, p. 81–87, 2018.

SCHMIDT, G. S. et al. Genetic analysis of female reproductive efficiency, scrotal circumference and growth traits in Nelore cattle. **Theriogenology**, v. 128, p. 47-53, 2019.

SEWALEM, A. et al. Analysis of the relationship between fertility traits and functional longevity in Canadian Holsteins using a Weibull proportional hazards model. In: **WORLD CONGRESS ON GENETICS APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION**, 2006, Belo Horizonte, 2006.

SILVA, R. P. et al. Genetic parameters and genomic regions associated with calving ease in primiparous Nelore heifers. **Livestock Science**, v.240, p.104283, 2020.

SILVEIRA, D. D. et al. Quantitative study of genetic gain for growth, carcass, and morphological traits of nelore cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 99, n. 2, p. 296–306, 2019.

SILVESTRE, A. et al. Genetic parameters of calving ease in dairy cattle using threshold and linear models. **Italian Journal of Animal Science**, v. 18, n. 1, p. 80–87, 2019.

SMITH, B. J. Bayesian Output Analysis Program (BOA) for MCMC. <http://www.public-health.uiowa.edu/boa>

SORENSEN, D.; GIANOLA, D. **Likelihood, Bayesian, and MCMC Methods in Quantitative Genetics**. New York: Springer, 2002.

STEINBOCK, L. et al. Genetic effects on stillbirth and calving difficulty in Swedish Holsteins at first and second calving. **Journal of Dairy Science**, v. 86, p. 2228-2235, 2003.

UEMATSU, M. et al. Risk factors for stillbirth and dystocia in Japanese black cattle. **The Veterinary Journal**, v.198, p.212-216. 2013.

United States Department of Agriculture. **Foreign Agricultural Service. World supply and distribution online**. <<https://www.fas.usda.gov/commodities>>USDA, 2022

3.CAPÍTULO 2:

Selection criteria for frame score and its association with growth-, reproductive, feed efficiency- and carcass-related traits in Nellore

M. P. Negreiros^{A}, E. Peripoll^B, R. Espigolan^A, M. Londoño-Gil^B, J. D. Rodriguez^B, L. Brunet^C, C. U. Magnabosco^D, N. C. Guimarães^C, R. D. Sainz^{C,E}, A. S. C. Pereira^A, R. B. Lobo^F, F. Baldi^B*

^ADepartment of Animal Science, University of São Paulo (USP), Pirassununga, SP 13635-900, Brazil.

^BDepartment of Animal Science, Sao Paulo State University – Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Jaboticabal, SP 14884-900, Brazil.

^CDepartment of Animal Science, Federal University of Goiás (UFG), Goiânia, GO 75345-000, Brazil.

^DEmbrapa Cerrados, BR-020, 18, Sobradinho, Brasília, DF 70770-90, Brazil.

^EDepartment of Animal Science, University of California, Davis, CA 95616, USA.

^FNational Association of Breeders and Researchers (ANCP), Ribeirão Preto, SP 14020-230, Brazil.

Published in Animal Production Science, doi: <https://doi.org/10.1071/AN22054..>

Received: 19 June 2021, Accepted: 24 May 2022

Abstract

Context: A frame score prediction equation developed specifically for Nellore cattle could be an auxiliary tool to improve mating decisions based on feed resources and production system objectives. Aims: Estimate genetic parameters for frame using a prediction equation developed for Nellore cattle and genetic associations between frame score (FRAME) with growth, reproductive, carcass, feed efficiency-related traits and five bioeconomic indexes. Methods: Birth weight (BW), adjusted weight at 120 (W120), 210 (W210) and 450 (W450) days of age, adult eight (AW), age at first calving (AFC), probability of precocious calving (PPC30), stayability (STAY), accumulated cow productivity (ACP), adjusted scrotal circumference at 365 (SC365) and 450 (SC450) days of age, rib eye area (REA), subcutaneous backfat thickness (BFT), rump fat thickness (RFT), intramuscular fat percentage (IMF), residual feed intake (RFI) and dry matter intake (DMI) were included in the analyses. Frame score was calculated using the Multiple Linear Regression (MLR) prediction method. The estimation of genetic parameters was performed using a linear animal model, except for PPC30 and STAY, which were estimated through a threshold animal model. The correlated response in

FRAME considering selection for growth, reproductive, carcass and feed efficiency-indicator traits were obtained in the context of single-trait selection and a multiple trait context. Key results: Heritability estimated for FRAME was moderate (0.30 ± 0.09). Frame score showed moderate genetic correlations with growth traits, BW (0.51 ± 0.08), adjusted weight at 120 (0.41 ± 0.07), 210 (0.35 ± 0.07) and 450 (0.29 ± 0.08) days of age. The genetic correlation estimates between FRAME and RFT was high (-0.84 ± 0.02), but low with ACP (0.25 ± 0.08) and RFI (0.10 ± 0.13). In the single-trait and multi-trait contexts, there was a lower correlated gain for FRAME when the selection was applied for traits commonly measured in beef cattle breeding programs. Conclusion: Selection to increase growth traits would lead to an increase in frame size and herd nutritional requirements and it would reduce the carcass fatness level and early heifer sexual precocity. FRAME could be an alternative trait to monitor calf birth weight. Implications: Selection for FRAME is feasible, and the most suitable frame score value depends on the production system objectives and feed resources

Keywords: animal size, *Bos indicus*, beef cattle, fertility, genetic parameters, genetic correlation, response to selection, selection indexes.

3.1 INTRODUCTION

Frame score is defined as a numerical and categorical descriptor, ranging from one to nine, to evaluate the animal's skeletal size reflecting growth patterns, carcass composition, and potential mature size (BIF - Beef Improvement Federation 2002). It is frequently used as information additional to the animal's liveweight and other performance records to meet the herd nutritional requirements with feed resources, production-system objectives, and market endpoints (MOTA et al., 2015). Large frame cattle tend to be heavier at all ages with a higher muscle: fat ratio and growth potential, producing leaner carcasses, displaying delayed puberty and greater mature-cow size. Large-frame animals have higher maintenance-energy requirements and, consequently, may be less resistant to periods of feed deprivation than are moderate- to low-frame animals. It is important to emphasize that in tropical and subtropical regions, beef cattle production is characterized by low-input and extensive systems with pasture-based feeding, with high levels of environmental variation inducing challenges and constraints not normally posed to animals in more intensive feeding environments. Therefore, the use of moderate- to low-frame animals is desirable in limited-resource production systems and environments (JENKINS; FERRELL, 2002).

There is a growing concern regarding the selection for higher growth rates and liveweight at young ages and their impacts on mature size, carcass composition, fertility and herd productivity. In this regard, published reports of unfavorable genetic correlations between female liveweight and reproductive traits and stayability suggest that cow productivity would decline as a correlated response to selection for growth traits (MWANSA et al., 2002; BALDI et al., 2008; BERRY; EVANS, 2014). Vargas et al. (1999) observed an unfavorable impact of large frame size on the sexual puberty and female's reproductive efficiency in Brahman (*Bos taurus indicus*) cattle reared under tropical conditions. Hence, selection criteria for beef cattle should be based not only on growth-related traits or final animal size, but should encompass several traits, including carcass composition, sexual precocity, feed efficiency, adaptation, and temperament-related traits (VICENTE et al., 2015).

Frame score standards have been proposed for taurine cattle (*Bos taurus taurus*; BIF – Beef Improvement Federation 2002); however, they may not be applicable to predict frame score in Nellore cattle (*Bos taurus indicus*), since Nellore cattle are taller at similar weights or ages than are taurine cattle. In this regard, Horimoto et al. (2007) proposed frame score equations for Nellore cattle, including height (cm), weight (kg), and age of the animal measured at 18 months of age, and compared those to the frame score equations recommended by the BIF – Beef Improvement Federation (2002). The authors reported higher heritability estimates and phenotypic variance for frame score by using the equations developed for Nellore cattle than estimates obtained with the BIF equation for taurine cattle. Recently, Guimarães (2020) proposed a novel frame score prediction equation for Nellore cattle, with values ranging from 1 to 12, and by considering height, age, and ultrasound records (i.e. Longissimus dorsi muscle area, backfat, and rump fat deposition) so as to calibrate frame scores to ideal carcass weight and fatness in Brazil.

The development of a frame score prediction equation specific for Nellore cattle could be an auxiliary tool to improve mating and culling decisions on the basis of feed resources, production-system objectives, and productive potential related to precocity, growth, and fertility-related traits. However, studies aimed at quantifying the genetic associations between frame score and growth-, reproductive-, carcass-, and feed efficiency-related traits in Nellore beef cattle are scarce. This information is essential to evaluate the feasibility of frame score as a large-scale selection criterion in Nellore cattle breeding programs. Moreover, many livestock breeding programs use multi-trait selection approaches using selection indexes for breeding stock, and there is concern

about the impact of multi-trait selection approaches for productive traits on animal frame size. Therefore, the objective of the present study was to estimate (co)variance components and genetic parameters for growth-, reproductive-, carcass-, feed efficiency-related traits and frame score in Nellore cattle. Additionally, the direct and correlated responses to selection for frame score were estimated using single-trait and multi-trait approaches, applying five commercial selection indexes for cow–calf, backgrounding and fattening systems.

3.2 MATERIALS AND METHODS

3.2.1 Data

Phenotypic records from approximately 400 000 Nellore animals born between 2010 and 2017 comprising growth-, reproductive-, feed efficiency-, and carcass-related traits were used. These animals belonged to 18 farms located in four Brazilian geographical regions (Midwest, Southeast, Northeast, and North). Animals were raised in pasture-based production systems, with or without the use of creep feeding and supplementation. The mating season occurred from February to April and mid-November to January. Artificial insemination, controlled breeding, and multiple breeding systems were used, with a bull cow ratio of 1:30. The females were exposed to reproduction at 10–14 months of age in an average 3-month breeding season. Heifers were evaluated for pregnancy by rectal palpation roughly 60 days after the end of the breeding season, and those that did not conceive were exposed again at 2 years of age. The pedigree contained information from 644 256 animals born between 1990 and 2018, including 16 283 sires and 180 995 dams from eight generations.

3.2.2 Traits

The growth traits considered were birth weight (BW), adjusted weights at 120 (W120), 210 (W210) and 450 (W450) days of age, and adult weight (AW), all in kilograms. For reproductive traits, the age at first calving (AFC, months), probability of precocious calving (PPC30, %), stayability (STAY, %), accumulated cow productivity (ACP, kg calf weaned/cow.year), and adjusted scrotal circumference (cm) at 365 (SC365) and 450 (SC450) days of age, were considered. The rib eye area (REA, cm²), subcutaneous backfat thickness (BFT, mm), rump fat thickness (RFT, mm), and intramuscular fat (IMF, %) carcass traits were also considered. For feed efficiency-related traits, residual feed intake (RFI, kg of dry matter/day) and dry-matter intake (DMI, kg/day) were used.

The number of records and descriptive statistics for the studied traits are shown in Table 1.

Table 1 - Numbers of contemporary groups (NCG), records (NOBS) and descriptive statistics for growth-, reproductive-, feed efficiency- and carcass-related traits in Nellore cattle.

Trait	NOBS	N sires	N dams	NCG	Mean \pm s.d.
PN	46807	656	19100	1595	33.60 \pm 4.64
P120	157636	2582	63609	5345	129.92 \pm 20.47
P210	135135	1965	60701	4590	190.40 \pm 31
P450	73739	1382	53559	2491	283.20 \pm 54.31
PAV	44507	2538	28561	2101	476.44 \pm 76.22
PE365	125423	1805	59076	6613	20.74 \pm 2.6
PE450	127693	1815	59124	6858	23.71 \pm 3.35
IPP	188743	2151	87159	7667	36.99 \pm 59.32
3P	48938	1421	23639	1251	41.0 \pm 20.1%
STAY	104610	2125	66475	3632	37.0 \pm 18.3%
PAC	96824	2075	59158	3971	144.02 \pm 32.68
AOL	85271	1737	36807	5563	55.88 \pm 11.99
EG	90783	1801	37205	5671	2.86 \pm 1.86
MAR	26579	802	12278	1026	1.55 \pm 1.54
P8	90578	1790	36989	5671	3.97 \pm 2.45
IMS	6645	566	3035	156	8.16 \pm 1.89
CAR	6633	560	3015	156	0.00 \pm 0.66
FRAME	12049	1226	8435	920	5.40 \pm 2.056

FRAME, frame score; ACP, cow accumulated productivity; BW, birth weight; W120, weight at 120 days of age; W210, weight at 210 of age; W450, weight at 450 days of age; AW, adult weight; SC365, scrotal circumference at 365 days of age; SC450, scrotal circumference at 450 days of age; AFC, age first calving; PPC30, probability of precocious calving at 30 months of age; STAY, stayability; REA, rib eye area; BFT, subcutaneous backfat thickness; IMF, intramuscular fat %; RFT, rump fat thickness; DMI, dry-matter intake; RFI, residual feed intake; s.d., standard deviation.

For W120, W210, W450 and ACW, weights ranging from 90 to 150, 165 to 255, 405 to 495 days age and from 2 to 16 years of age were considered respectively. The standardized weights were calculated from a linear regression considering the average daily gain assessed from 90 to 150, 165 to 255, 405 to 495 days of age for W120, W210, W450 respectively. Heifers evaluated for sexual precocity were exposed to reproduction in the weaning year. Heifers that had pregnancy confirmed and calved up to 30 months of age had their phenotypes categorized as a success (2), or otherwise as failure (1). For STAY, dams with at least three calvings at 76 months of age had their phenotypes categorized as success (2), or otherwise as failure (1). The ACP was calculated to express the annual cow productivity, as the average weight of the weaned

calf over time integrates sexual precocity, maternal ability, and reproductive periodicity of the cow.

Body composition or carcass traits were recorded on live animals at an average age of 485 ± 155 days by ultrasound using ALOKA 500V equipment with a 3.5 MHz linear probe. The animals were scanned for REA and BFT between the 12th and 13th ribs, and RFT was measured at the junction of the Gluteus medius and Biceps femoris muscles, between the ileum and ischium. The IMF was measured from a longitudinal arrangement of the transducer over the 12th and 13th ribs.

To obtain the feed efficiency-related traits, the animals were held in individual pens or in group pens equipped with automated feed-intake measurement systems (GrowSafe® or Intergado®). In the group pens, the number of animals varied from 26 to 226 animals per pen and the number of animals per trial with individual pens varied from 20 to 50 animals. In total, 125 feed-efficiency tests were performed between 2011 and 2018. During the tests, animals were kept in the test for 70 days, preceded by a period of 21 days for adaptation, and the average weight of each animal was obtained by periodic manual weighing or by automated weighing platforms (Intergado®). The animals were evaluated under similar management and environmental conditions in the feedlot with an average of 423 ± 122 days of age at the beginning of the tests.

The diets offered over the years differed in composition and ingredients but were formulated on the basis of silage and commercial concentrate, with an average of 64% total digestible nutrients (TDN), 13% crude protein (CP), 76% dry matter (DM), and formulated for gains of 1.2 kg/day. To ensure ad libitum feed intake, food supply was adjusted daily, allowing refusals varying from 5 to 10% of offered.

The following feed intake records were not considered in the analyses: days when animals were handled outside of facilities for many hours, equipment failure and when no refusals were found. Dry matter percentage was determined from weekly samples of offered feed and refusals. The average daily gain (ADG) in each test was considered as the linear regression coefficient of body weight on days in test (DIT):

$$y_{ij} = \alpha + \beta \times DIT + \varepsilon_i$$

where y_{ij} is the weight of the i^{th} animal on the j^{th} day; α is the intercept of the regression equation which represents the initial weight; β is the linear regression coefficient which represents the ADG; DIT_i is the day in the performance test of the i^{th} observation; and ε is the error associated with each observation.

The DMI (kg/day) was obtained by calculating the average daily intake values during the test period. In

individual stalls, this parameter was calculated as the difference between the dry matter offered and the refusal. In group pens, the DMI was calculated from the amount of individually consumed feed automatically recorded by the electronic systems.

Metabolic weight MW ($\text{kg}^{0.75}$) was retrieved from the liveweight and ADG, as follows:

$$MW^{0.75} = [\alpha + \beta \times (DIT / 2)]^{0.75}$$

where MW is the metabolic weight; α is the intercept of the regression equation which represents the initial weight; and β is the linear regression coefficient that represents the ADG, as described and obtained above in estimating ADG.

The RFI was estimated as the residual from a multiple-regression model regressing DMI on ADG and MW^{0.75}, in the following model:

$$y = \beta_0 + \beta_1 ADG + \beta_2 MW + \varepsilon$$

where, y is the individual DMI; β_0 is the intercept; β_1 and β_2 are the linear regression coefficients for ADG and MW, respectively; and ε is the residual error (i.e., RFI).

The prediction equation for frame score developed by Guimarães (2020) was applied to calculate the animal frame score, using a multiple linear regression prediction method and different equations were applied to males (Eqn 1) and females (Eqn 2), as follows:

$$\begin{aligned} FRAME_{MALES} = & -20.35 + 0.1305 \times REA + 0.2633 \times BFT - 0.5901 \times RFT \\ & + 0.1139 \times HH + 0.0056 \times AGE \quad (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FRAME_{FEMALES} \\ = & -11.87 + 0.1316 \times REA - 0.2457 \times BFT - 0.6218 \times RFT \\ & + 0.1139 \times HH + 0.0009507 \times AGE \quad (2) \end{aligned}$$

where REA, BFT, RFT, HH and AGE are ribeye area (cm^2), subcutaneous backfat thickness (cm), rump fat thickness (cm), hip height (cm) and age (days) at ultrasound measurement respectively

3.2.3 Genetics parameter estimation

For growth and carcass-related traits, the contemporary group (CG) was composed of farm, management group, sex, year and birth season (dry season: April–September,

and rainy season: October–March). For reproductive traits, the CG were composed of farm, year and birth season. For feed efficiency-related traits, the farm, management group, sex, identification of feed-efficiency test, year, and birth season were considered to form the CG. Records within ± 3.5 s.d. of the CG mean were considered in the analysis, and CG with at least four animals were kept for performing the analyses.

The (co)variance components for AFC, BW, W120, W210, W450, AW, SC365, SC450, ACP, REA, BFT, RFT, IMF, RFI, and DMI were estimated considering a bivariate linear animal model:

$$y = X\beta + Zg + Mm + Wmpe + e$$

where, y is a vector of dependent variables; β is a vector of fixed effects, including the CG; g is a vector of random effects of the direct additive genetic effects; m is a vector of random maternal additive effects (only for BW, W120 and W210); mpe is a random maternal effect vector of permanent environment effects (only for BW, W120 and W210); e is a vector of random residual effects; X is the incidence matrix associating β with y ; Z is the incidence matrix associating g with y ; M is the incidence matrix associating m with y , and W is the incidence matrix associating mpe with y . It was assumed that $E(y)=X\beta$. Genetic, maternal, permanent environment, and residual effects were assumed to be normally distributed with mean equal to zero and a covariance structure equal to

$$\text{Var} \begin{bmatrix} \mathbf{g} \\ \mathbf{m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_{g1}^2 & \sigma_{g12} & 0 \\ \sigma_{g12} & \sigma_{g2}^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_m^2 \end{bmatrix} \otimes \mathbf{A} = \mathbf{G}_U \otimes \mathbf{A}$$

$$\text{Var}[\mathbf{mpe}] = \mathbf{I} \times \sigma_{mpe}^2$$

$$\text{Var}[\mathbf{e}] = \mathbf{I} \times \begin{bmatrix} \sigma_{e1}^2 & \sigma_{e12} \\ \sigma_{e12} & \sigma_{e2}^2 \end{bmatrix}$$

where: σ_{g1}^2 and σ_{g2}^2 are the additive genetic variances for trait 1 and trait 2, respectively; σ_{g12} is the additive genetic covariance between trait 1 and trait 2; \mathbf{G}_U is a 3×3 additive genetic and maternal additive genetic variance–covariance matrix and \otimes is the Kronecker product operator; σ_{mpe}^2 is the maternal permanent environmental variance matrix; σ_{e1}^2 and σ_{e2}^2 are the residual variances for trait 1 and trait 2, respectively; σ_{e12} is the residual covariance between trait 1 and trait 2; \mathbf{A} corresponds to the pedigree-based relationship matrix, and \mathbf{I} is the identity matrix. The covariance between direct and maternal genetic effects was set to zero.

The (co)variance components and genetic parameters for PPC30 and STAY were estimated using a threshold animal model (Mrode; Thompson, 2005), assuming an underlying scale with a normal distribution:

$$\mathbf{U}|\theta \sim N(\mathbf{W}\theta, \mathbf{I}\sigma_e^2)$$

where, \mathbf{U} is the vector of the scale with order r (number of animals); $\theta = (\boldsymbol{\beta}, \mathbf{g}, \mathbf{m}, \mathbf{mpe})$ is the parameter vector with order s (number of class); $\boldsymbol{\beta}$ is a vector of fixed effects with order s ; \mathbf{g} is the vector of direct genetic additive effects; \mathbf{m} is the vector of maternal additive effects; \mathbf{mpe} is the vector of maternal permanent environmental effects; \mathbf{W} is the incidence matrix with order $r \times s$; \mathbf{I} is the identity matrix with order $r \times r$; and σ_e^2 is the residual variance. For binary models, the residual variance is fixed in $\sigma_e^2 = 1$ (SORENSEN; GIANOLA, 2002). The link between the base and the subjacent scale was made by the probity link function (GIANOLA; FOULLEY, 1983).

The (co)variance components for the linear traits were obtained by the restricted maximum-likelihood method by using the REMLF90 software (MISZTAL et al., 2002) and applying the average information-restricted maximum-likelihood algorithm by using the AIREMLF90 software (MISZTAL et al., 2002). The (co)variance components for the categorical traits were obtained using the THRGIBBS1F90 software (MISZTAL et al., 2014) by means of 1 000 000 Gibbs sampling iterations generated with an initial burn-in of 50 000 and a thinning interval of 100. Convergence assessment for the parameter estimates was verified by visual inspection of the trace plots and by using Geweke's Diagnostic (GEWEKE, 1992) implemented in the R package Bayesian Output Analysis BOA (SMITH, 2008). Further, the heritability and genetic correlation estimates were computed as the mean of selected Gibbs samples. The heritability estimates were classified as low (below 0.20), moderate (ranging from 0.20 to 0.40) and high (above 0.40), following the recommendation of Bourdon (1997). The genetic and phenotypic correlation estimates were classified as low (below 0.30), moderate (ranging from 0.30 to 0.70) and high (above 0.70), according to the recommendations of Hill (2013).

3.2.4 Correlated response

The correlated responses in FRAME considering selection for growth-, reproductive-, carcass- and feed efficiency-indicator traits were obtained in the context of single-trait selection. The expected response to direct single-trait selection was

estimated for all evaluated traits by using the following equation (FALCONER; MACKAY, 1996):

$$\Delta G_Y = (r_{tiY} \times i_Y \times \sigma_{aY})/GI$$

where ΔG_Y is the genetic gain in Trait Y per generation; r_{tiY} is the accuracy of the genetic prediction of Y obtained as the square root of heritability; i_Y is the intensity of selection for Trait Y; σ_{aY} is the genetic variation obtained as the s.d. of the additive genetic effect in Trait Y; and GI is the generation interval.

The GI assumed for FRAME, SC365, SC450, BW, W120, W210, W450, AW, REA, BFT, RFT, RFI and DMI was 1.5 years. The GI considered for PPC30, AFC, STAY and ACP were 2.5, 2.0, 6.0 and 6.0 years respectively. The GIs were defined by considering the age at evaluation for each trait. For growth, carcass, scrotal circumference, and FRAME traits, a selection intensity equal to 1.2 was considered, corresponding to the selection of 10% and 60% of males and females respectively. To estimate the correlated response for PPC30, STAY and ACP, a smaller number of animals were measured, and thus, a selection intensity equal to 0.875 was used, corresponding to the selection of 20% and 80% of males and females respectively.

For the correlated responses in the context of single-trait selection, the following two scenarios were considered: (1) for traits commonly measured and evaluated (growth, carcass, and scrotal circumference), direct selection was applied, and the correlated responses in FRAME were evaluated; and (2) for traits that have a lower number of phenotypic records and are not usually measured (DMI, RFI, PPC30, STAY, and ACP), direct selection for FRAME was applied, and the correlated responses in such traits were evaluated. The correlated responses were estimated by the following equation (FALCONER; MACKAY, 1996):

$$\Delta G_{Y|X} = (r_{gXY} \times r_{tiX} \times i_X \times \sigma_{aY})/GI$$

where, $\Delta G_{Y|X}$ is the genetic gain per generation in trait Y given selection for X; r_{gXY} is the genetic correlation between X and Y; r_{tiX} is the accuracy of the genetic prediction of X; i_X is the intensity of selection for Trait X; σ_{aY} is the s.d. of the additive genetic effect on Trait Y; and GI is the generation interval. In Scenario 1, the Y traits were growth, scrotal circumference, and carcass, while X was FRAME. In Scenario 2, the Y trait was FRAME, while DMI, RFI, AFC, PPC30, STAY, and ACP were used as X traits. The relative efficiency of selection (RES) was calculated as the ratio between the direct and indirect response to selection, as follows:

$$RES = \frac{\Delta G_Y}{\Delta G_{Y|X}} \times 100$$

Most beef cattle breeding programs use multi-trait selection approaches through selection indexes rather than single-trait selection. Thus, the correlated responses for FRAME using a multi-trait approach were obtained applying five selection indexes for cow–calf, backgrounding and fattening systems. The selection indexes used in the Nelore Brazil breeding program were applied in the multi-trait selection context (Table 2) and are described as follows:

1. MGT_e: total economic genetic merit index for a semi-extensive beef cattle production lifecycle proposed by BALDI et al. (2016). The MGT_e includes the following traits and their respective weights (%): direct EPD for W450 (24%); EPD for STAY (22%); direct EPD for W210 (16%); EPD for PPC30 (9%); EPD for REA (9%); EPD for AFC (6%); maternal EPD for W120 (3%); maternal EPD W210 (5%); and EPD for SC365 (3%) and SC450 (3%);
2. MGT_eCR: index for semi-intensive cow–calf operations, including the following traits and their respective weights (%): EPD for stayability (34%), EPD for probability of precocious calving (28%); direct EPD for adjusted weight at 210 days of age (25%); maternal EPD for adjusted weight at 210 days of age (8%); and EPD for adjusted scrotal circumference at 365 days of age (5%);
3. MGT_eRE: index for grass-fed semi-intensive backgrounding and finishing systems, including the following traits and their respective weights (%): direct EPD for W450 (59%); EPD for REA (34%); and EPD for RFT (7%);
4. MGT_eCO: index for intensive grain-fed in feedlot for backgrounding and finishing systems of Nelore breed, with a bonus for higher carcass weight and fat thickness. The MGT_eCO includes the following traits and their respective weights (%): EPD for REA (34%); EPD for RFT (22%); EPD for RFI (20%); direct EPD for W450 (14%); and EPD for IMF (10%);
5. MGT_eF1: index for intensive grain-fed in feedlot for backgrounding and finishing systems of crossbred animals (taurine breed × Nelore breed), with a bonus for higher carcass weight and fat thickness. The MGT_eF1 includes the following traits and their respective weights (%): EPD for REA (25%); EPD for RFT (30%); EPD for RFI (17%); direct EPD for W450 (14%); and EPD for IMF (14%).

Table 2- Traits included in the customised selection indexes and their respective weights (%)

Trait	MGT _e	MGT _e CR	MGT _e RE	MGT _e CO	MGT _e F1
AFC	6.00				
PPC30	9.00	28.00			
SC365	3.00	5.00			

SC450	3.00				
STAY	22.00	34.00			
MA120	3.00				
MA210	5.00	8.00			
W210	16.00	25.00			
W450	24.00		59.00	14.00	14.00
REA	9.00		34.00	34.00	25.00
BFT			7.00	22.00	30.00
IMF				10.00	14.00
RFI				20.00	17.00

MGT_e, index of total economic genetic merit for beef cattle production and lifecycle; MGT_{eCR}, index for semi-intensive cow–calf operation; MGT_{eRE}, index for grass-fed semi-intensive backgrounding and finishing system; MGT_{eCO}, index for intensive grain-fed in feedlot for backgrounding and finishing system of Nelore breed, with a bonus for higher carcass weight and fat thickness; MGT_{eF1}, index for intensive grain-fed in feedlot for backgrounding and finishing system of crossbred animals (taurine breed × Nelore breed), with a bonus for higher carcass weight and fat thickness; AFC, age first calving; PPC30, probability of precocious calving at 30 month of age; SC365, scrotal circumference at 365 days of age; SC455, scrotal circumference at 450 days of age; STAY, stayability; MA120, maternal milk ability at 120 days of age (maternal component of weight at 120 days of age); MA210, maternal milk ability at 210 days of age (maternal component of weaning weight); W210, weight at 210 days of age; W450, weight at 450 days of age; REA, rib eye area; BFT, subcutaneous backfat thickness; IMF, intramuscular fat %; RFI, residual feed intake; DMI, dry-matter intake.

These five selection indexes were developed using specific bioeconomic models for each production system to calculate the economic values for each trait, according to the methodology proposed by Hazel (1943). For more information about the bioeconomic indexes, see: <https://www.ancp.org.br/programas/conceitos-basicos/mgte-merito-genetico-total-economico>. A deterministic simulation model written in R (R Core Team 2018) was used to predict the direct and correlated genetic gains for FRAME by using the methodology proposed by Rutten et al. (2002) to assess selection responses under a multiple-trait context.

3.3 RESULTS AND DISCUSSION

The variance component and heritability estimates for growth-, reproductive-, feed efficiency- and carcass- related traits are presented in Table 3. The heritability estimated for FRAME was moderate (0.30) and comparable to that reported by Horimoto et al. (2007) (0.26), also working with Nelore cattle but using a prediction equation for frame, including height and weight at 18 months of age. In the same study, the authors reported a moderate heritability estimate (0.24) for frame score by using the formulas recommended by BIF – Beef Improvement Federation (2002). Bonin et al. (2015), using the Nelore cattle-specific equation proposed by Horimoto et al.

(2007), also obtained a moderate heritability for frame score (0.31) for Nellore cattle. Ríos- Utrera et al. (2018) reported a moderate heritability estimate (0.25) for frame score in Charolais and Charbray cattle breeds. Higher heritability estimates for frame score (0.63 and 0.48) were reported by Mercadante et al. (2007) in a single Nellore cattle herd (3948 animals) by using the BIF equations (BIF – Beef Improvement Federation 2002). The heritability estimated for FRAME in this study indicates that selection based on frame score is feasible.

Table 3 - Estimates of additive genetic (σ^2_a); residual (σ^2_e); maternal genetic (σ^2_m); maternal permanent environmental (σ^2_{mpe}) variances; maternal heritability (h^2_m) and direct heritability (h^2), for growth, reproductive, carcass and feed efficiency indicator traits in Nellore cattle.

Traits ¹	σ^2_a	σ^2_m	σ^2_{mpe}	σ^2_e	$h^2 \pm SD$	$h^2_m \pm SD$
BW	2.23	0.32	0.96	7.40	0.20±0.06	0.03±0.01
W120	32.76	19.70	42.15	132.38	0.14±0.05	0.09±0.02
W210	68.26	36.58	89.49	247.78	0.15±0.07	0.08±0.02
W450	203.69			575.27	0.26±0.10	
AW	821.60			2199	0.27±0.12	
SC365	1.07			1.91	0.36±0.02	
SC450	1.86			3.10	0.38±0.02	
AFC	1.71			20.31	0.08±0.02	
PPC30	0.38			1.00	0.28±0.02	
STAY	0.20			1.00	0.17±0.02	
ACP	70.92			511.97	0.12±0.03	
REA	10,734			24,822	0.30±0.03	
BFT	0.15			0.76	0.17±0.02	
IMF	0.05			0.24	0.16±0.02	
RFT	0.37			1.09	0.25±0.03	
DMI	0.23			0.61	0.28±0.06	

RFI	0.09	0.36	0.19±005
FRAME	0.47	1.09	0.30±0.09

FRAME, frame score; ACP, cow accumulated productivity; BW, birth weight; W120, weight at 120 days of age; W210, weight at 210 of age; W450, weight at 450 days of age; AW, adult weight; SC365, scrotal circumference at 365 days of age; SC450, scrotal circumference at 450 days of age; AFC, age first calving; PPC30, probability of precocious calving at 30 months of age; STAY, stayability; REA, rib eye area; BFT, subcutaneous backfat thickness; IMF, intramuscular fat %; RFT, rump fat thickness; DMI, dry-matter intake; RFI, residual feed intake; s.d., standard deviation.

The direct heritability estimate was moderate for W450 (0.26) and low for W120 (0.14) and W210 (0.15). Higher heritability estimates for weaning (0.23 and 0.46) and yearling weight (0.49 and 0.49) were reported by Knights et al. (1984) and Yokoo et al. (2010) for Angus and Nellore cattle respectively, and similar for yearling weight (0.22 ± 0.025) in Brangus cattle (NESER et al., 2012). According to Mercadante et al. (2007), direct selection for post-weaning growth traits evaluated in Nellore cattle is feasible. Maternal heritability and maternal permanent environmental effects estimated for W120 and W210 were low (0.09 and 0.08 respectively), indicating that gains by direct selection for these traits should be low. Additionally, maternal effects are difficult to improve since maternal weaning weight EPD is expressed in the weaning weight of a bull's grand-progeny.

The heritability estimates for scrotal circumference were moderate (0.36 and 0.38 for SC365 and SC450 respectively), and similar to those previously reported for Nellore cattle (KLUSKA et al., 2018; DA SILVA NETO et al., 2020). For PPC30 (0.28) and STAY (0.17), the heritability estimates were moderate and low respectively, like those reported in previous studies for Nellore cattle (BONAMY et al., 2019; DA SILVA NETO et al. 2020). The estimated heritability for AFC was low (0.08), a value similar to those reported in previous studies in Nellore cattle, ranging from 0.08 to 0.16 (KLUSKA et al., 2018; DA SILVA NETO et al., 2020).

The heritability estimates for REA (0.30) and RFT (0.25) were moderate and higher than that obtained for BFT (0.17). These results agreed with those reported by Kluska et al. (2018), namely 0.34, 0.33 and 0.17 for REA, RFT and BFT respectively, also in Nellore cattle. For REA, BFT and RFT, similar heritability estimates have been reported in the literature for Nellore cattle (CAETANO et al., 2013; GORDO et al., 2018). The estimated heritability for IMF was low (0.16), and lower than those reported in the literature for Zebu animals (TONUSSI et al., 2015; MAGALHÃES et al., 2016).

The genetic and phenotypic correlation estimates among growth-, reproductive-

, feed efficiency- and carcass-related traits are presented in Table 4. The genetic correlation estimated between FRAME and BW was positive and moderate (0.51). The BW is an economically important trait in beef cattle and is associated with growth, structure, and calving difficulty (UTSUNOMIYA et al., 2013). Johanson and Berger (2003) reported a 13% increase in probability of dystocia per kilogram increment of birth weight. The FRAME could be applied as a selection criterion to monitor BW and avoid dystocia due to excessive calf size or birth weight, since the measurement of BW is sometimes not feasible in extensive production systems or it generates additional management needs during calving season.

Table 4 - Genetic (rg) and phenotypic (rp) correlation estimates with their respective standard deviation (\pm s.d.) between frame score and growth-, reproductive-, carcass- and feed efficiency-indicator traits in Nellore cattle

Traits	rg \pm s.d	rp \pm s.d.
BW	0.51 \pm 0.08	0.15 \pm 0.04
W120	0.41 \pm 0.07	0.21 \pm 0.04
W210	0.35 \pm 0.07	0.13 \pm 0.03
W450	0.29 \pm 0.08	0.13 \pm 0.04
AW	0.39 \pm 0.08	0.12 \pm 0.04
SC365	0.06 \pm 0.07	0.08 \pm 0.03
SC450	0.04 \pm 0.07	0.08 \pm 0.03
AFC	0.18 \pm 0.09	0.03 \pm 0.02
PPC30	-0.24 \pm 0.08	-0.11 \pm 0.05
STAY	0.06 \pm 0.12	0.03 \pm 0.04
ACP	0.25 \pm 0.08	0.06 \pm 0.03
REA	0.50 \pm 0.04	0.26 \pm 0.04
BFT	-0.25 \pm 0.10	-0.004 \pm 0.01
IMF	-0.15 \pm 0.08	-0.06 \pm 0.03
RFT	-0.84 \pm 0.02	-0.32 \pm 0.05
DMI	0.29 \pm 0.11	0.11 \pm 0.04
RFI	0.10 \pm 0.13	-0.02 \pm 0.02

FRAME, frame score; ACP, cow accumulated productivity; BW, birth weight; W120, weight at 120 days of age; W210, weight at 210 days of age; W450, weight at 450 days of age; AW, adult weight; SC365, scrotal circumference at 365 days of age; SC450, scrotal circumference at 450 days of age; AFC, age first calving; PPC30, probability of precocious calving at 30 months of age; STAY, stayability; REA, rib eye area; BFT, subcutaneous backfat thickness; IMF, intramuscular fat %; RFT, rump fat thickness; DMI, dry-matter intake; RFI, residual feed intake

The estimated genetic correlation between FRAME and W120 was positive and moderate (0.41), indicating that selection to increase pre-weaning weight would lead

to increased frame size in Nellore cattle. For growth traits assessed after weaning, the genetic correlations with FRAME were moderate to low (0.35 and 0.29 for W210 and W450 respectively). Higher genetic correlation estimates between frame score and post-weaning growth traits have been reported in the literature. Horimoto et al. (2007) obtained a moderate genetic correlation estimate (0.40) between frame score and weaning weight in Nellore cattle. Similarly, Ríos-Utrera et al. (2018) obtained a moderate genetic correlation (0.41) between frame score and yearling weight in Charolais and Charbray cattle. In those studies, a moderate genetic correlation was obtained between frame score and adult cow weight (0.39), suggesting that selection for higher frame score would increase the adult cow weight. In the present study, the genetic correlation estimates between growth traits and FRAME were moderate to low, suggesting that selection to increase growth traits after weaning would not affect the frame size in the short term.

The genetic correlation obtained between RFI and FRAME was low (0.10), indicating that selection for frame size would not affect the feed efficiency. A low and positive genetic correlation between DMI and FRAME was obtained (0.29), thus selection to increase the frame size would lead to increased nutritional requirements and feed intake. Vargas Jurado et al. (2015) compared the feed intake among Angus crossbred heifers with different ages and frame sizes and reported that heifers with a larger frame size displayed a higher DMI at all ages ($P < 0.05$). According to Walker et al. (2015), the typical perception that larger animals are less efficient is not appropriate. The results of our study indicated independence between frame score and feed efficiency, so that even though large frame-score cattle were associated with a higher feed intake, they were not necessarily less efficient.

A moderate genetic correlation between FRAME and REA (0.51) was obtained, indicating that selection to increase FRAME would lead to improvements in carcass cut yield and commercial value (MOTA et al., 2015). Low genetic correlation estimates between FRAME and IMF (-0.15) and BFT (-0.25) were achieved, suggesting that selection for larger-frame animals, in the short term, would not affect intramuscular fat deposition and subcutaneous backfat thickness. Reuter Pas et al. (2011) evaluated the performance and profitability of a commercial herd composed of *Bos taurus* cattle, and reported that as frame score increased, the REA also increased and IMF decreased linearly. The estimated genetic correlation between FRAME and RFT was high and negative (-0.83), indicating that selection for higher FRAME would decrease the RFT. Reports by other authors in the literature corroborate our results, where

selection to increase body structure resulted in animals with later maturation and lower fat deposition (RILEY et al., 2002). Berg and Butterfield (1976) hypothesized that the muscles and body shape create variable pressures and that the hindquarter intermuscular fat depot is more resistant to increase than is the forequarter depot, resulting in a shift forward of intermuscular fat as fattening progresses. Subcutaneous fat depots expand under the skin in the less resistant areas, gradually resulting in the overall smooth appearance of very fat animals; thus, the rump fat thickness is a more appropriate trait to assess the pattern of finishing precocity.

For reproductive traits, the genetic correlations between FRAME and SC365 and SC450 were close to zero, 0.06 and 0.04 respectively; thus, the selection to increase the scrotal circumference would not influence the frame score. The genetic correlation estimates between FRAME with PPC30 (-0.24) and AFC (0.18) were also low. Vargas et al. (1999) reported that large-frame Brahman heifers were less sexually precocious; in other words, low- and medium-size Brahman heifers reached puberty earlier (626–633 days) than did large-size heifers (672 days). Animals with a large frame size tend to have higher nutritional requirements for maintenance than do small frame-size animals, therefore, under drought conditions or restricted-feeding, large frame size would delay sexual precocity since reproductive functions have a low priority in nutrient partitioning (SHORT; BELLOWS, 1971). In this study, the estimates of genetic correlations between FRAME and sexual precocity of females suggest a non-antagonistic relationship between them, indicating that the selection for higher FRAME would not affect heifer sexual precocity. It is important to highlight that the herds analyzed in the present study were subjected to nutritional management that largely met their requirements for maintenance, growth and reproduction, that is, to non-restrictive nutritional conditions.

The genetic correlation between FRAME and ACP was positive and low (0.25), suggesting that the selection for large-frame animals would not affect cow productivity in the short term. It is important to consider maximum limits of the cow's body size, nutritional requirements, and feed resources, as well as incidence of dystocia (GROSSI et al., 2016). In this sense, Taylor et al. (2008) analyzed the phenotypic effect of frame size on the reproductive performance of Santa Gertrudis cattle and reported that large frame cows produced calves with higher birth weights, longer gestation periods, and fewer calves per calving season, and stated that the reproductive performance of large-frame cows was lower than that of medium- to low-frame size cows. The genetic correlation between FRAME and STAY was close to zero (0.06);

thus, selection for higher FRAME would not influence dam longevity. The present study showed evidence of moderate genetic synergism between frame score and cow productivity, but we must consider the context of feed management of the animals analysed, which came from environments considered to be non-restrictive. The null genetic association between FRAME and STAY might be a consequence of the management conditions of the analysed herds, which differ from most beef cattle production systems, especially low-input commercial extensive systems, where dams would suffer periodic moderate to severe nutritional restriction.

The phenotypic correlation estimates between FRAME and W120, W210, SC365, SC450, BFT and REA were low (Table 4), indicating that these traits were not useful indicator traits of FRAME in Nelore cattle. The RFT displayed a moderate phenotypic antagonism with FRAME, suggesting that animals with a higher frame score displayed lower levels of carcass fat coverage. The FRAME could be used as an indicator trait for carcass composition to identify animals before slaughter with a higher fat coverage, quality grade and price bonus before slaughter. Low phenotypic correlation estimates between FRAME and sexual heifer precocity, and reproductive- and dam productive-related traits were obtained, indicating that FRAME is not an appropriate indicator trait to select heifer replacements and longer-lived cows. However, Brunet et al. (2022) pointed out that rump fat thickness obtained by ultrasound can be used as an indicator trait to improve the female sexual precocity in Nelore cattle, since the level of body fat showed the highest discrimination power (discrimination analyses) between early and late-pregnancy heifers.

The relative selection efficiencies for FRAME using single-trait selection for growth, carcass and scrotal circumference traits are presented in Table 5. The results indicated lower correlated gains for FRAME when the selection was applied for traits commonly measured in beef cattle breeding programs. This implies that if the objective is the adequacy of the frame score, this trait must be included as a criterion for direct selection to achieve greater responses. The relative selection efficiencies for traits not commonly used as selection criteria in Nelore cattle and with a lower number of records (low selection intensity), such as DMI, RFI, AFC, PPC30, STAY and ACP, using the FRAME score as an indicator trait, are presented in Table 6. The results indicated that FRAME is not an effective selection criterion to improve DMI, RFI, AFC, PPC30 and STAY. However, for ACP, FRAME appears to be an efficient selection criterion, since ACP is determined late in the animal's life; thus, adopting frame score as a selection criterion earlier in life may provide an opportunity to achieve correlated

genetic gains to increase dam productivity.

Table 5.- Direct and correlated responses, and relative selection efficiency (%) for frame scores when selection was performed for growth, scrotal circumference and carcass traits in a single-trait context.

Trait	Direct response	Correlated response	Relative selection efficiency
BW	0.808	0.086	235.93
W120	99.573	0.058	348.59
W210	21.455	0.050	403.39
W450	83.327	0.056	365.49
AW	342.794	0.0768	266.96
SC365	0.509	0.014	1457.95
SC450	0.912	0.008	2408.80
REA	4.718	0.103	197.89
BFT	0.050	-0.038	-537.55
IMF	0.015	-0.022	-895.96
RFT	0.146	-0.157	-130.46
FRAME	0.205	-	

FRAME, frame score; SC365, scrotal circumference at 365 days of age; SC450, scrotal circumference at 450 days of age; REA, rib eye area; BFT, subcutaneous backfat thickness; IMF, intramuscular fat %; RFT, rump fat thickness; BW, birth weight; W120, weight at 120 days of age; W210, weight at 210 days of age; W450, weight at 450 days of age; AW, adult weight.

The approach proposed by Rutten et al. (2002) was applied to assess the effect of multi-trait selection approach on FRAME by using customized selection indexes for different beef production systems. The direct selection responses for growth-, reproductive-, carcass-, frame- and feed efficiency-indicator traits and the correlated responses using selection indexes are presented in Table 7. The results indicated lower correlated gains for FRAME by using the five selection indexes (0.017, 0.020, 0.031, 0.034 and 0.028 for MGT_e, MGT_eCR, MGT_eRE, MGT_eRE and MGT_eF1, respectively) than with the direct selection for FRAME (0.206) and implied that if the objective is the adequacy of the frame score, this trait should be included as a criterion for direct selection to attain a greater response. As expected, the backgrounding and fattening selection indexes for intensive production systems (MGT_eRE, MGT_eCO and MGT_eF1) displayed higher genetic correlated responses with FRAME than with MGT_e and MGT_eCR. The backgrounding and fattening selection indexes placed greater emphasis on growth, carcass and finishing traits, which displayed moderate to high genetic correlation estimates with FRAME. Selection using the MGT_e and MGT_eCR indexes customised for low-input systems or range conditions would not influence FRAME in the short term, which means that these selection indexes would have less

impact on mature size, carcass composition and nutritional requirements.

Table 6 - Direct and correlated responses for feed efficiency- and reproductive-related traits when selection is performed for frame score in a single-trait context.

Trait	Direct response	Correlated response	Selection relative efficiency
AFC	0.208	0.099	205.09
PPC30	0.069	-0.029	-703.26
STAY	0.011	0.004	5344.80
ACP	197.91	78.639	2.61
DMI	0.096	0.029	690.73
RFI	0.030	0.004	5435.53
FRAME	0.205	-	

FRAME, frame score; DMI, dry-matter intake; RFI, residual feed intake; AFC, age at first calving; PPC30, probability of precocious calving at 30 months of age; STAY, stayability; ACP, accumulated cow productivity.

Table 7 - Direct selection responses ($\Delta G - \sigma_a$, trait unit) for growth-, reproductive-, carcass-, frame- and feed efficiency-indicator traits and correlated responses by using selection indexes in the multi-trait context.

	MGT _e	MGT _{eCR}	MGT _{eRE}	MGT _{eCO}	MGT _{eF1}	FRAME	
FRAME	0.206	0.017	0.020	0.031	0.034	0.028	
BW	0.798	0.120	0.111	0.184	0.274	0.335	0.498
W120	9.806	1.651	1.635	6.935	9.561	12.467	5.885
W210	21.150	3.686	3.124	14.984	20.707	26.709	10.469
W450	83.090	9.533	10.168	49.505	66.484	85.159	25.883
AW	341.533	35.493	34.179	56.282	47.803	46.883	40.403
SC365	0.514	0.050	0.053	0.180	0.255	0.344	0.028
SC450	0.917	0.060	0.085	0.328	0.429	0.578	0.033
AFC	0.290	-0.037	0.059	-0.096	-0.182	-0.247	0.101
PP30	0.070	0.009	0.016	0.020	0.034	0.049	-0.024
STAY	0.012	-0.005	-0.004	0.007	0.009	0.011	0.001
ACP	3.583	-1.915	0.959	3.336	3.949	5.227	1.942
REA	4.702	0.618	0.759	1.767	2.884	3.968	2.351
BFT	0.049	-0.006	0.009	0.013	0.029	0.047	-0.016
IMF	0.016	0.002	0.002	0.001	0.002	0.005	-0.003
RFT	0.148	0.017	0.025	0.036	0.078	0.133	-0.136
DMI	0.097	0.020	0.025	0.002	0.021	0.027	0.029
RFI	0.031	0.002	0.004	0.000	-0.003	-0.004	0.004

MGT_e, index of total economic genetic merit; MGT_{eCR}, index for a semi-intensive cow-calf and rearing system; MGT_{eRE}, index for a semi-intensive rearing and finishing system; MGT_{eF1}, index for a rearing and finish system for the Nellore breed with feedlot (intensive) and bonus for fat thickness; MGT_{eF1}, index for a rearing and finish system for crossbred cattle with feedlot (intensive) and bonus for fat thickness; FRAME, frame score; ACP, cow accumulated productivity; BW, birth weight; W120, weight at 120 days of age; W210, weight at 210 days of age; W450, weight at 450 days of age; AW, adult weight; SC365, scrotal circumference at 365 days of age; SC450, scrotal circumference at 450 days of age; AFC, age first calving; PPC30,

probability of precocious calving at 30 month of age; STAY, stayability; REA, rib eye area; BFT, subcutaneous backfat thickness; IMF, intramuscular fat %; RFT, rump fat thickness; DMI, dry-matter intake; RFI, residual feed intake.

The FRAME may be an auxiliary or complementary trait for Nellore breeding programs to perform better breeding and mating decisions for different market and production conditions. The classification of FRAME is not only important for Nellore cow–calf systems, but also for backgrounding and finishing systems, due to potential genetic antagonisms among growth-, reproductive-, feed efficiency- and carcass-related traits. Under unrestrictive nutritional management conditions, a favourable relationship between frame score and beef production is expected; however, under discontinuous feed supply, such as most commercial beef cattle production systems, particularly extensive systems, it is advisable to avoid large-frame sires and dams.

3.4 CONCLUSIONS

The heritability for FRAME indicates that selection for this trait in Nellore cattle is feasible, and the most suitable frame-score value depends on feed resources, production-system objectives, and market needs. Selection to increase growth traits would lead to an increase in frame size and herd nutritional requirements, and, consequently, a reduction in carcass fatness level and early heifer sexual precocity. FRAME could be an alternative trait to monitor calf birth weight to avoid problems related to dystocia. Despite there being a favourable genetic association between FRAME and cow productivity, it is important to be cautious about these results because it is not possible to predict the response in dam productivity when their nutritional requirements increase, and the environment and management conditions lack the capacity to meet them. There is no evidence about any possible genetic antagonism between FRAME and feed efficiency evaluated through RFI. The implementation of FRAME as a selection criterion to improve beef quality and productivity in tropical conditions would depend on the production-system objectives and feedresources.

3.5 REFERENCES

BALDI, F. et al. Parâmetros genéticos para características de tamanho e condição corporal, eficiência reprodutiva e longevidade em fêmeas da raça Canchim. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 2, p. 247–253, 2008.

BALDI, F. et al. Bioeconomic selection index for Nellore Brazil breeding program. In: 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON QUANTITATIVE GENETICS, 5., 2016, Madison. **Proceedings...** Madison: ICQG, 2016

BERG, R T; BUTTERFIELD, R. M. New concepts of cattle growth. **Livestock Production Science**, v. 4, n. 3, p. 299, 1976.

BERRY, D. P.; EVANS, R. D. Genetics of reproductive performance in seasonal calving beef cows and its association with performance traits. **Journal of Animal Science**, v. 92, n. 4, p. 1412–1422, 2014.

BIF. **Beef Improvement Federation**. Guidelines for uniform beef improvement programs. Athens: 2002.

BONAMY, M. et al. Genetic association between different criteria to define sexual precocious heifers with growth, carcass, reproductive and feed efficiency indicator traits in Nelore cattle using genomic information. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v. 136, n. 1, p. 15–22, 2019.

BONIN, M. N. et al. Visual body-scores selection and its influence on body size and ultrasound carcass traits in nelore cattle. **Journal of Animal Science**, v. 93, n. 12, p. 5597–5606, 2015.

BOURDON, R. M. **Understanding animal breeding**. 2th ed. NJ, USA: Prentice Hall, 1997

BRUNES, L. C. et al. Early growth, backfat thickness and body condition has major effect on early heifer pregnancy in Nelore cattle. **Anais da Academia Brasileira de Ciencias**, v. 94, n. 1, p. 1–18, 2022.

CAETANO, S. L. et al. Estimates of genetic parameters for carcass, growth and reproductive traits in Nelore cattle. **Livestock Science**, v. 155, n. 1, p. 1–7, 2013.

DA SILVA NETO, J. B. et al. Genetic correlation estimates between age at puberty and growth, reproductive, and carcass traits in young Nelore bulls. **Livestock Science**, v. 241, n. September, p. 104266, 2020.

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

GEWEKE, J. Evaluating the Accuracy of Sampling-Based Approaches to the Calculation of Posterior Moments. In: J. M. BERNARDO, J. O. BERGER, A. P. DAWID AND A. F. M. SMITH, EDS., **BAYESIAN STATISTICS**, 4., 1992, Oxford: Clarendon Press, 169-193, 1992.

GIANOLA, D.; FOULLEY, J. L. Sire evaluation for ordered categorical data with a threshold model. **Genetic Selection Evolution**, v. 15, n. 2, p. 201–224, 1983.

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

GROSSI, D. DO A. et al. Genetic analysis on accumulated productivity and calving intervals in Nelore cattle. **Tropical Animal Health and Production**, v. 48, n. 1, p. 207–210, 2016.

- GUIMARÃES, N.C. **Desenvolvimento do novo sistema de frame score para bovinos da raça Nelore e sua associação com características produtivas**. 2020. 156 f. TeseDoutorado, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2020.
- HAZEL, L.N. The genetic basis for constructing selection indexes. **Genetics**, v.28, p.476–490, 1943.
- HILL, W.G. Genetic correlation. In: **BRENNER'S ENCYCLOPEDIA OF GENETICS**, 2nd edn., 2013, San Diego, USA: Elsevier, p.237-239, 2013
- HORIMOTO, A. R. V. R. et al. Phenotypic and genetic correlations for body structure scores (frame) with productive traits and index for CEIP classification in Nelore beef cattle. **Genetics and Molecular Research**, v. 6, n. 1, p. 188–196, 2007.
- JENKINS, T.G.; FERREL, C.L. Beef cow efficiency. **Elsenburg journal**, v. 15, n. 2, p. 59, 2002.
- JOHANSON, J. M.; BERGER, P. J. Birth weight as a predictor of calving ease and perinatal mortality in Holstein cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 86, n. 11, p. 3745–3755, 2003.
- 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**, v. 216, p. 203–209, 2018.
- KNIGHTS, S. A. et al. Estimates of heritabilities and of genetic and phenotypic correlations among growth and reproductive traits in yearling Angus bulls. **Journal of animal science**, v. 58, n. 4, p. 887–893, 1984.
- MAGALHÃES, A. F. B. et al. Genome-Wide Association Study of Meat Quality Traits in Nelore Cattle. **PLoS ONE**, v. 11, n. 6, p. 1–12, 2016.
- MERCADANTE, M.E.Z. et al. Classification of Nelore cattle frames based the table of the Beef Improvement Federation (BIF). **Bulletin of Husbandry**, 64(2), p.91–95, 2007.
- MISZTAL, I. et al. BLUPF90 and related programs (BGF90). IN: 7TH WORLD CONGRESS ON GENETICS APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION, 2002, Montpellier. **Proceedings...** Montpellier, 2002. p.21-22. Communication n 28-07.
- MISZTAL I. et al. **Manual for BLUPF90 family of programs**, Universidade da Georgia, 2014. <http://nce.ads.uga.edu/wiki/doku.php?id=documentation>. 2018
- MOTA, L. F. M. et al. Divergência morfológica em bovinos nelore em crescimento classificados para diferentes classes de frame size. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 2, p. 117–125, 2015.
- MRODE, R.A., THOMPSON, R. **Linear Models for the Prediction of Animal Breeding Values**, 2nd ed. Wallingford: CABI, 2005.
- MWANSA, P. B. et al. Multiple trait selection for maternal productivity in beef cattle. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v. 119, n. 6, p. 391–399, 2002.

NESER, F.W.C et al. Estimation of genetic parameters for growth traits in Brangus cattle. **South African Journal of Animal Science**, v.42(5), p.469–473, 2012.

R Core Team (2018) R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available at <https://www.R-project.org/>

REUTER PAS, R. R. et al. Effects of USDA feeder cattle frame and muscle grades on stocker and feeder cattle performance and profitability. **Professional Animal Scientist**, v. 27, n. 6, p. 525–534, 2011.

RILEY, D.G. Estimated genetic parameters for carcass traits of Brahman cattle. **Journal of Animal Science**, v.80, p.955–962, 2002.

RÍOS-UTRERA, Á. et al. Genetic parameters for scrotal circumference, frame score and yearling weight of Mexican charolais and charbray young bulls. **Revista Colombiana de CienciasPecuarias**, v. 31, n. 3, p. 204–212, 2018.

RUTTEN, M. J. M. et al. SelAction: Software to predict selection response and rate of inbreeding in livestock breeding programs. **Journal of Heredity**, v. 93, n. 6, p. 456–458, 2002.

SHORT, R.E.; BELLOWS, R.A.; Relationships among weight gains, age at puberty and reproductive performance in heifers. **Journal of Animal Science**, v.32, p.127–131, 1971

SMITH, B. J. Bayesian Output Analysis Program (BOA) for MCMC. <http://www.public-health.uiowa.edu/boa>

SORENSE, D.; GIANOLA, D. **Likelihood, Bayesian, and MCMC Methods in Quantitative Genetics**. New York: Springer, 2002.

TAYLOR, G. J. et al. Effect of heifer frame size on their subsequent reproductive performance and preweaning performance of their calves. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 48, n. 7, p. 945–949, 2008.

TONUSSI, R. L. et al. Genetic association of growth traits with carcass and meat traits in Nellore cattle. **Genetics and Molecular Research**, v. 14, n. 4, p. 18713–18719, 2015.

UTSUNOMIYA, Y. T. et al. Genome-wide association study for birth weight in Nellore cattle points to previously described orthologous genes affecting human and bovine height. **BMC Genetics**, v. 14, 2013.

VARGAS, C. A. et al. Influence of frame size and body condition score on performance of Brahman cattle. **Journal of Animal Science**, v. 77, n. 12, p. 3140–3149, 1999.

VARGAS JURADO, N. et al. Feed intake and diet selection in angus-cross heifers of two frame sizes at two stages of growth. **Journal of Animal Science**, v. 93, n. 4, p. 1565–1572, 2015.

VICENTE, I.S et al. Associação genética do biótipo com o tamanho adulto de vacas

da raça Nelore. In XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO ANIMAL, 2015, Santa Maria, Brazil. Santa Maria: Sociedade Brasileira de Melhoramento Animal; p.3, 2015.

WALKER, R. S. et al. Impact of cow size on dry matter intake, residual feed intake, metabolic response, and cow performance. **Journal of Animal Science**, v. 93, n. 2, p. 672–684, 2015.

YOKOO, M. J. et al. Genetic associations between carcass traits measured by real-time ultrasound and scrotal circumference and growth traits in Nelore cattle. **Journal of Animal Science**, v. 88, n. 1, p. 52–58, 2010.