

Associação Genética entre Eficiência Alimentar e Características de Crescimento, Reprodução e Carcaça em Bovinos da Raça Guzzerá



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
391**

**Associação Genética entre Eficiência Alimentar
e Características de Crescimento, Reprodução
e Carcaça em Bovinos da Raça Guzerá**

Letícia Silva Pereira
Ludmilla Costa Brunes
Fernando Sebastian Baldi
Adriana Santana do Carmo
Rafael Assunção Carvalho
Byanka Bueno Soares
Cláudio Ulhôa Magnabosco

Esta publicação encontra-se disponível gratuitamente
no link: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/?initQuery=t>

Embrapa Cerrados
BR 020, Km 18, Rod. Brasília / Fortaleza
Caixa Postal 08223
CEP 73310-970, Planaltina, DF
Fone: (61) 3388-9898
embrapa.br/cerrados
embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações da Unidade

Presidente
Lineu Neiva Rodrigues

Secretária-executiva
Alessandra Duarte de Oliveira

Secretária
Alessandra Silva Gelape Faleiro

Membros
*Alessandra Silva Gelape Faleiro;
Alexandre Specht; Edson Eyji Sano;
Fábio Gelape Faleiro; Gustavo José Braga;
Jussara Flores de Oliveira Arbues;
Kleberson Worsley Souza;
Maria Madalena Rinaldi;
Shirley da Luz Soares Araújo*

Supervisão editorial
Jussara Flores de Oliveira Arbues

Revisão de texto
*Margit Bergener L. Guimarães
Jussara Flores de Oliveira Arbues*

Normalização bibliográfica
Shirley da Luz Soares Araújo

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica e tratamento de imagens
Wellington Cavalcanti

Foto da capa
Wellington Valeriano

Impressão e acabamento
Alexandre Moreira Veloso

1ª edição

1ª impressão (2021): tiragem 30 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Cerrados

A849 Associação genética entre eficiência alimentar e características de crescimento, reprodução e carcaça em bovinos da Raça Guzerá / Letícia Silva Pereira ... [et al.]. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2021.

39 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Cerrados, ISSN 1676-918X, ISSN online 2176-509X; 391).

1. Carcaça. 2. Consumo alimentar residual. 3. Zebu. I. Pereira, Letícia Silva. II. Embrapa Cerrados. III. Série.

CDD (21 ed.) 636.291

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Introdução.....	7
Material e Métodos	10
Resultados e Discussão	17
Conclusões.....	33
Referências	33

Associação Genética entre Eficiência Alimentar e Características de Crescimento, Reprodução e Carcaça em Bovinos da Raça Guzzerá

Letícia Silva Pereira¹; Ludmilla Costa Brunet²; Fernando Sebastian Baldi Rey³; Adriana Santana do Carmo⁴; Rafael Assunção Carvalho⁵; Byanka Bueno Soares⁶; Cláudio Ulhôa Magnabosco⁷

Resumo – A raça Guzzerá apresenta grande contribuição para pecuária brasileira devido a sua rusticidade e por apresentar índices produtivos favoráveis quanto ao crescimento, fertilidade e eficiência alimentar. O objetivo desse estudo foi estimar os parâmetros genéticos, a correlação genética para a eficiência alimentar e as características produtivas de bovinos da raça Guzzerá. As herdabilidades para características de crescimento e reprodução, P120, P210, P365, P450, PE365 e PE450, respectivamente, apresentaram coeficientes que variaram entre baixos a moderados, 0,17 a 0,39, assim como para características de carcaça, 0,09 a 0,31, ao passo que as características de eficiência alimentar apresentaram baixa herdabilidade, 0,14 a 0,23. O CAR apresentou baixas correlações genéticas com características de crescimento variando de -0,07 a 0,22, de 0,03 a 0,05 para características de reprodução, e de -0,35 a 0,16 para carcaça, com exceção do CMS, que variou de 0,42 a 0,46. As estimativas de herdabilidade verificadas neste estudo indicam que ganhos genéticos significativos podem ser obtidos através da seleção de características de eficiência alimentar, crescimento, reprodução e carcaça na raça Guzzerá. As correlações genéticas encontradas entre o CAR e as demais características mostraram que estas podem ser inseridas simultaneamente em programas de seleção, sem respostas correlacionadas desfavoráveis entre elas.

Termos para indexação: carcaça, consumo alimentar residual, método da máxima verossimilhança restrita, reprodução, zebuínos.

¹ Médica-veterinária, doutoranda em Zootecnia da Universidade Federal de Goiás, estagiária da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO

² Zootecnista, doutora em Zootecnia, pesquisadora Associada da Associação Nacional de Criadores e Pesquisadores, Ribeirão Preto, SP

³ Engenheiro-agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento Animal, professor da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP

⁴ Médica-veterinária, doutora em Medicina Veterinária, professora da Escola de Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO

⁵ Zootecnista, doutorando em Zootecnia da Universidade Federal de Goiás, estagiário da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO

⁶ Zootecnista, doutoranda em Zootecnia pela Universidade Federal de Goiás, estagiário da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO

⁷ Zootecnista, doutor em Ciências Biológicas, pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF

Genetic association between feed efficiency and growth, reproduction and carcass traits in Guzerat cattle

Abstract – The Guzerat breed contributes immensely to Brazilian livestock production due to its rusticity, growth, fertility and feed efficiency. The aim of this study was to estimate the genetic parameters and genetic correlation for feed efficiency and productive characteristics of Guzerat cattle breed. Heritability for growth and reproduction traits W120, W210, W365, W450, SC365 and SC450, respectively, ranged from low to moderate, 0.17 to 0.39, for carcass traits from low to moderate, 0.09 to 0.31 and for efficiency traits from 0.14 to 0.23. Genetic correlations of RFI with growth characteristics were low, ranging from -0.07 to 0.22, with reproduction traits from 0.03 to 0.05 and carcass traits from -0.35 to 0.16, except for DMI which ranged from 0.42 to 0.46. The heritability observed in this study indicates that significant genetic gains can be obtained through selection for feed efficiency, growth, reproduction and carcass traits in the Guzerat breed. Correlation genetics between RFI and other traits should be included simultaneously in breeding programs, without unfavorable correlated responses between them.

Index terms: carcass, reproduction, residual feed intake, restricted maximum likelihood method, zebu cattle.

Introdução

O Brasil se destaca como o maior produtor e o principal exportador mundial de carne bovina (USDA, 2019). No entanto, a taxa de desfrute gira em torno de 20,49% (Associação Brasileira das Indústrias... 2019), o que indica uma baixa eficiência na exploração do potencial produtivo e dos recursos disponíveis. Diante desse cenário, a fim de fortalecer o mercado interno e manter-se competitivo mundialmente, é necessário intensificar o sistema de produção, adotando novas tecnologias que visem elevar o desempenho produtivo, a produção de carne por área, o aproveitamento dos recursos naturais e, conseqüentemente, o retorno econômico.

O rebanho de corte brasileiro é caracterizado pela variabilidade de raças, no qual predominam as zebuínas (*Bos Indicus*) que, devido a sua adaptabilidade às condições ambientais (Faria et al., 2011), foram amplamente difundidas no País. Com o objetivo de atingir maiores níveis de produtividade de carne em sistemas extensivos, uma das raças zebuínas utilizadas é a Guzerá, a qual vem ganhando espaço na pecuária nacional, devido a sua rusticidade, composição, acabamento de carcaça, e precocidade sexual (Junior et al., 2013).

O Guzerá foi a primeira raça zebuína a ser importada para o Brasil em 1870, a qual foi, inicialmente, utilizada para trabalho e transporte nas fazendas de café, sendo posteriormente utilizada para a produção de carne e leite (Associação Brasileira de Criadores de Zebu, 2002). Apenas em 1995, foi despertado o interesse de seleção para produção de carne (Associação Brasileira de Criadores de Zebu, 2002). Diante do desempenho da raça e com o objetivo de elevar os índices zootécnicos e contribuir para a produção de carne de qualidade nos trópicos, foi criado o Programa de Avaliação Genética da Raça Guzerá (PAGR), coordenado pela Associação Nacional de Criadores e Pesquisadores (Associação Nacional de Criadores e Pesquisadores, 2008), dando origem às primeiras avaliações genéticas desta raça disponibilizadas em 2001. Contudo o potencial produtivo da raça Guzerá, em nível de pesquisa ainda tem sido pouco avaliado (Cancino-Baier et al., 2019).

Os programas de melhoramento têm dado maior ênfase a características produtivas, como crescimento, seguidas por características de carcaça e reprodução (Pedrosa et al., 2014), principalmente na raça Nelore. Contudo, o

grande impasse dos programas de seleção, é identificar animais eficientes, capazes de otimizar a conversão de alimentos e apresentar maior produção de carne por hectare de forma sustentável, tornando mais eficiente a utilização dos insumos e recursos naturais. Além disso, a seleção de animais mais eficientes quanto ao uso de alimentos diminuirá os custos de produção, acarretando em maior lucratividade, visto que a alimentação representa um dos principais componentes do custo de produção de sistemas de bovinos de corte, correspondendo a cerca de 75% (Fitzsimons et al., 2017).

Considerando a importância econômica, dados de consumo alimentar têm sido, recentemente, englobados em programas de seleção genética, com a finalidade de aprimorar a eficiência alimentar, por meio da nutrição, do manejo ou pela inserção de genes favoráveis para essa característica (Lanna et al., 2004). Diversas características foram propostas como indicadoras da eficiência alimentar, como eficiência alimentar bruta (EA) (Koch et al., 1963), e conversão alimentar (CA) (Basarab et al., 2003). A EA pode ser definida como a razão do ganho em peso diário pelo consumo de matéria seca (CMS), e a CA, a relação inversa, entre CMS e o ganho médio diário (GMD) (Santana et al., 2012). A seleção para EA e a CA pode influenciar as exigências de manutenção, uma vez que possuem correlação com o peso corporal dos animais, podendo elevar consideravelmente o tamanho adulto dos animais (Arthur; Herd, 2005), o que resulta em animais tardios, com menor acabamento de carcaça, maior exigência de manutenção e fêmeas de maior idade ao primeiro parto e com baixa fertilidade (Herd et al., 2003).

Nesse cenário, o consumo alimentar residual (CAR) foi proposto em 1963 por Koch et al. (1963), como parâmetro de seleção para eficiência alimentar (Basarab et al., 2003) devido a sua independência com características produtivas, em que é calculado utilizando uma equação de regressão do CMS em função do peso vivo metabólico ($PV^{0.75}$) e do GMD (Koch et al., 1963). O CAR permite identificar animais que tenham a mesma exigência de manutenção e GMD, no entanto com consumo abaixo do predito, e consequentemente mais lucrativos para o sistema de produção (Basarab et al., 2003).

O CAR já tem sido empregado como critério de seleção para eficiência alimentar em animais *Bos taurus* (Santana et al., 2012) sendo as estimativas de parâmetros genéticos e correlações genéticas com características de crescimento, carcaça e reprodução descritas em sua maior parte em taurinos e

mestiços (Arthur; Herd, 2005), e em zebuínos, na raça Nelore, sendo escasso trabalhos realizados na raça Guzará (Cancino-Baier et al., 2019).

O CAR possui grande potencial para uso nos programas de seleção devido a herdabilidade moderada a alta, variando entre 0,24 (Ceacero et al., 2016) a 0,46 (Crowley et al., 2010) em zebuínos e taurinos, ou seja, é uma característica que apresenta viabilidade de seleção em programas de melhoramento genético de gado de corte, com potencial de obtenção de ganhos genéticos. No entanto, um dos maiores limitantes para mensuração da eficiência alimentar para programas de seleção é a dificuldade de mensuração do consumo individual dos animais, já que são necessários equipamentos especializados, que possuem um alto custo, o que limita a obtenção de fenótipos para serem empregadas em programas de melhoramento genético.

A estimação dos componentes de variância é relevante para a estimativa dos parâmetros genéticos (Mota et al., 2019), os quais permitem obter informações precisas quanto à aplicabilidade da seleção genética na modificação das características econômicas do rebanho, e normalmente são analisados em modelo uni (Srivastava et al., 2019) e bicaracterístico (Meyer et al., 1993). A maioria das características são geneticamente associadas, e podem obter diferentes componentes de variâncias e coeficientes de herdabilidade quando obtidas em modelo uni, bi e multicaracterística, já que a análise unicaracterística não inclui essas informações para estimação dos parâmetros genéticos, levando a uma seleção viesada (Srivastava et al., 2019).

Schaeffer et al. (1984) ressaltaram a relevância da contribuição de inúmeras características em uma análise multicaracterística, em que a inclusão de um maior número de informações e a associação entre as mesmas auxilia no resgate da maior proporção da variância genética perdida na pré-seleção dos animais na fase de pré-desmame (Bolligon et al., 2009). Nesse contexto, a análise multicaracterística como modelo estatístico viabiliza o estudo de várias características de maneira simultânea (Misztal et al., 1993), levando-se em consideração a correlação e as complexas relações entre elas, o que possibilita a otimização dos índices de seleção e consequentemente do ganho genético (Soller et al., 1983).

Essas análises apresentam maior aplicabilidade para características de baixa herdabilidade e em banco de dados com número de fenótipos reduzidos (Guo et al., 2014), como eficiência alimentar, sendo adequado para

avaliação de raças pouco estudadas, como por exemplo a raça Guzerá. A obtenção de estimativas com maior qualidade, resulta em uma maior confiabilidade nas análises realizadas, contribuindo assim para o aperfeiçoamento das avaliações genéticas e para a seleção da raça Guzerá. No entanto, ainda são escassos os estudos aplicando estas metodologias multicaracterísticas em bovinos Guzerá, especialmente no que tange à avaliação das associações entre eficiência alimentar e outras características de importância econômica, como carcaça, crescimento e reprodução.

O conhecimento dos parâmetros genéticos permite obter informações precisas quanto à aplicabilidade da seleção genética na modificação das características de importância econômica no rebanho (Mota et al., 2019). Dessa forma, objetivou-se com este trabalho, estimar os parâmetros genéticos para características de eficiência alimentar e sua associação com características de crescimento, carcaça e reprodução utilizando análises uni, bi e multicaracterística em bovinos da raça Guzerá.

Material e Métodos

Base de dados

Os dados analisados foram fornecidos pelo Programa Guzerá Brasil coordenado pela Associação Nacional de Criadores e Pesquisadores (ANCP). Para as características de crescimento, reprodução e carcaça, foram utilizados 19.666 animais da raça da Guzerá, nascidos entre 1979 a 2020, oriundos de 18 rebanhos participantes do programa. Para características de eficiência alimentar, as informações de 796 animais foram provenientes do Centro de Desempenho Animal do Núcleo Regional da Embrapa Cerrados e Guzerá IT, localizadas em Santo Antônio de Goiás no estado de Goiás e em Pirajuí no estado de São Paulo, respectivamente, sendo que ambas as instituições são parceiras da ANCP na realização dos Testes de Desempenho de Touros Jovens e Eficiência Alimentar. A matriz de parentesco foi calculada a partir das informações do pedigree de 27.435 animais, considerando três gerações, sendo 729 pais e 7.217 mães. Os animais que compuseram a base de dados apresentaram endogamia média de 1,49% e uma proporção de indivíduos endogâmico sobre a população total de 1,25%.

Características de crescimento, reprodução e carcaça

A coleta de informações de pesos dos animais oriundos de fazendas participantes do programa de melhoramento Guzerá Brasil da ANCP, segue um cronograma trimestral de pesagens de acordo com o manejo de cada propriedade. Os pesos foram coletados através de balanças, do nascimento até os 18 meses de idade. As características de crescimento avaliadas neste trabalho foram pesos ajustados aos 120 (P120), 210 (P210), 365 (P365) e 450 (P450) dias de idade, calculados de acordo com a seguinte fórmula (Garnero et al., 2001):

$$\text{Peso padronizado} = PA + GMD \times da$$

Em que:

PA = peso a idade anterior à idade padrão.

GMD = ganho médio diário.

da = dias compreendidos entre a idade anterior e a idade padrão.

Simultaneamente à coleta de pesos, foram mensurados os perímetros escrotais, dos 9 aos 18 meses de idade, sendo utilizada uma fita métrica adequada para medidas em zebuínos. As características reprodutivas avaliadas foram perímetro escrotal ajustado aos 365 (PE365) e 450 (PE450) dias de idade. Para o perímetro escrotal padronizado foi utilizada a equação a seguir (Ortiz Peña et al., 2000):

$$PE_i = \mu_{PE} + \beta_i (I - \mu_i)$$

Em que:

PE_i = perímetro escrotal predito em função da idade do animal, em cm.

μ_{PE} = média geral observada do PE, em cm.

β_i = coeficiente de regressão linear estimado para a idade do animal.

I = idade do animal no momento da mensuração do perímetro escrotal, em dias.

μ_i = média geral observada da idade do animal, em dias.

Para as características de carcaça, a avaliação foi realizada por um técnico da Aval – Serviços Tecnológicos, parceira da ANCP, credenciado pela Ultrasound Guidelines Council (UGC). Através de ultrassonografia, as imagens foram obtidas por um corte transversal do músculo *Longissimus dorsi*, entre a 12ª e 13ª costelas, foi avaliado para obtenção da área de olho de lombo (AOL, cm²) e espessura de gordura (EG, mm), e entre os músculos *Biceps femoris* e *Gluteus medius*, na garupa entre íleo e ísquio, para espessura de gordura subcutânea na garupa (P8, mm) (Yokoo, 2009). Posteriormente, essas imagens foram processadas e interpretadas pelo laboratório responsável pela qualidade dos dados (Aval Serviços Tecnológicos S / S) (Kluska et al., 2018).

Características relacionadas à eficiência alimentar

A mensuração das características de eficiência alimentar foi realizada com o auxílio do sistema de cochos eletrônicos no Centro de Desempenho Animal do Núcleo Regional da Embrapa Cerrados e na fazenda Guzerá IT. A dieta foi ofertada *ad libitum* no modo ração total misturado durante todo o teste, sendo a dieta semelhante aos níveis nutricionais de uma pastagem de boa qualidade. Além disso, seguiu-se a recomendação para que a dieta apresentasse conteúdo de nutrientes digestíveis totais (NDT) de acordo com o ganho médio diário esperado para a categoria animal em teste de água fornecida à vontade (Mendes et al., 2020). A duração das provas foi de, no mínimo 70 dias, precedidos de 14 dias de adaptação no confinamento. Os animais apresentavam no início do teste, cerca de 16 meses de idade, com variação máxima dentro de cada grupo de avaliação de 90 dias.

As variáveis coletadas ao final dos testes foram: matéria seca (CMS,kg/dia), peso vivo (kg) e ganho médio diário (GMD,kg/dia). Os grupos para avaliação da eficiência alimentar foram constituídos por fazenda, lote de manejo, sexo, ano e estação de nascimento (estação seca de abril a setembro e estação chuvosa de outubro a março).

O CMS foi obtido por meio da média de todos os valores válidos de consumo diário individual registrados eletronicamente pelo sistema Intergado durante o período de teste. O GMD foi estimado por meio do coeficiente de regressão linear do peso em função dos dias em testes dos animais (DET) com a utilização de um software estatístico para o cálculo seguinte equação (Koch et al., 1963):

$$y_i = \alpha + \beta * DET_i + \varepsilon_i$$

Em que:

y_i = peso do animal.

α = intercepto da equação de regressão que representa o peso inicial.

β = coeficiente de regressão linear, que representa GMD.

DET_i = dia no teste de desempenho das enésimas observações.

ε_i = erro associado a cada observação.

Considerando o peso vivo, foi calculado o peso metabólico ($PV^{0,75}$), utilizando a fórmula abaixo (Koch et al., 1963):

$$PV^{0,75} = \left[\alpha + \beta * \left(\frac{DET_j}{2} \right) \right]^{0,75}$$

Em que:

α = peso vivo ao início do teste de eficiência alimentar.

β = ganho em peso médio diário.

DET_j = dias em teste.

O CAR em cada indivíduo foi calculado pela diferença entre o consumo de matéria seca predita e a observada, utilizando uma equação de regressão em função do $PV^{0,75}$ e do GMD , conforme proposto por Koch et al. (1963). O cálculo foi realizado dentro dos grupos de avaliação da eficiência alimentar:

$$y = \beta_0 + \beta_1 (GMD) + \beta_2 (PV^{0,75}) + \varepsilon$$

Em que:

y = consumo alimentar individual.

β_0 = intercepto.

β_1 = coeficiente de regressão parcial do CMS diário no GMD.

β_2 = coeficiente de regressão parcial do CMS no PV.

ε = erro residual da regressão, ou seja, consumo alimentar residual.

Análise e estruturação de dados

Previamente às análises genéticas, foram realizadas restrições ao banco de dados utilizando software estatístico. Registros fenotípicos acima ou abaixo de 3,5 desvios-padrão em relação à média do grupo de contemporâneo (GC) para cada característica foram eliminados das análises. Também foram removidos os GC que continham menos de quatro animais para cada característica analisada. Os GC foram constituídos por animais da mesma fazenda, nascidos no mesmo ano e estação de nascimento (seca de abril a setembro e chuvosa de outubro a março), sexo e lote de manejo. O número de observações para cada característica avaliada, assim como valores de média, desvio-padrão e coeficiente de variação estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Estatística descritiva de características de crescimento, reprodução, carcaça e eficiência alimentar em bovinos da Raça Guzerá.

Característica	N	MIN	MAX	\bar{X}	DP	CV (%)	GC	\bar{X} GC
P120 (kg)	13.695	66	202	126,08	2,7	17	872	15,71
P210 (kg)	12.276	91	322	187,46	32,09	17	844	14,55
P365 (kg)	11.536	161	491	245,49	42,38	17	550	20,97
P450 (kg)	10.952	181	556	282,85	50,46	18	509	21,52
PE365 (cm)	4.023	18,1	32,7	20,87	1,9	9	193	20,84
PE450 (cm)	4.730	19,1	37,6	23,24	2,69	12	206	22,96
AOL (cm ²)	1.900	29,01	97,67	57,65	10,56	18	200	9,45
EG (mm)	1.899	0,76	13,48	3,27	1,68	51	200	9,45
EGP8 (mm)	1.893	0,9	17	4,83	2,48	51	200	9,47
CAR (kg MS/dia)	646	-2,4	2,2	0	0,64	-	71	9,1
CMS (kg/dia)	646	4,99	14,02	9,91	1,3	13	71	9,1

N: número de observações; MIN: valor mínimo; MAX: valor máximo; DP: desvio-padrão; CV(%): coeficiente de variação; GC: número de grupos contemporâneos; \bar{X} GC: média de observações por grupo contemporâneo; P120: peso aos 120 dias de idade; P210: peso aos 210 dias de idade; P365: peso aos 365 dias de idade; P450: peso aos 450 dias de idade; PE365: perímetro escrotal aos 365 dias de idade; PE450: perímetro escrotal aos 450 dias de idade; AOL: área de olho de lombo; EG: espessura de gordura subcutânea; EGP8: espessura de gordura subcutânea na garupa; CAR: consumo alimentar residual; CMS: consumo de matéria seca.

Estimação dos componentes de variância e parâmetros genéticos

As estimativas dos componentes de covariâncias e parâmetros genéticos foram obtidos utilizando a abordagem da máxima verossimilhança restrita em análises uni, bi e multicaracterísticas, com a família de programas estatísticos para análises genéticas (Miształ et al., 2015). Inicialmente, foi utilizado um software (algoritmo Expectation-Maximization) para obter as estimativas dos componentes de variância, após cada estabilização, reiniciava-se o programa, utilizando as estimativas obtidas previamente como valores iniciais. O critério de convergência $-2\log_e$ da máxima verossimilhança utilizado foi igual a $1d^{-10}$. Essa análise foi repetida até a estabilização dos componentes de covariância. Posteriormente, as estimativas obtidas foram utilizadas como valores iniciais para um programa estatístico (Algoritmo Average-Information). Esse programa foi utilizado para estimar os valores de desvio-padrão dos componentes de covariâncias e herdabilidades, a partir de sua distribuição normal assintótica multivariada (Meyer; Houle, 20b13).

As análises para estimação dos componentes de variância foram executadas empregando-se o modelo animal, no qual foram considerados para todas as características, os efeitos genéticos aditivos diretos e residuais como aleatórios, e os grupos contemporâneos como efeitos fixos. Além disso, os efeitos materno e de ambiente permanente maternal foram considerados como efeitos aleatórios para características que possuem influência materna (P120 e P210). A idade da vaca ao parto e a idade no momento da avaliação foram incluídas no modelo como covariáveis (linear e quadrática), para P120 e P210, características de eficiência alimentar e de ultrassonografia de carcaça, respectivamente. O modelo animal geral utilizado na análise, pode ser descrito como (Falconer; Mackay, 1996):

$$y = X\beta + Z_{1a} + Z_{2m} + Z_{3mpe} + e$$

Em que:

y = fenótipo para as características de crescimento, reprodução, carcaça ou eficiência alimentar.

X = matriz de incidência que associa β com y .

β = efeitos fixos incluindo grupo contemporâneo e como covariável a idade de mãe (apenas para P120 e P210), e a idade do animal no momento de avaliação (apenas para características de eficiência alimentar e carcaça).

Z_1 = matriz de incidência que a com y .

a = efeitos genéticos aditivos diretos aleatórios.

Z_2 = matriz de incidência que associa m com y .

m = efeitos genéticos aditivos maternos, (apenas para P120 e P210).

Z_3 = matriz de incidência que associa m com y .

mpe = efeitos ambientais permanentes maternos (apenas para P120 e P210).

e = efeitos aleatórios residuais.

Para análises bi e multicaracterística, foi utilizado o modelo matricial descrito a seguir (Campos et al., 2012):

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & X_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_{11} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_1 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & Z_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \vdots \\ \alpha_{11} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ \vdots \\ e_n \end{bmatrix}$$

Em que:

y = vetor de fenótipos que inclui cada uma das n características.

b = vetor de efeitos fixos.

α = vetor de efeitos genéticos aleatórios.

e = vetor dos efeitos residuais.

X e Z = são as matrizes relacionando as observações das n características com seus respectivos efeitos fixos e aleatórios do animal.

A estrutura básica da matriz de covariância utilizada neste estudo pode ser descrita como (Campos et al., 2012):

$$\text{VAR} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \vdots \\ \alpha_n \\ e_n \\ \vdots \\ e_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{1,1}A & \dots & g_{1,n}A & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{n,1}A & \dots & g_{n,n}A & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & r_{1,1}I & \dots & r_{1,n}I \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & r_{1,1}I & \dots & r_{1,n}I \end{bmatrix}$$

Em que:

$g_{i,j}$ = elementos da matriz G , matriz de covariância genética aditiva com cada elemento definido como: $g_{1,1}$ = variância genética aditiva para os efeitos diretos da característica 1.

$g_{1,n} : g_{n,1}$ = covariância aditiva entre a 1° e n característica.

$g_{n,n}$ = efeitos da variância genética aditiva da característica n .

A = numerador d matriz de pedigree.

$r_{i,j}$ = elementos de matriz R , matriz de covariância residual com cada elemento definido como:

$r_{1,1}$ = efeito da variância residual para característica 1.

$r_{1,n} = r_{n,1}$ é a covariância residual entre a 1° e a n característica.

$r_{n,n}$ = variância residual para a característica n .

I = matriz de identidade que implica a independência de erros com a mesma variância.

Resultados e Discussão

Na Tabela 2, são apresentadas as estimativas dos componentes de variância e herdabilidades para as características de crescimento, reprodução, carcaça e eficiência alimentar em bovinos da raça Guzerá em análises unicaracterísticas, bicaracterísticas e multicaracterísticas.

Os valores das variâncias genéticas aditivas entre os diferentes pesos no modelo multicaráter foram superiores às estimadas nos modelos uni e bicaracterísticas e demonstram grande variabilidade genética entre elas. Da mesma forma, Mercadante et al. (2004) relataram aumento da variância ge-

nética aditiva de pesos em diferentes idades quando submetidos em análises multicaracterísticas.

Tabela 2. Estimativas dos componentes de variância para as características de crescimento, reprodução, carcaça e eficiência alimentar em bovinos da raça Guzerá em análises unicaracterísticas, bicaracterísticas e multicaracterísticas.

Análise unicaracterística							
Carac- terística	σ_a^2	σ_m^2	σ_{mpe}^2	σ_e^2	σ_p^2	$h_a^2 \pm DP$	$h_m^2 \pm DP$
P120	45,90	18,55	26,38	181,30	245,75	0,17 ± 0,03	0,07 ± 0,02
P210	115,00	33,98	47,07	364,70	513,68	0,21 ± 0,03	0,06 ± 0,02
P365	268,60	-	-	563,80	832,40	0,32 ± 0,03	-
P450	358,00	-	-	553,70	911,70	0,39 ± 0,03	-
PE365	0,57	-	-	1,72	2,29	0,25 ± 0,04	-
PE450	1,19	-	-	3,08	4,27	0,28 ± 0,04	-
AOL	10,13	-	-	32,50	42,63	0,24 ± 0,06	-
EG	0,09	-	-	0,96	1,05	0,09 ± 0,05	-
EGP8	0,54	-	-	1,33	1,87	0,29 ± 0,07	-
CAR	0,06	-	-	0,35	0,41	0,15 ± 0,09	-
CMS	0,17	-	-	0,69	0,86	0,20 ± 0,10	-
Análise bicaracterística							
Carac- terística	σ_a^2	σ_m^2	σ_{mpe}^2	σ_e^2	σ_p^2	$h_a^2 \pm DP$	$h_m^2 \pm DP$
P120	57,28	18,28	22,64	219,82	318,02	0,18 ± 0,02	0,07 ± 0,01
P210	126,76	31,95	38,25	372,44	569,40	0,22 ± 0,03	0,06 ± 0,01
P365	279,79	-	-	567,40	847,19	0,33 ± 0,02	-
P450	362,88	-	-	560,79	923,67	0,39 ± 0,03	-
PE365	0,63	-	-	1,67	2,30	0,27 ± 0,04	-
PE450	1,23	-	-	3,01	4,24	0,29 ± 0,04	-
AOL	10,70	-	-	31,91	42,61	0,25 ± 0,06	-
EG	0,11	-	-	0,95	1,06	0,10 ± 0,05	-
EGP8	0,60	-	-	1,51	2,12	0,29 ± 0,07	-
CAR	0,06	-	-	0,35	0,41	0,14 ± 0,09	-
CMS	0,17	-	-	0,67	0,84	0,20 ± 0,01	-

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Análise multicaracterística							
Característica	σ_a^2	σ_m^2	σ_{mpe}^2	σ_e^2	σ_p^2	$h_a^2 \pm DP$	$h_m^2 \pm DP$
P120	99,64	1,80	12,22	181,60	295,26	0,34 ± 0,00	0,03 ± 0,00
P210	245,20	2,53	13,35	378,20	639,28	0,38 ± 0,00	0,02 ± 0,00
P365	324,70	-	-	605,50	930,20	0,35 ± 0,00	-
P450	390,30	-	-	606,50	996,80	0,39 ± 0,01	-
PE365	0,79	-	-	1,65	2,44	0,32 ± 0,01	-
PE450	1,30	-	-	3,02	4,32	0,30 ± 0,01	-
AOL	11,66	-	-	31,48	43,14	0,27 ± 0,00	-
EG	0,10	-	-	0,95	1,05	0,10 ± 0,00	-
EGP8	0,59	-	-	1,29	1,88	0,31 ± 0,00	-
CAR	0,06	-	-	0,34	0,40	0,15 ± 0,01	-
CMS	0,20	-	-	0,64	0,84	0,23 ± 0,01	-

σ_a^2 : variância genética aditiva direta; σ_m^2 : variância genética aditiva materna; σ_{mpe}^2 : variância genética ambiente permanente; σ_e^2 : variância residual; σ_p^2 : variância fenotípica; h^2_d : herdabilidade direta; h^2_d : desvio-padrão da herdabilidade direta; h^2_m : herdabilidade materna; h^2_m : erro padrão da herdabilidade materna; P120: peso aos 120 dias de idade; P210: peso aos 210 dias de idade; P365: peso aos 365 dias de idade; P450: peso aos 450 dias de idade; PE365: perímetro escrotal aos 365 dias de idade; PE450: perímetro escrotal aos 450 dias de idade AOL: área de olho de lombo; EG: espessura de gordura subcutânea; EGP8: espessura na garupa; CAR: consumo alimentar residual; consumo de matéria seca.

Boligon et al. (2009) também obtiveram valores de variância genética aditiva maiores em análises multicaracterísticas em relação às unicaracterísticas e bicaracterísticas, para pesos mensurados a partir do sobreano. Os maiores valores de variância genética aditiva podem estar relacionados à diminuição do viés que existe nos modelos ao considerarem somente o desempenho individual de uma ou somente duas características como critério de avaliação (Meyer et al., 1993).

A variância de ambiente permanente materno aumentou relativamente do P120 para P210, o qual é bastante influenciado pela ordem de parto da vaca, sendo que este efeito é minimizado nas fases ou nos pesos pós desmama, (Mucari; Oliveira, 2003; Laureano et al., 2011). Esse efeito é conferido pela capacidade uterina, comportamento materno e condições nutricionais durante o estágio final da prenhez (Mucari; Oliveira, 2003).

Em relação às três análises consideradas nesse estudo, o efeito de ambiente materno permanente foi de maior magnitude na análise unicaracterística em relação às demais. Tal fato, provavelmente, é devido à baixa correlação existente entre os efeitos de ambiente permanente e os pesos pré desmame. Os pesos em idades posteriores (pós-desmame), por outro lado, não são influenciados pelos efeitos maternos, sejam eles aditivos ou de ambiente permanente, conforme relatado por Magnabosco et al. (2000). As estimativas das variâncias aditiva para PE365 foram superiores na análise multicaracterísticas, enquanto a residual foi superior na análise unicaracterística (Tabela 2). Esse aumento das estimativas de variâncias em abordagem multicaracterística em detrimento das demais metodologias retrata a eliminação do viés resultante da seleção (Meyer et al., 1993) que acontece com a metodologias bi e multicaráter (Bolígon et al., 2009), conforme mencionado anteriormente para pesos.

As variâncias aditivas para CAR e CMS foram semelhantes nas três análises. Os valores obtidos da variância aditiva para consumo alimentar residual foram baixos, e semelhantes aos relatados por Cancino-Baier et al. (2019), Grion et al. (2014), Crowley et al. (2010), e Ceacero et al. (2016). O mesmo foi observado para o consumo de matéria seca, no entanto, os valores encontrados na literatura foram superiores ao desse trabalho (Santana et al., 2014; Grion et al., 2014). Santana et al. (2014) encontraram valores de componentes de variância genética e residual para CAR de 0,20 e 0,33, e para CMS de 0,29 e 0,42, em análise unicaráter. Grion et al. (2014) relataram componentes de variância semelhantes ao desse estudo, sendo 0,02 para variância genética aditiva e residual para CAR e para CMS de 0,26 e 0,27 para variância genética aditiva e residual, respectivamente. Para características de carcaça, as estimativas foram moderadas e semelhantes nas três análises, e os componentes obtidos neste trabalho também foram similares aos reportados por Kluska et al. (2018) e Pires et al. (2017).

As estimativas de herdabilidade para os pesos, P120, P210, P365 e P450 foram semelhantes nas análises uni e bicaracterísticas, com coeficientes de moderada magnitude, exceto no modelo multi, em que os valores obtidos para P120 e P210 foram superiores. Esse aumento no valor da estimativa de variância genética aditiva e herdabilidade na análise multicaracterística, pode ser decorrente da recuperação de parte da variância perdida com a seleção. De acordo com os estudos de Bolígon et al. (2013), foi observado um au-

mento considerável das estimativas de herdabilidade para características de pesos pós-desmama quando realizadas sob esses três modelos. Os autores ressaltaram o quão relevante a estimativa dos componentes de variâncias aditivas e residuais que devem ser feitas de acordo com a idade, levando-se em consideração as correlações existentes em todos os estágios do animal, isto é, do nascimento até o sobreano.

Kluska et al. (2018), Grion et al. (2014) e Yokoo et al. (2008) encontraram valores de herdabilidade semelhantes a esse estudo na raça Nelore para peso ao desmame de 0,21, 0,23 e 0,22, em modelo bi e multicaráter, respectivamente. Entretanto, os pesos pré-desmame foram inferiores aos relatados por Brito et al. (2016) e Abreu et al. (2018) na raça Nelore, variando de 0,28 a 0,41. Para peso ao ano e sobreano, estimativas de herdabilidade obtidas neste estudo, foram de moderada a alta, similares ao reportado na literatura em bovinos da raça Guzerá, em que os valores variaram de 0,39 a 0,53 (Tramonte et al., 2019; Ferreira et al., 2017). Coeficientes de herdabilidade de média a alta magnitude para P365 e P450 também foram descritos na raça Nelore (Lopes et al., 2017; Grion et al., 2014; Garnerio et al., 2010; Boligon et al., 2008).

As herdabilidades maternas para peso aos 120 e 210 dias de idade estimadas com os três modelos (Tabela 2) foram semelhantes às estimativas descritas na literatura, cujos valores encontrados variaram de 0,06 a 0,12 (Garnero et al. 2010; Lopes et al., 2016), respectivamente em animais da raça Nelore. No entanto, apesar da menor influência materna nos pesos corporais após a desmama, esse efeito ainda continua presente (Laureano et al., 2011), e a sua não inclusão nas análises para peso aos 210 dias de idade pode levar à uma transferência da variância genética aditiva materna para o componente de variância do efeito genética aditivo direto, o que acaba causando uma superestimação (Dias et al., 2005). Dessa forma, as estimativas de herdabilidade para os pesos apresentaram variabilidade genética suficiente para responder à seleção, indicando ganhos genéticos para essas características ao serem incluídas no planejamento dos critérios de seleção.

Para PE365 e PE450, os coeficientes de herdabilidade foram de magnitude moderada nos três modelos (0,25 a 0,32), porém, apresentaram valores relativamente maiores no modelo multicaráter, especialmente para P365, o que pode indicar uma subestimação dos valores de herdabilidade quando estimados em análise uni e bicaracterística. Esse aumento na magnitude da

variância genética aditiva obtida dos modelos multicaracterísticos, indica que esse modelo eliminou o vício ocasionado pela seleção, que talvez não tenha sido computado em análises mais simples (uni e bicaracterístico) e que não considerou todas as relações de covariância entre todas as características presentes neste estudo. O relato de Meyer et al. (1993), também corrobora com essa abordagem. Os resultados são condizentes com os trabalhos de Tramonte et al. (2019) e Grupioni et al. (2015) em animais da raça Guzerá, em que esses autores estimaram os valores de herdabilidade para PE365 e PE450 variando de 0,33 a 0,41 (bicaracterístico) e de 0,45 e 0,39 (multicaracterístico) e foram descritas por Mota et al. (2019) na mesma raça. Segundo o mesmo autor, os coeficientes elevados de herdabilidade mensurados aos 365 dias de idade apontam que o PE365 pode ser usado como critério de seleção, dado que a seleção para PE365 possui relação com precocidade sexual e para PE450 está correlacionada com a melhor capacidade reprodutiva e a fertilidade (Gressler et al., 2014).

Embora exista variação para valores de herdabilidade para perímetro escrotal em zebuínos encontrados na literatura, esses coeficientes são de magnitude moderada a alta (Bolognoni et al., 2011; Yokoo et al., 2010; Boldt et al., 2018). Conforme observado nesse estudo, a seleção para PE365 e PE450 pode acarretar em respostas satisfatórias promovendo ganhos genéticos mais elevados (Kealey et al., 2006).

Em relação às características de carcaça, valores moderados de herdabilidade para AOL foram encontrados, 0,24, 0,25 e 0,27 nos modelos uni, bi e multicaracterístico, respectivamente. Estimativas de herdabilidade moderadas para raça Guzerá também foram descritos por Cancino-Baier et al. (2019) para AOL de 0,29, ao passo que na literatura os coeficientes relatados variaram de 0,13 a 0,46 (Gordo et al., 2016; Ceacero et al., 2016; Moraes et al., 2019) na raça Nelore.

A EG apresentou baixos valores de herdabilidade utilizando os três modelos uni, bi e multicaracterístico, respectivamente (0,09, 0,10 e 0,09), enquanto que para EGP8 foram obtidos valores de maior magnitude (0,29, 0,29 e 0,31). Nos relatos de Cancino-Baier et al. (2019) foram verificados coeficientes de herdabilidade para EG e EGP8 de 0,10 e 0,19, respectivamente, indicando que AOL e EGP8 podem responder mais rápido à seleção do que EG na raça em estudo. O mesmo comportamento foi observado por Kluska et al. (2017) para EG e EGP8, variando de 0,17 e 0,33, respectivamente. Valores

mais elevados foram encontrados por Yokoo et al. (2009) (0,59 e 0,55) para EG e EGP8, respectivamente, em touros jovens da raça Nelore em análise bicaracterística.

Um motivo provável para as estimativas de herdabilidade mais baixa para EG observadas neste estudo, distintas das relatadas por outros autores (Yokoo et al., 2009; Ceacero et al., 2016), pode ser a maior variabilidade das condições ambientais e aos diferentes processos de seleção aos quais foram submetidos os rebanhos analisados por esses autores. Segundo Yokoo et al. (2008) as médias de estimativas de herdabilidade obtidas para EGP8 foram superiores às obtidas para EG quando avaliadas em diferentes idades, e, em sua maioria, os animais *Bos indicus* possuem média de espessura de gordura subcutânea inferior aos animais *Bos taurus* (Lopes et al., 2016). Esta diferença decorre não somente das diferenças genéticas, mas também dos diferentes manejos a que são submetidos, dado que em regiões tropicais os zebuínos são criados em modo extensivo e a deposição de gordura subcutânea normalmente se inicia ao sobreano, seguida da seca (Yokoo et al., 2008).

Os valores de herdabilidade para consumo alimentar residual e consumo de matéria seca nas três análises foram relativamente baixos, variando de 0,14 a 0,17 e 0,20 a 0,23, e estão em conformidade com o encontrado para a raça Guzerá na literatura 0,12 e 0,10, respectivamente (Cancino-Baier et al., 2019). A baixa estimativa de herdabilidade obtida neste trabalho pode ser atribuída ao menor número de observações para essas características, o que leva a dificuldade de estimar a variabilidade genética aditiva existente na raça para esta característica. Outros autores, como Grion et al. (2014), Brunet et al. (2020) e Ferreira Junior et al. (2018) também relataram coeficientes de herdabilidade de baixa magnitude em *Bos indicus*, 0,10, 0,13 e 0,18, respectivamente. Os estudos sobre o CAR em taurinos apresentaram grande amplitude nos coeficientes de herdabilidade, variando de 0,15 a 0,52 (Bouquet et al., 2010; Berry; Crowley 2013; Crowley et al., 2010; Durunna et al., 2011; Mao et al., 2013; Rolfe et al., 2011). Essa variação pode ser explicada pelas diferenças entre as populações, raças avaliadas em idades distintas, além de inúmeras metodologias que são empregados para mensurar as características de eficiência alimentar. Contudo, as características em estudo, mostraram variabilidade genética considerável, o que torna possível o progresso genético para essas características na raça Guzerá.

Na Tabela 3, são apresentadas as correlações genéticas para as características de crescimento, reprodução e eficiência alimentar em análises bicaracterísticas e multicaracterísticas. As correlações genéticas entre os P120, P210, P365 e P450 foram altas em ambas as análises (Tabela 3), e reduziram à medida em que as mensurações eram obtidas em intervalos maiores de idade, o que também foi observado por Bolligon et al. (2010), cujas correlações genéticas foram mais elevadas entre os pesos obtidos em idades aproximadas. Esses valores de correlação genética são similares aos reportados na literatura, sendo positiva e favorável entre os pesos (Abreu et al., 2018; Tramonte et al., 2019). Em análise multicaracterística, os valores das associações genéticas entre os pesos na literatura são de alta magnitude, variando de 0,59 (Bolligon et al., 2010) a 0,82 (Lopes et al., 2017) em animais da raça Nelore, assim como os verificados neste estudo.

As altas correlações entre os pesos em diferentes idades obtidos podem ser atribuídas a um efeito pleiotrópicos de parte dos mesmos genes de ação aditiva que atuam na expressão dessas características, permitindo inferir que animais que possuem maiores pesos quando mais jovens, tendem a ser mais pesados nas idades subsequentes. Assim, selecionar animais em idades jovens, permite obter animais com maior precocidade de crescimento e consequentemente, promove maior lucratividade no sistema de produção de gado de corte (Ferreira et al., 2017).

Em relação às análises bi e multicaráter, a análise multi apresentou ser mais recomendada para avaliação de pesos pós-desmama, concordando com o relato de Pollak et al. (1984), em que a utilização desse modelo pode melhorar as estimativas dos componentes de variância, dos coeficientes de herdabilidade e das associações genéticas por proporcionar redução do viés causado pelo descarte de animais na fase da desmama.

A correlação genética entre as características de peso e reprodução foram positivas e de magnitude moderada a alta em ambas as análises, com exceção das correlações genéticas entre os pesos pré-desmame com PE365 e PE450, em que os valores obtidos na análise multicaracterístico foram superiores à análise bicaracterística (Tabela 3), corroborando os resultados obtidos por Tramonte et al. (2019) e Abreu Luiza et al. (2019), em que o perímetro escrotal possui uma forte correlação genética com peso, variando de 0,36 a 0,76 (P120, P210 com PE365 e PE450), e de 0,51 a 0,72 (P365, P450 com PE365 e PE450) em animais da raça Guzerá e Nelore, respectivamente.

Tabela 3. Correlações genéticas em análise bi (acima da diagonal) e correlações genéticas em análise multicaracterística (abaixo da diagonal) com seus respectivos desvios-padrão (entre parênteses) entre características de crescimento, reprodução e eficiência alimentar.

Carac- terística	P120	P210	P365	P450	PE365	PE450	CAR	CMS
P120	-	0,96 ± 0,01	0,85 ± 0,03	0,84 ± 0,03	0,46 ± 0,11	0,34 ± 0,13	0,22 ± 0,00	0,43 ± 0,91
P210	0,97 ± 0,02	-	0,92 ± 0,02	0,90 ± 0,02	0,52 ± 0,10	0,37 ± 0,11	0,14 ± 0,91	0,39 ± 1,71
P365	0,94 ± 0,02	0,97 ± 0,02	-	0,54 ± 0,01	0,64 ± 0,06	0,43 ± 0,04	0,00 ± 0,51	0,22 ± 1,61
P450	0,93 ± 0,02	0,95 ± 0,02	0,97 ± 0,01	-	0,67 ± 0,06	0,51 ± 0,06	0,16 ± 0,40	0,34 ± 0,41
PE365	0,64 ± 0,02	0,66 ± 0,02	0,65 ± 0,02	0,62 ± 0,02	-	0,94 ± 0,03	0,05 ± 1,11	0,73 ± 0,43
PE450	0,50 ± 0,02	0,51 ± 0,02	0,50 ± 0,02	0,50 ± 0,02	0,90 ± 0,02	-	0,04 ± 0,74	0,61 ± 0,44
CAR	-0,03 ± 0,02	-0,05 ± 0,02	-0,07 ± 0,02	-0,06 ± 0,02	0,04 ± 0,02	0,03 ± 0,02	-	0,46 ± 0,97
CMS	0,55 ± 0,02	0,55 ± 0,02	0,56 ± 0,02	0,55 ± 0,02	0,45 ± 0,02	0,36 ± 0,02	0,26 ± 0,02	-

P120: peso aos 120 dias de idade; P210: peso aos 210 dias de idade; P365: peso aos 365 dias de idade; P450: peso aos 450 dias de idade; PE365: perímetro escrotal aos 365 dias de idade; CAR: consumo alimentar residual; CMS: consumo de matéria seca.

Os resultados obtidos neste estudo ressaltam a importância da seleção para características de fertilidade e desempenho. A seleção para PE irá resultar em animais com maior potencial de desempenho para ganho de peso, além de reduzir a idade de entrada da reprodução, o que conseqüentemente diminuirá o ciclo de produção, chegando ao abate de forma mais rápida.

As correlações genéticas estimadas entre perímetros PE365 e PE450 obtidas nas análises bi e multicaráter foram altas, positivas e favoráveis (Tabela 3). Esses resultados estão em conformidade com os descritos para a raça Guzerá, em que os valores das correlações genéticas entre PE365 e PE450 foram 0,80 (Mota et al., 2019) e 0,90 (Tramonte et al., 2019), respectivamente, concluindo que animais que possuem maior perímetro escrotal a um ano também apresentam maiores perímetros escrotais ao sobreano (Tramonte et al., 2019). Valores semelhantes aos desse estudo para correlação genética entre PE365 e PE450 foram obtidos Bolligon et al. (2008) e Buzanskas et al. (2017) de 0,87 e 0,94, em animais da raça Nelore.

As correlações genéticas entre CAR, PE365 e PE450 foram próximas a zero (0,05 e 0,04) (Tabela 3) em modelo bicaráter e de 0,04 e 0,03 em um modelo multicaráter, respectivamente, mostrando que a seleção para consumo alimentar residual não irá comprometer as características indicativas de fertilidade devido à baixa associação entre essas características. Os resultados encontrados neste estudo estão em conformidade com as correlações genéticas encontradas entre perímetro escrotal e consumo alimentar residual encontradas por Arthur et al. (2001), Schenkel et al. (2004) e Hafila et al. (2012), com valores de -0,03 e 0,15 e -0,04, respectivamente, para diferentes raças de animais *Bos taurus*. Para animais zebuínos, Ferreira Junior et al. (2018) encontraram o valor de 0,07.

As características reprodutivas foram geneticamente correlacionadas com CMS nos dois modelos, corroborando com os resultados de Arthur et al. (2001) entre PE365 e CMS de 0,69 em animais da raça angus. Hafila et al. (2012) relataram correlações genéticas positivas, porém de moderada magnitude entre perímetro escrotal (inicial e final) com o CMS de 0,27 e 0,22, respectivamente. Na raça Guzerá, foram encontradas por Cancino-Baier et al. (2019) uma baixa correlação genética de perímetro escrotal com CMS (0,21).

As correlações genéticas entre CAR e P120, P210, P365 e P450 obtidas foram baixas e favoráveis na análise multicaracterística e próximas de zero na

bicaráter, demonstrando que o consumo alimentar residual pode ser utilizado em programas de seleção como característica complementar e que as respostas correlacionadas com características de crescimento serão mínimas. Em outro estudo mensurando pesos pré e pós-desmama, as correlações genéticas entre esses pesos e CAR também foram de baixa magnitude (Berry; Crowley, 2012; Ceacero et al., 2016; Grion et al., 2014), confirmando não haver respostas correlacionadas significativas entre essas características.

As estimativas de correlação genética moderadas entre as características de crescimento e CMS (Tabela 3) mostraram que os animais mais pesados tendem a apresentar um maior consumo de matéria seca (Arthur et al., 2001). Associações favoráveis foram descritas por Grion et al. (2014) e Torres-Vázquez et al. (2018) em animais da raça Nelore.

As correlações genéticas estimadas entre área de olho de lombo e as características de gordura apresentaram valores positivos e moderados de 0,38 e 0,36 (bicaracterística) e de 0,43 e 0,41 (multicaracterística) (Tabela 4). Resultados semelhantes foram relatados por Buzanskas et al. (2017) (0,36 e 0,23) e Brunet et al. (2017) (0,38 e 0,36). A fase de crescimento do animal se inicia pelo desenvolvimento da musculatura e, posteriormente pela deposição de gordura (Owens, et al., 1993). Desse modo, indivíduos que desenvolvem de forma precoce a musculatura podem iniciar a deposição de gordura mais cedo e possuírem maior qualidade de carcaça (Buzanskas et al., 2017), uma vez que os resultados observados mostram a atuação de genes comuns para as características de carcaça.

Tabela 4. Correlações genéticas aditivas em análises bi (acima da diagonal) e correlações genéticas em multicaracterística (abaixo da diagonal) com seus respectivos desvios-padrão (entre parênteses) entre características de carcaça e eficiência alimentar.

Característica	AOL	EG	EGP8	CAR	CMS
AOL	-	0,38 ± 0,54	0,36 ± 0,19	-0,25 ± 0,75	0,09 ± 0,52
EG	0,43 ± 0,01	-	0,60 ± 0,04	0,16 ± 2,33	0,50 ± 1,83
EGP8	0,41 ± 0,01	0,60 ± 0,00	-	-0,15 ± 0,52	-0,04 ± 0,56
CAR	-0,35 ± 0,01	0,05 ± 0,01	-0,24 ± 0,01	-	0,46 ± 0,97
CMS	0,31 ± 0,01	0,29 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,42 ± 0,01	-

AOL: área de olho de lombo; EG: espessura de gordura subcutânea; EGS: espessura de gordura da garupa; CAR: consumo alimentar residual; CMS: consumo de matéria seca.

As correlações genéticas entre EG e EGP8 foram de alta magnitude, indicando que, grande parte do mesmo conjunto de genes de ação aditiva atuam na expressão dessas duas características. Correlações genéticas semelhantes foram reportadas por Gordo et al. (2016), Yokoo et al. (2010) e Buzanskas et al. (2017) cujos resultados obtidos foram 0,68, 0,67 e 0,59, respectivamente. A forte correlação positiva entre as duas características relacionadas à deposição de gordura mostra que estas são influenciadas em parte pelos mesmos genes em conjunto (Gordo et al., 2012). Contudo, em razão da ausência de uniformidade da cobertura de gordura da carcaça, tem sido sugerido a seleção em conjunto para EG e EGP8 (Yokoo et al., 2008). A espessura de gordura é importante do ponto de vista econômico ao proporcionar uma distribuição uniforme de gordura sobre a carcaça e atuar na proteção da carcaça para impedir o encurtamento das fibras musculares durante o resfriamento, a fim de evitar o comprometimento dos aspectos qualitativos da carne (Yokoo et al., 2008).

As estimativas de correlações genéticas entre CAR e EGP8 foram negativas, enquanto entre CAR e EG positivas, ambas de baixa magnitude (Tabela 4). Esses valores indicam que não houve associação genética entre essas características estudadas. Os valores aqui obtidos indicam que a seleção para CAR não implicará obtenção de animais com menos deposição de gordura em suas carcaças. Baixas estimativas de correlações genéticas também foram descritas na literatura entre CAR e EGP8 em animais da raça Guzerá (-0,07) (Cancino-Baier et al., 2019) e entre CAR e EG, variando de -0,02 a 0,02 (Moraes et al., 2019; Santana et al., 2014) em animais da raça Nelore.

As correlações genéticas estimadas entre CAR e AOL foram moderadas e semelhantes nas análises realizadas, -0,25 (bicaracterística) e -0,35 (multicaracterística). Assim, a baixa associação genética entre CAR e AOL, ou seja, animais com CAR negativo (eficientes) não apresentarão composição de carne magra e, conseqüentemente, não haverá prejuízos por perda da porção comestível da carcaça (Santana et al., 2014), já que, animais com maiores áreas de olho de lombo apresentam maior quantidade de carne na carcaça, e conseqüentemente baixos custos fixos de produção (Santana et al., 2014). Na raça Nelore, os resultados estão similares aos encontrados neste estudo, variando de 0,03 a -0,42 (Moraes et al., 2017; Santana et al., 2014; Ceacero

et al., 2016), e próximas de zero em animais da raça Guzará, 0,09 (Cancino-Baier et al., 2019).

Por outro lado, há trabalhos que apontam que o CAR está correlacionado geneticamente e de forma desfavorável com a taxa de deposição de gordura subcutânea, conforme resultados obtidos por Ceacero et al. (2016) e Mao et al. (2013) ao estudarem animais da raça Nelore e Charolês, que foram positivos e de alta magnitude entre CAR e EG, demonstrando relação antagônica entre essas características. Dessa forma esses autores sugeriram que selecionar animais geneticamente superiores para CAR negativo resultará em menor deposição de gordura subcutânea na carcaça.

As correlações genéticas observadas entre CAR e CMS foram positivas e altas nas análises bi e multicaracterística, 0,46 e 0,42, respectivamente, indicando que, neste estudo, a utilização do modelo multicaracterístico não afetou significativamente o comportamento dessas características de eficiência alimentar. Estimativas de correlação genética de média a alta magnitude, 0,61 a 0,68, foram relatadas por Polizel et al. (2018), Ceacero et al. (2016), Grion et al. (2014), Grigoletto et al. (2017) e Cancino-Baier et al. (2019) em animais zebuínos. Tais estimativas de correlação também estão em consonância com vários relatos descritos na literatura para taurinos (Freetly et al., 2020; Mao et al., 2013; Berry; Crowley 2012). Esses resultados já eram esperados, pois segundo Basarab et al. (2003) selecionar animais para CAR (negativo) levará a animais com menor consumo e exigências nutricionais de manutenção, dado que animais mais eficientes necessitam de menor consumo para um mesmo ganho de peso predito, já que são características independentes do ganho de peso.

A inclusão das características de carcaça, eficiência alimentar, crescimento e de fertilidade nas análises multicaracterísticas não contribuíram efetivamente para mudança de magnitude das estimativas dos componentes de variância e do coeficiente de herdabilidade obtidos na análise unicaráter para AOL, EG, EGP8, CAR e CMS. Esse fato pode ser explicado pelas correlações genéticas estimadas neste estudo entre as características de fertilidade, de crescimento e de carcaça com as de eficiência alimentar serem baixas ou próximas de zero.

Outro aspecto importante é que, no conjunto de informações analisadas neste estudo, a estrutura de dados pode não ter permitido uma melhor análise

se multicaracterística, por haver uma grande diferença no número de observações obtidas para eficiência alimentar e carcaça em relação ao número de observações obtidas para as características de crescimento e fertilidade. O balanceamento ou a distribuição de touros entre essas características pode ter levado a uma falta de conectabilidade ou de estrutura necessária para aplicação da análise multicaracterística. Além disso, para corroborar com essa afirmação, o número de rebanhos que gerou informações para eficiência alimentar e carcaça foi de apenas um; dessa forma, a fonte de observação de um só rebanho pode levar a não conexão deste com os demais aqui estudados, sendo essa falta de estruturação adequada dos dados responsável por resultados não usuais e conclusivos.

As correlações fenotípicas para características de crescimento, reprodução, carcaça e eficiência alimentar estão apresentadas na Tabela 5. As associações fenotípicas entre consumo alimentar residual e características de crescimento foram praticamente nulas, variando de 0,05 a 0,08. Esses resultados podem ser atribuídos ao fato de o CAR ser ajustado na equação de regressão para peso vivo, sendo uma característica independente, confirmando sua baixa ou nenhuma correlação genética ou fenotípica com características de crescimento. Em um estudo realizado com pesos pré e pós-desmama, as correlações fenotípicas também foram de baixa magnitude (Berry; Crowley, 2012; Ceacero et al., 2016; Grion et al., 2014).

As características reprodutivas e o consumo alimentar residual apresentaram baixas associações fenotípicas (Tabela 5), resultados similares aos descritos por Cancino-Baier et al. (2019), Hafila et al. (2012) e Schenkel et al. (2004), em que perímetro escrotal ao ano e sobreano são fenotipicamente independentes do CAR, ou seja, a seleção para CAR acarretará efeitos pouco significativos para as características de reprodução.

Observa-se que não houve correlação fenotípica entre consumo alimentar residual com as características carcaça (Tabela 5), em que os valores foram próximos de zero, corroborando os descritos por Cancino-Baier et al. (2019) em animais da raça Guzerá, em que as correlações variaram de 0,01 a 0,09. Fenotipicamente, a seleção para CAR nessa população avaliada, não irá comprometer as características de rendimento e acabamento de carcaça, ou seja, não afetará as características da qualidade de carcaça.

Tabela 5. Correlações fenotípicas abaixo da diagonal para características de crescimento, reprodução, carcaça e eficiência alimentar em bovinos da raça Guzerá.

Característica	P120	P210	P365	P450	PE365	PE450	AOL	EG	EGP8	CAR	CMS
P120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P210	0,74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P365	0,46	0,59	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P450	0,41	0,50	0,78	-	-	-	-	-	-	-	-
PE365	0,26	0,33	0,48	0,43	-	-	-	-	-	-	-
PE450	0,25	0,31	0,44	0,56	0,79	-	-	-	-	-	-
AOL	0,12	0,19	0,19	0,28	0,15	0,16	-	-	-	-	-
EG	-0,08	-0,05	0,00	0,06	0,12	0,14	0,48	-	-	-	-
EGP8	-0,07	-0,04	0,01	0,06	0,12	0,13	0,48	0,72	-	-	-
CAR	0,06	0,08	0,05	0,04	0,05	0,03	-0,01	0,01	0,04	-	-
CMS	0,05	0,19	0,16	0,16	0,12	0,14	0,37	0,31	0,31	0,49	-

P120: peso aos 120 dias de idade; P210: peso aos 210 dias de idade; P365: peso aos 365 dias de idade; P450: peso aos 450 dias de idade; PE365: perímetro escrotal aos 365 dias de idade; PE450: perímetro escrotal aos 450 dias de idade; AOL: área de olho de lombo; EG: espessura de gordura subcutânea; EGS: espessura de gordura da garupa; CAR: consumo alimentar residual; consumo de matéria seca.

O mesmo comportamento foi observado em estudos anteriores, em que autores relataram correlações fenotípicas baixas a moderadas entre AOL e CAR em taurinos e mestiços (Basarab et al., 2011; Nkumar et al., 2007; Lancaster et al., 2009) e em Nelore (Santana et al., 2014; Moraes et al., 2017). Para características de gordura e CAR, as correlações fenotípicas foram próximas a zero em taurinos (Basarab et al., 2011; Arthur et al., 2001; Lancaster et al., 2009; Mao et al., 2013) e zebuínos (Ceacero et al., 2016; Santana et al., 2014).

A respeito das características de crescimento e CMS (Tabela 5), foram observadas correlações fenotípicas de baixas magnitudes. Valores similares para correlações fenotípicas entre os perímetros escrotais e CMS também foram encontradas neste estudo (Tabela 5), indicando não haver ganhos fenotípicos significativos tanto para perímetro escrotal quanto para desempenho em resposta à seleção para CMS.

As correlações fenotípicas foram de moderada magnitude, variando de 0,31 a 0,37 entre CMS e as características de carcaça (Tabela 5), o que está de acordo com os valores obtidos por Cancino-Baier et al. (2019) entre CAR, AOL, EG e EGP8, com correlações de 0,23 0,24 e 0,34, respectivamente, em bovinos da raça Guzerá. Esses resultados obtidos sugerem que, fenotipicamente, os animais com maior rendimento de carcaça, espessura de gordura subcutânea e de garupa são aqueles com maior consumo de matéria seca.

Adicionalmente, a correlação fenotípica entre CAR e CMS também foi alta (0,49), sendo possível obter respostas correlacionadas para essas duas características, ou seja, a associação fenotípica positiva entre CAR e CMS evidencia que animais eficientes (CAR negativo) apresentaram menor consumo. Em outros estudos realizados por Mao et al. (2013), Rolfe et al. (2011) e Ceacero et al. (2016), as correlações fenotípicas entre CAR e CMS foram mais elevadas de 0,58, 0,61 e 0,71, respectivamente.

As características reprodutivas, desempenho, carcaça e eficiência alimentar são importantes indicadores de lucratividade e desempenho nos sistemas de produção. Contudo, a identificação de animais eficientes no aproveitamento de alimentos e o conhecimento sobre o comportamento conjunto dessas características são importantes para definição dos critérios de seleção nos programas de melhoramento genético de bovinos de corte sem que ocorra o comprometimento dessas características, e a assim maximizar de forma sustentável e econômica os sistemas de produção.

Conclusões

O CAR e o CMS apresentaram herdabilidade e variabilidade genética suficiente para serem incluídas em programas de seleção e, dessa forma poderão promover ganhos genéticos para eficiência alimentar. A seleção para consumo alimentar residual não irá influenciar respostas correlacionadas indesejáveis para perímetro escrotal, carcaça (rendimento e acabamento) e crescimento, dado que as associações genéticas e fenotípicas foram de baixas magnitudes, por vezes, próximas de zero. Ou seja, a seleção para animais eficientes não levará à produção de animais com baixo desempenho produtivo, reprodutivo e de carcaça, contribuindo assim para a diminuição nos custos dos sistemas de produção de pecuária de corte.

No que concerne às três análises utilizadas neste estudo, as estimativas dos componentes de variância e os valores de herdabilidade foram semelhantes. As correlações genéticas estimadas foram, em sua grande maioria, superiores no modelo multicaracterística. Esses resultados indicam que a redução do viés previamente à seleção das características, corrigida com modelo multicaracterístico, pode levar a um aumento da variância genética aditiva e demonstra que os resultados com análises unicaracterística e bicaracterística podem estar sendo subestimados.

Referências

- ABREU, L. R. A.; MOTA L. F. M.; FERREIRA T. A.; PEREIRA I. G.; PIRES A. V.; VILLELA S. D. J.; MERLO F. A.; MARTINS P. G. M. A. Genetic evaluation of bodyweight, scrotal circumference, and visual appraisal scores in *Bos indicus* cattle. **Animal Production Science**, v. 58, n. 9, p. 1584, 2018.
- ARTHUR, P. F.; ARCHER, J. A.; JOHNSTON, D. J.; HERD, R. M.; RICHARDSON, E. C.; PARNELL, P. F. Genetic and phenotypic variance and covariance components for feed intake, feed efficiency, and other postweaning traits in Angus cattle. **Journal of Animal Science**, v. 79, n. 11, p. 2805, 2001.
- ARTHUR, P. F.; HERD, R. M. Efficiency of feed utilization by livestock – Implications and benefits of genetic improvement. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 85, n. 3, p. 281-290, 1 set. 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DE ZEBU. **Raças zebuínas**: Guzerá. Disponível em: <https://www.abcz.org.br/a-abcz/racas-zebuinas/raca/4/guzera>. Acesso em: 01 dez. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS. **Beef Report**: Rebanho bovino brasileiro. Brasília, DF, 2019.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE CRIADORES E PESQUISADORES. **Programa Guzerá**. Riberão Preto, SP: GUZERÁ BRASIL, 2008.

BASARAB, J. A.; PRICE, M. A.; AALHUS, J. L.; OKINE, E. K.; SNELLING, W. M.; LYLE, K. L. Residual feed intake and body composition in young growing cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 83, n. 2, p. 189-204, jun. 2003.

BASARAB, J. A.; COLAZO, M. G.; AMBROSE, D. J.; NOVAK, S.; MCCARTNEY, D.; BARON, V. S. Residual feed intake adjusted for backfat thickness and feeding frequency is independent of fertility in beef heifers. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 91, n. 4, p. 573-584, out. 2011.

BERRY, D. P.; CROWLEY, J. J. Residual intake and body weight gain: A new measure of efficiency in growing cattle. **Journal of Animal Science**, v. 90, n. 1, p. 109-115, jan. 2012.

BERRY, D. P.; CROWLEY, J. J. Genetics of feed efficiency in dairy and beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 91, n. 4, p. 1594-1613, abr. 2013.

BOLDT, R. J.; SPEIDEL, S. E.; THOMAS, M. G.; ENNS, R. M. Genetic parameters for fertility and production traits in Red Angus cattle. **Journal of Animal Science**, v. 96, n. 10, p. 4100-4111, out. 2018.

BOLIGON, A. A.; ALBUQUERQUE, L. G. de; RORATO, P. R. N. Associações genéticas entre pesos e características reprodutivas em rebanhos da raça Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 4, p. 596-601, abr. 2008.

BOLIGON, A. A.; ALBUQUERQUE, L. G.; MERCADANTE, M. E. Z.; BALDI, F.; LÔBO, R. B. Herdabilidades e correlações entre pesos do nascimento à idade adulta em rebanhos da raça Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 12, p. 2320-2326, dez. 2009.

BOLIGON, A.; MERCADANTE, M. E. Z.; BALDI, F.; LÔBO, R. B.; ALBUQUERQUE, L. G. Multi-trait and random regression mature weight heritability and breeding value estimates in Nelore cattle. **South African Journal of Animal Science**, v. 39, n. 1, out. 2010.

BOLIGON, A. A.; BALDI, F.; ALBUQUERQUE, L. G. Estimates of genetic parameters for scrotal circumference using random regression models in Nelore cattle. **Livestock Science**, v. 137, p. 205-209, 2011.

BOLIGON, A. A.; BIGNARDI, A. B.; MERCADANTE, M. E. Z.; BALDI, F.; LÔBO, R. B. Principal components and factor analytic models for birth to mature weights in Nelore cattle. **Livestock Science**, v. 152, n. 2-3, p. 135-142, abr. 2013.

BOUQUET, A.; FOUILLOUX, M. N.; RENAND, G.; PHOCAS, F. Genetic parameters for growth, muscularity, feed efficiency and carcass traits of young beef bulls. **Livestock Science**, v. 129, n. 1-3, p. 38-48, abr. 2010.

BRUNES, L. C. Estudo genético-quantitativo de características de crescimento, reprodução, carcaça e escores visuais em um rebanho nelore sob seleção para precocidade sexual. 2017. 190 f. Dissertação (Mestrado) - Goiânia. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

BRUNES, L. C.; BALDI, F.; LOPES, F. B.; GONCALVES NARCISO, M.; LOBO, R. B.; ESPIGOLAN, R.; COSTA, M. F. O.; MAGNABOSCO, C. U. Genomic prediction ability for feed efficiency traits using different models and pseudo-phenotypes under several validation strategies in Nelore cattle. **Animal**, p. 100085, dez. 2020.

BUZANSKAS, M. E.; PIRES, P. S.; CHUD, T. C. S.; BERNARDES, P. A.; ROLA, L. D.; SAVEGNAGO, R. P.; LÔBO, R. B.; MUNARI, D. P. Parameter estimates for reproductive and carcass traits in Nelore beef cattle. **Theriogenology**, v. 92, p. 204-209, abr. 2017.

CAMPOS, R. V.; COBUCCI, J. A.; COSTA, C. N.; NETO, J. B. Genetic parameters for type traits in Holstein cows in Brazil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n. 10, p. 2150–2161, out. 2012.

CANCINO-BAIER, D. E.; MAMANI, G. C.; SANTANA, B. F.; MATTOS, E. C.; ELER, J. P.; SAINZ, R. D.; TONETTO, T.; TONETTO, V.; TONETTO, F.; QUIÑONES, J. A.; SEPÚLVEDA, N.; FERRAZ, J. B. S. Research Article Estimation of variance components for carcass and production traits in Guzerat cattle. **Genetics and Molecular Research**, v. 18, n. 3, 2019.

CEACERO, T. M.; MERCADANTE, M. E. Z.; CYRILLO, J. N. dos S. G.; CANESIN, R. C.; BONILHA, S. F. M.; ALBUQUERQUE, L. G. de. Phenotypic and Genetic Correlations of Feed Efficiency Traits with Growth and Carcass Traits in Nellore Cattle Selected for Postweaning Weight. **Plos One**, v. 11, n. 8, p. e0161366, 18 ago. 2016.

CROWLEY, J. J.; MCGEE, M.; KENNY, D. A.; CREWS, D. H.; EVANS, R. D. AND BERRY, D. P. Phenotypic and genetic parameters for different measures of feed efficiency in different breeds of Irish performance-tested beef bulls. **Journal of Animal Science**, v. 88, n. 3, p. 885-894, mar. 2010.

DIAS, L. T.; ALBUQUERQUE, L. G.; TONHATI, H.; TEIXEIRA, R. Estimação de parâmetros genéticos para peso em diferentes idades para animais da raça Tabapuã. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 6, p. 1914-1919, dez. 2005.

DURUNNA, O. N.; PLASTOW, G.; MUJIBI, F. D. N.; GRANT, J.; MAH, J.; BASARAB, J. A.; OKINE, E. K. MOORE, S. S.; WANG, Z. Genetic parameters and genotype × environment interaction for feed efficiency traits in steers fed grower and finisher diets. **Journal of Animal Science**, v. 89, n. 11, p. 3394-3400, nov. 2011.

FALCONER, D. S.; MACKAY, F. C. T. **Introduction to quantitative genetics**. 4. ed. Harlow: Longman, 1996.

FARIA, C. U.; PEREIRA, J. T.; YOKOO, M. J. I.; MAGNABOSCO, C. U.; ALBUQUERQUE, L. G.; LÔBO, R. B. Interação genótipo-ambiente na análise genética do peso ao desmame de bovinos Nelore sob enfoque bayesiano. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 33, n. 2, abr. 2011.

FERREIRA, J. L.; BRESOLIN, T.; LOPES, F. B.; GARCIA, J. A. S.; NEPOMUCENO, L. L.; SCHMIDT, A. B.; LOBO, R. B. Modelos de regressão aleatória para característica de crescimento em bovinos da raça guzerá. **Ciência Animal Brasileira**, v. 18, 2017.

FERREIRA JÚNIOR, R. J.; BONILHA, S. F. M.; MONTEIRO, F. M.; CYRILLO, J. N. S. G.; BRANCO, R. H.; SILVA, J. A. I.; MERCADANTE, M. E. Z. Evidence of negative relationship between female fertility and feed efficiency in Nellore cattle. **Journal of Animal Science**, v. 96, n 10, p. 4035-4044, set. 2018.

FITZSIMONS, C.; MCGEE, M.; KEOGH, K.; WATERS, S. M.; KENNY, D. A. Molecular Physiology of Feed Efficiency in Beef Cattle. In: **Biology of Domestic Animals**. Boca Raton: CRC Press, 2017. p. 122-165.

FREETLY, C. H.; KUEHN, A. L.; THALLMAN, M. R.; SNELLING, M. W. Heritability and genetic correlations of feed intake, body weight gain, residual gain, and residual feed intake of beef cattle as heifers and cows. **Journal of Animal Science**, v. 98, n. 1, jan. 2020.

GARNERO, A.; MUÑOZ, M. C. C. D.; MARCONDES, C. R.; LÔBO, R. B.; LIRA, T.; GUNSKI, R. J. Genetic parameters estimation among pre and post weaning weights in Nellore breed. **Archivos de Zootecnia**, v. 59, 2010.

- GARNERO, A. LÔBO, R. B.; BEZERRA, L. A. F.; OLIVEIRA, H. N. Comparação entre alguns critérios de seleção para crescimento na raça Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 3, p. 714-718, jun. 2001.
- GORDO, D. G. M.; BALDI, F.; LÔBO, R. B.; KOURY FILHO, W.; SAINZ, R. D.; ALBUQUERQUE, L. G. Genetic association between body composition measured by ultrasound and visual scores in Brazilian Nelore cattle. **Journal of Animal Science**, v. 90, n. 12, p. 4223-4229, dez. 2012.
- GORDO, D. G. M.; ESPIGOLAN, R.; TONUSSI, R. L.; JÚNIOR, G. A. F.; BRESOLIN, T.; BRAGA MAGALHÃES, A. F.; FEITOSA, F. L.; BALDI, F.; CARVALHEIRO, R.; TONHATI, H.; OLIVEIRA, H. N.; CHARDULO, L. A. L.; ALBUQUERQUE, L. G. Genetic parameter estimates for carcass traits and visual scores including or not genomic information. **Journal of Animal Science**, v. 94, n. 5, p. 1821-1826, maio 2016.
- GR, S. L.; GRESSLER, M. G. M.; BERGMANN, J. A. G. Fatores ambientes e estimativas de parâmetros genéticos do perímetro escrotal na raça Nelore. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 66, n. 4, p. 986-994, ago. 2014.
- GRIGOLETTO, L.; PEREZ, B. C.; SANTANA, M. H. A.; BALDI, F.; FERRAZ, J. B. S. Genetic contribution of cytoplasmic lineage effect on feed efficiency in Nelore cattle. **Livestock Science**, v. 198, p. 52-57, 2017.
- GRION, A. L.; MERCADANTE, M. E. Z.; CYRILLO, J. N. S. G.; BONILHA, S. F. M.; MAGNANI, E.; BRANCO, R. H. Selection for feed efficiency traits and correlated genetic responses in feed intake and weight gain of Nelore cattle. **Journal of Animal Science**, v. 92, n. 3, p. 955-965, mar. 2014.
- GRUPIONI, N. V.; GUIDOLIN, D. G. F.; VENTURINI, G. C.; LÔBO, R. B.; MUNARI, D. P. Parâmetros genéticos e tendências genéticas para características reprodutivas e de crescimento testicular em bovinos Guzerá. **Revista Caatinga**, p. 8, jun. 2015.
- GUO, G.; ZHAO, F.; WANG, Y.; ZHANG, Y.; DU, L.; SU, G. Comparison of single-trait and multiple-trait genomic prediction models. **BMC Genomic Data**, v. 15, n. 1, p. 30, mar. 2014.
- HAFLA, A. N.; LANCASTER, P. A.; CARSTENS, G. E.; FORREST, D. W.; FOX, J. T.; FORBES, T. D. A.; HOLLOWAY, J. W. Relationships between feed efficiency, scrotal circumference, and semen quality traits in yearling bulls. **Journal of Animal Science**, v. 90, n. 11, 2012.
- HERD, R.; ARCHER, J.; ARTHUR, P. Reducing the cost of beef production through genetic improvement in residual feed intake: Opportunity and challenges to application. **Journal of Animal Science**, v. 81, n. 13, suppl. 1, p. E9-E17, 2003.
- JUNIOR, J. A.; SOUZA, J. C.; CUSHMAN, R. A.; PERAZZA, C. A.; MEIRELLES, S. L.; GONÇALVES, T. M. Alternative models in genetic analyses of carcass traits measured by ultrasonography in guzerá cattle: a bayesian approach. **Journal of Agricultural Science**, v. 5, n. 9, ago. 2013.
- KEALEY, C. G.; MACNEIL, M. D.; TESS, M. W.; GEARY, T. W.; BELLOWES, R. A. Genetic parameter estimates for scrotal circumference and semen characteristics of Line 1 Hereford bulls. **Journal of Animal Science**, v. 84, n. 2, p. 283-290, fev. 2006.
- KLUSKA, S.; BALDI, F.; OLIVIERI, B. F.; BONAMY, M.; CHIAIA, H. L. J.; FEITOSA, F. L. B.; BERTON, M. P.; PERIPOLLI, E.; LEMOS, M. V. A.; TONUSSI R. L.; LÔBO, R. B.; MAGNABOSCO, C. U.; DI CROCE, F.; OSTERSTOCK, J.; PEREIRA, A. S. C.; MUNARI, D. P.; BEZERRA, L. A. F.; LOPES, F. B. 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, out. 2018.

- KOCH, R. M.; SWIGER, L. A.; DOYLE, C.; GREGORY, K. E. Efficiency of feed use in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 22, n. 2, p. 486–494, 1 maio 1963.
- LANCASTER, P. A.; CARSTENS, G. E.; RIBEIRO, F. R.; TEDESCHI, L. O.; CREWS, D. H. JR. Characterization of feed efficiency traits and relationships with feeding behavior and ultrasound carcass traits in growing bulls. **Journal of Animal Science**, v. 87, n. 4, p.1528-39, abr 2009.
- LANNA, D. P. D.; ALMEIDA, R. Exigências nutricionais e melhoramento genético para eficiência alimentar: Experiências e lições para um projeto nacional. **Reunião Anual Da Sociedade Brasileira De Zootecnia**, p. 248-259, 2004.
- LAUREANO, M. M.; BOLIGON, A. A.; COSTA, R. B.; FORNI, S.; SEVEROL, J. L. P.; ALBUQUERQUE, L. G. Estimativas de herdabilidade e tendências genéticas para características de crescimento e reprodutivas em bovinos da raça Nelore: Estimates of heritability and genetic trends for growth and reproduction traits in Nelore cattle. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 63, n. 1, p. 143-152, fev. 2011.
- LOPES, F. B.; MAGNABOSCO, C. U.; GONCALVES NARCISO, M.; SAINZ, R. D. Selection Indices and Multivariate Analysis Show Similar Results in the Evaluation of Growth and Carcass Traits in Beef Cattle. **Plos One**, v. 11, n. 1, p. e0147180, jan. 2016.
- LOPES, F. B.; FERREIRA, J. L.; LOBO, R. B.; ROSA, G. J. M. Bayesian analyses of genetic parameters for growth traits in Nelore cattle raised on pasture. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 3, 2017.
- MAGNABOSCO, C. U.; LOBO, R. B.; FAMULA, T. R. Bayesian inference for genetic parameter estimation on growth traits for Nelore cattle in Brazil, using the Gibbs sampler. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v. 117, n 3 , p. 169-188, 2000.
- MAO, F.; CHEN, L.; VINSKY, M.; OKINE, E.; WANG, Z.; BASARAB, J.; LI, C. Phenotypic and genetic relationships of feed efficiency with growth performance, ultrasound, and carcass merit traits in Angus and Charolais steers. **Journal of Animal Science**, v. 91, n. 5, p. 2067-2076, maio 2013.
- MENDES, E. D. M.; FARIA, C.U.; SAINZ, R.D.; SILVEIRA, A.C.L.; MAGNABOSCO, C.U.; EIFERT, E.C.; BALDI, F.; VENTURA, H.T.; CASTRO, L.M.; RIBEIRO, L.B.; CAVALCANTI, L.F.L.; JOSAKIAN, L.A.; SILVA, L.O.C.; MERCADANTE, M.E.Z.; RIBAS, M.N.; LOBO, R.B.; ARNANDES, R.H.B.; GOMES, R.C.; FARJALLA, Y.B. **Procedimentos para mensuração de consumo individual de alimento em bovinos de corte**. 2. ed. Riberião Preto: Associação Nacional de Criadores e Pesquisadores, 2020.
- MEYER, K.; CARRICK, M. J.; DONNELLY, B. J. P. Genetic parameters for growth traits of Australian beef cattle from a multibreed selection experiment. **Journal of Animal Science**, v. 71, n. 10, p. 2614-2622, out. 1993.
- MEYER, K.; HOULE, D. Sampling based approximation of confidence intervals for functions of genetic covariance matrices. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v. 20, , p. 523–526, Jan. 2013.
- MISZTAL, I.; LAWLOR, T. J.; SHORT, T. H. Implementation of Single- and Multiple-Trait Animal Models for Genetic Evaluation of Holstein Type Traits. **Journal Dairy Science**, v. 76, n. 5, p. 1421-1432, maio 1993.
- MISZTAL, I.; TSURUTA, S.; LOURENCO, D. **BLUPF90 family of programs**. Disponível em: <http://nce.ads.uga.edu/wiki/lib/exe/fetch.php?media=blupf90_all1.pdf>.

MORAES, G. F.; ABREU, L. R. A.; FERREIRA, I. C.; PEREIRA, I. G. Genetic analysis of residual feed intake adjusted for fat and carcass and performance traits in a Nellore herd. **Ciência Rural**, v. 47, n. 2, 2017.

MORAES, G. F.; ABREU, L. R. A.; TORAL, F. L.B.; FERREIRA, I. C.; VENTURA, H. T.; BERGMANN, J. A. G.; PEREIRA, I. D.; Selection for feed efficiency does not change the selection for growth and carcass traits in Nellore cattle. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v. 136, n. 6, p. 464-473, nov. 2019.

MOTA, L. F. M.; COSTA, L. S.; ABREU, L. R. A.; BONAFÉ, C. M.; VENTURA, H. T.; MARTINS, P. G. M. A. Genetic evaluation for scrotal circumference in Guzerat cattle through different models. **Livestock Science**, v. 222, p. 1-6, abr. 2019.

MUCARI, T. B.; OLIVEIRA, J. A.de. Análise genético-quantitativa de pesos aos 8, 12, 18 e 24 meses de idade em um rebanho da raça Guzerá. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 6, suppl 1, p. 1604-1613, dez. 2003.

NKRUMAH, J. D.; BASARAB, J. A.; WANG, Z.; LI, C.; PRICE, M. A.; OKINE, E. K.; CREWS, D. H. JR; MOORE, S. S. Genetic and phenotypic relationships of feed intake and measures of efficiency with growth and carcass merit of beef cattle. **Journal of Animal Science**, vol. 85, n. 10, p. 2711-20, out 2007.

ORTIZ PEÑA, C. D.; QUEIROZ, S. A. DE; FRIES, L. A. Estimação de fatores de correção do perímetro escrotal para idade e peso corporal em touros jovens da raça Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 6, p. 1667-1675, dez. 2000.

OWENS, F. N.; DUBESKI, P.; HANSON, C. F. Factors that alter the growth and development of ruminants. **Journal of Animal Science**, v. 71, n. 11, p. 3138-3150, nov. 1993.

PEDROSA, V. B.; ELER, J. P.; FERRAZ, J. B. S.; PINTO, L. F. B. Utilização de modelos unicaracterística e multicaracterística na estimação de parâmetros genéticos na raça Nelore. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 66, n. 6, p. 1802-1812, dez. 2014.

PIRES, B. C.; THOLON, P.; BUZANSKAS, M. E.; SBARDELLA, A. P.; ROSA, J. O.; SILVA, L. O. C.; TORRES, R. A. A.; MUNARI, D. P.; ALENCAR, M. M. Genetic analyses on bodyweight, reproductive, and carcass traits in composite beef cattle. **Animal Production Science**, v. 57, p. 415-421, out 2017.

POLLAK, E. J.; VAN DER WERF, J.; QUAAS, R. L. Selection Bias and Multiple Trait Evaluation. **Journal of Dairy Science**, v. 67, n. 7, p. 1590-1595, jul. 1984.

R CORE TEAM (2019). R: a language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <http://www.R-project.org>. Acesso em: 20 jan. 2021;

ROLFE, K. M.; SNELLING, W. M.; NIELSEN, M. K.; FREELY, H. C.; FERRELL, C. L. AND JENKINS, T. G. Genetic and phenotypic parameter estimates for feed intake and other traits in growing beef cattle, and opportunities for selection. **Journal of Animal Science**, v. 89, n. 11, p. 3452-3459, nov. 2011.

SANTANA, M. H. A.; ROSSI, P.; ALMEIDA, R.; CUCCO, D. C. Feed efficiency and its correlations with carcass traits measured by ultrasound in Nellore bulls. **Livestock Science**, v. 145, n. 1-3, p. 252-257, maio 2012.

SANTANA, M. H. A.; OLIVEIRA, G. A.; GOMES, R. C.; SILVA, S. L.; LEME, P. R.; STELLA, T. R.; MATTOS, E. C.; ROSSI, P.; BALDI, F. S.; ELER, J. P.; FERRAZ, J. B. S. Genetic parameter estimates for feed efficiency and dry matter intake and their association with growth and carcass traits in Nellore cattle. **Livestock Science**, v. 167, p. 80-85, set. 2014.

SCHAEFFER, L. R. Sire and Cow Evaluation Under Multiple Trait Models. **Journal of Dairy Science**, v. 67, p. 1567-1580, out 1984.

SCHENKEL, F. S.; MILLER, S. P.; WILTON, J. W. Genetic parameters and breed differences for feed efficiency, growth, and body composition traits of young beef bulls. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 84, p. 177-185, 2004.

SOLLER, M.; BECKMANN, J. S. Genetic polymorphism in varietal identification and genetic improvement. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 67, n. 1, p. 25-33, nov. 1983.

SRIVASTAVA, S.; LOPEZ, B. I.; HERAS-SALDANA, S. D. L.; PARK, J.-E.; SHIN, D. H.; CHAI, H. -H.; PARK, W.; LEE, S. -H.; LIM, D. Estimation of Genetic Parameters by Single-Trait and Multi-Trait Models for Carcass Traits in Hanwoo Cattle. **Animals**, v. 9, p. 1061, dez. 2019.

TORRES-VÁZQUEZ, J. A.; SPANGLER, M. L. Genetic parameters for docility, weaning weight, yearling weight, and intramuscular fat percentage in Hereford cattle. **Journal of Animal Science**, v. 94, n. 1, p. 21, jan. 2016.

TRAMONTE, N. C.; GRUPIONI, N. V.; STAFUZZA, N. B.; GUIDOLIN, D., SAVEGNAGO, R.; BEZERRA, L. A.; LÔBO, R. B.; MUNARI, D. Genetic parameters, genetic trends, and principal component analysis for productive and reproductive traits of Guzera beef cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 48, 2019.

USDA . **Livestock and Poultry**: World Markets and Trade. Washington, D.C, 2019.

YOKOO, M. J.; ALBUQUERQUE, L. G. D.; LÔBO, R. B.; BEZERRA, L. A. F.; ARAUJO, F. R. C.; SILVA, J. A. V.; SAINZ, R. D. Genetic and environmental factors affecting ultrasound measures of longissimus muscle area and backfat thickness in Nelore cattle. **Livestock Science**, v. 117, n. 2-3, p. 147-154, set. 2008.

YOKOO, M. J. I. **Análise bayesiana da área de olho do lombo e ultrassom e suas associações com outras características de importância econômica na raça Nelore**. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, p. 84. 2009.

YOKOO, M. J.; LOBO, R. B.; ARAUJO, F. R. C.; BEZERRA, L. A. F.; SAINZ, R. D.; ALBUQUERQUE, L. G. D. 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, jan. 2010.

Embrapa

Cerrados

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

CGPE 016992