

Índices de Seleção Fenotípica para Zebuínos de Corte Participantes de Prova de Desempenho a Pasto



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

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
400**

**Índices de Seleção Fenotípica para
Zebuínos de Corte Participantes de
Prova de Desempenho a Pasto**

*Marcos Fernando Oliveira e Costa
Ludmilla Costa Brunet
Eduardo da Costa Eifert
Marcelo Monteiro Garcia
Cláudio Ulhoa 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
www.embrapa.br/cerrados
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações da Unidade

Presidente
Lineu Neiva Rodrigues

Secretário-executivo
Gustavo José Braga

Secretária
Alessandra Silva Gelape Faleiro

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

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

Supervisão editorial
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
Leila Sandra Gomes Alencar

Foto da capa
Douglas Nascente

Impressão e acabamento
Alexandre Moreira Veloso

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

139 Índices de seleção fenotípica para zebuínos de corte participantes de
prova de desempenho a pasto / Marcos Fernando Oliveira e Costa ...
[et al.]. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2022.

31 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Cerrados,
ISSN 1676-918X, ISSN on-line 2176-509X, 400).

1. Gado de corte. 2. Zebu. 3. Análise de sensibilidade. I. Oliveira e
Costa, Marcos Fernando. II. Embrapa Cerrados. III. Série.

CDD (21 ed.) 636.291

Sumário

Resumo	5
Introdução.....	7
Material e Métodos	11
Resultados e Discussão	17
Conclusões.....	28
Referências	29

Índices de Seleção Fenotípica para Zebuínos de Corte Participantes de Prova de Desempenho a Pasto

Marcos Fernando Oliveira e Costa¹

Ludmilla Costa Brunet²

Eduardo da Costa Eifert³

Marcelo Monteiro Garcia⁴

Cláudio Ulhoa Magnabosco⁵

Resumo – Objetivou-se avaliar a sensibilidade e as relações entre características utilizadas nos índices de seleção fenotípica para a proposição de um novo índice de seleção de classificação de animais zebuínos de corte participantes dos testes de desempenho a pasto. Foram utilizadas informações de testes realizados pela Embrapa Cerrados entre 2016 e 2022. As características de ganho médio diário (GMD), peso calculado para 550 dias (PC550), avaliação visual (AV), perímetro escrotal (PE), volume testicular (VT), acabamento de carcaça (ACAB) e área de olho de lombo (AOL) foram avaliadas em 772 touros jovens. Foram realizadas análises de sensibilidade para cinco índices de seleção de testes de desempenho, além de análises de correlações de ranking, equações estruturais e relações causais. A sensibilidade dos índices para as características que os compõem e a relação entre elas foram influenciadas pela amplitude de cada uma característica. A redução da ponderação de ACAB e a inclusão de VT resultaram em um índice mais harmônico. A associação de PE e VT aumentou a influência da reprodução na classificação dos animais. O índice composto por PC550, GMD, AV, PE, AOL, ACAB e VT se mostrou mais harmônico, menos sensível à variação das características e mais adequado para evitar a escolha de animais extremos.

Termos para indexação: análise de sensibilidade, bovinos de corte, crescimento, carcaça, índices de desempenho, reprodução.

¹ Médico-veterinário, doutor em Fisiologia, pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF

² Zootecnista, doutora em Zootecnia, pesquisadora júnior da Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal, Brasília, DF

³ Engenheiro-agrônomo, doutor em Zootecnia, pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF

⁴ Zootecnista, técnico da Associação Brasileira de Criadores de Zebu, Uberaba, MG

⁵ Zootecnista, doutor em Ciências (Genética), pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF

Phenotypic Selection Indexes for Zebu Beef Cattle Participating in the Grazing Performance Test

Abstract – The aim was to evaluate the sensitivity and relationships of traits used in phenotypic selection indexes for the proposition of a new selection index for classifying zebu beef cattle participating in grazing performance tests. Data from tests carried out by Embrapa Cerrados between 2016 and 2022 years was used. The traits average daily gain (ADG), weight calculated for 550 days of age (WC550), visual scores (VS), scrotal circumference (SC), testicular volume (TV), carcass fat thickness (FT), and rib eye area (REA) were evaluated in 772 young sires. Sensitivity analyses for five performance test selection indexes, in addition to ranking correlations, structural equations, and causal networks were analyzed. The sensitivity of the indexes for the traits that compose them and the relationship between them was influenced by the amplitude of each trait. Reducing the weighting of FT and the inclusion of TV resulted in a more harmonic index and reduced the sensitivity of the index to the first trait. The association of SC and TV increased the influence of reproduction on the classification of animals. The index composed of WC550, ADG, VS, SC, REA, FT, and TV proved to be more harmonic, less sensitive to the variation of traits, and more suitable to avoid choosing extreme animals.

Index terms: beef cattle, carcass, growth, performance indexes, reproduction, sensitivity analysis.

Introdução

Segundo a Associação Brasileira de Inseminação Artificial (Associação Brasileira de Inseminação Artificial, 2021), o total de matrizes bovinas com aptidão para corte inseminadas em 2021 foi de 16,6 milhões e o total de doses comercializadas foi de 19,9 milhões. Considerando um rebanho de cerca de 63 milhões de matrizes bovinas (Associação Brasileira de Inseminação Artificial, 2021), restam cerca de 46 milhões de fêmeas submetidas a sistemas de acasalamento com monta natural, além daquelas que são submetidas a touros para repasse natural, após a inseminação artificial. Com base nesses números e na proporção touro: vacas (1:30), pode-se estimar que a demanda de touros para monta natural é de, pelo menos, 1,9 milhões de animais, sem considerar fatores como capacidade andrológica, libido e outros elementos que viabilizam a utilização dos animais como reprodutores.

Para atender a essa demanda e considerando uma vida útil de 6 anos, a taxa de reposição anual de touros para serem utilizados para reprodução é de 320 mil animais. Por essa razão, é preciso ampliar a produção de animais de mérito genético superior. Isso porque se estima que apenas 20% dos reprodutores utilizados sejam oriundos de plantéis de seleção, sendo o restante suprido por animais de baixo mérito genético, o que implica baixo ou nenhum ganho, assim como, pouco progresso genético para características de importância econômica (Carneiro Junior et al., 2019).

Uma ferramenta eficaz e consagrada de identificação de reprodutores de mérito superior, ainda jovens, é o teste de desempenho de animais de diferentes rebanhos em ambiente padronizado quanto ao manejo alimentar, reprodutivo e sanitário (Carneiro Junior et al., 2019). Esse método de avaliação permite a comparação entre animais e a identificação daqueles de maior mérito genético, por meio da formação de grupos de contemporâneos, permitindo que a diferença no desempenho seja atribuída predominantemente ao componente genético (Marques; Mota, 2009). A utilização de touros jovens identificados por meio de provas de desempenho é uma alternativa para reduzir o intervalo entre gerações e aumentar a resposta a seleção (Tineo et al., 2016; Carneiro Junior et al., 2019), viabilizado pelo uso antecipado do material genético melhorador representado por esses animais.

A busca por touros harmônicos que atendam aos diferentes objetivos produtivos, como índices de crescimento, reprodutivos, funcionais, de rendimen-

to e acabamento de carcaça, está relacionada ao uso de índices de seleção. Essa ferramenta permite a seleção genética e fenotípica para diferentes características de forma simultânea e, assim, atender aos diferentes objetivos econômicos (Cunningham; Tauebert, 2009). A realização de provas de desempenho, também permite avaliar e reunir várias características de forma simultânea, como características de crescimento, reprodutivas, de carcaça e escores de avaliação visual (Estopa, 2016). Ao final dos testes, os animais são classificados de acordo com índices de avaliação que variam em sua composição (Josahkian et al., 2009; Associação Brasileira de Criadores de Zebu, 2022), tendo como objetivo selecionar os melhores animais para os diferentes objetivos (Estopa, 2016). A escolha das características a serem incluídas nos índices de seleção e a ponderação deles influenciam a resposta e a identificação que serão obtidas (Josahkian et al., 2009; Marques et al., 2012; Estopa, 2016).

Os primeiros índices de seleção de provas de desempenho englobavam ganho de peso (GMD), peso corporal e escores de avaliação visual (pelo método composto de características de estrutura, precocidade, musculosidade, umbigo, racial, aprumo e sexualidade – EPMURAS) (Josahkian et al., 2009; Marques et al., 2012), indicado para propriedades que querem realizar os testes de desempenho e que tenham disponibilidade de mensurar apenas o peso, ou seja, tenha disponível apenas balança na fazenda. O GMD é estimado a partir das informações de peso, enquanto a avaliação visual é obtida por um técnico sem a necessidade de equipamento adicional. Considerando que os animais avaliados nos testes de desempenho visa serem utilizados como reprodutores, há uma preocupação com a importância econômica das características reprodutivas (Brumatti et al., 2011; Buzanskas et al., 2017). Assim, um índice que englobe algum indicativo do potencial reprodutivo se faz necessário. A facilidade de mensuração do perímetro escrotal (PE), sua moderada herdabilidade e a sua associação indireta com fertilidade e precocidade sexual (Buzanskas et al., 2017; Brunet et al., 2019) fizeram com que fosse a característica escolhida para ser incorporada no índice de avaliação.

A rentabilidade do sistema está associada também a características de qualidade e de rendimento da carcaça e devem ser consideradas nos programas de seleção de bovinos de corte (Caetano et al., 2013; Buzanskas et al., 2017; Kluskaa et al., 2018; Portes et al., 2020; Portes et al., 2021). Dessa forma, características como área de olho de lombo (AOL) e acabamento de

carcaça (ACAB) composto por espessura de gordura subcutânea (EG) e na garupa (P8), avaliadas por ultrassonografia, vêm sendo utilizados como critério de seleção, buscando atender ao mercado consumidor cada vez mais exigente quanto à qualidade da carne. A AOL é um indicador indireto do rendimento dos cortes cárneos, associada ao rendimento da carcaça e à receita recebida. O ACAB, por sua vez, está relacionado à composição da carcaça e à qualidade de carne pós-abate, pois uma das funções é atuar como isolante térmico durante o processo de resfriamento da carcaça, além de ter uma relação direta com a precocidade de acabamento e indireta com a precocidade sexual (Caetano et al., 2013; Buzanskas et al., 2017). Essas características apresentam herdabilidade moderada (Caetano et al., 2013; Buzanskas et al., 2017; Kluskaa et al., 2018) e sua inclusão nos índices de seleção possibilita aumentar o ganho genético e a rentabilidade do sistema de produção (Kluskaa et al., 2018). Nesse sentido, o mais completo índice de seleção final de provas de desempenho preconizado pela Associação Brasileira dos Criadores de Zebu passou a incluir a AOL e a ACAB (Associação Brasileira dos Criadores de Zebu, 2022).

Considerando que cada característica apresenta uma unidade de medida específica, um correto índice deve ser constituído por características adimensionais, padronizadas ou com a mesma unidade de medida. Para composição dos índices de seleção de animais participantes das provas de desempenho a pasto, todas as características medidas ou estimadas são padronizadas na mesma escala. Nesse caso, é utilizada a escala de porcentagem, sendo a média da característica para um dado grupo de animais considerada 100%. Animais com valores fenotípicos acima da média recebem valores superiores a 100%. Em contrapartida, animais com valores fenotípicos abaixo da média recebem valores inferiores a 100% (média), ajustados proporcionalmente (ABCZ, 2022). Embora seja um método válido para padronização, características que apresentam maior amplitude e coeficiente de variação tendem a apresentar maior influência no índice, como a ACAB, que apresenta, comumente, maior variabilidade entre os animais em comparação a outras características avaliadas em bovinos de corte (Caetano et al., 2013; Buzanskas et al., 2017).

Seguindo essa linha de raciocínio e tendo a preocupação com o equilíbrio entre as características, foi realizado um estudo preliminar utilizando dados oriundos de provas de desempenho de zebuínos da Embrapa Cerrados, no

qual, observou-se que, com a introdução da variável ACAB no índice, essa característica apresentou maior sensibilidade e maior influência no índice e ranqueamento dos animais, com valores de $\pm 34,80\%$ (Curado, 2014). Mesmo com ponderação de 10%, o ACAB ocupou a maior posição na sensibilidade, superando inclusive o GMD com 25% de ponderação no índice. Para as outras características englobadas no índice, os valores de sensibilidade foram 32,72%; 30,30%; 26,79%; 26,75%; e 26,67% para GMD, avaliação visual (EPMURAS), PC550, PE e AOL, respectivamente. Essa modificação pode levar a um efeito na classificação, em que animais, mesmo sendo negativos para outras características avaliadas como PE, ficam entre os mais bem classificados quando apresentaram ACAB elevado (Curado, 2014). De fato, uma das limitações no índice de seleção, além da influência da amplitude das características, é permitir que animais inferiores para uma característica possam ser selecionados por ser muito superiores em alguma outra (Josahkian et al., 2009).

Visando contornar a maior sensibilidade dos índices de seleção ao ACAB, um novo índice foi proposto, reduzindo a ponderação do ACAB, ou seja, reduzindo a influência dessa característica no valor final do índice. Em substituição e visando aumentar a influência do desempenho reprodutivo no resultado do índice, foi incluído o volume testicular (VT), que tem sido apontada como uma característica mais adequada para a avaliação do desempenho reprodutivo, estando favoravelmente associada à motilidade e morfologia espermática (Penitente-Filho et al., 2019). Animais zebuínos tendem a apresentar formato testicular mais alongado, levando a um menor PE, embora o volume seja equivalente (Unanian et al., 2000; Penitente-Filho et al., 2019). Assim, a associação do comprimento e da largura pode ser um melhor indicativo da massa testicular (Siqueira et al., 2013). Por outro lado, o PE isoladamente pode não ser um bom representativo da produção e qualidade espermática (Unanian et al., 2000), podendo, quando associado ao VT, ser mais eficiente na classificação dos animais que irão apresentar desempenho reprodutivo superior.

Análises multivariadas podem beneficiar a avaliação de um grande conjunto de dados envolvendo diferentes variáveis observáveis e variáveis respostas, permitindo a compreensão das inter-relações entre múltiplas variáveis e auxiliando o gerenciamento de sistemas de produção. Entre estas, há modelos de equações estruturais que são procedimentos usados para determinar uma estrutura de covariância entre diferentes variáveis. Com esses modelos, pode ser avaliado se as variáveis influenciam, direta ou indiretamente, outras variáveis. Assim, por meio do coeficiente estrutural, é possível estimar e tes-

tar relações funcionais, entre as características avaliadas, relações que são poderiam ser reveladas por modelos lineares padrão (Chitakasempornkul et al., 2018; Leal-Gutiérrez et al., 2018). Outra técnica multivariada é a de redes causais, baseada no algoritmo de causa indutiva, testes de independências condicionais e de correlações parciais para identificar estruturas causais mínimas e fornecer relações causais entre as características avaliadas. Assim, as correlações parciais obtidas podem ser exploradas para avaliar se e como um conjunto de características estão relacionadas, podendo ser representados por gráficos de rede. A visualização das redes causais entre um grupo de variáveis pode auxiliar na compreensão das relações biológicas entre elas (Bouwman et al., 2014).

Diante do exposto, objetivou-se avaliar a influência das características que compõe o índice de seleção nos seus valores finais e na classificação dos animais avaliados nas provas de desempenho de touros jovens, verificando as variações nos seus ponderadores e nas suas composições, além de sugerir um novo índice de seleção para classificação de animais zebuínos participantes dos testes de desempenho a pasto.

Material e Métodos

Foram utilizadas informações de provas de desempenho realizadas entre 2016 e 2022 pelo Centro de Desempenho Animal (CDA) da Embrapa Cerrados, localizado em Santo Antônio de Goiás, GO. As características GMD, peso calculado para 550 dias (PC550), avaliação visual (AV), PE, VT, ACAB e AOL foram avaliadas em 772 touros jovens das raças Nelore (500), Guzerá (92), Brahman (23), Tabapuã (142) e Nelore-CEIP (15).

Os animais apresentaram entre 180 e 303 dias de idade no início da prova, não havendo diferença maior que 90 dias entre as datas de nascimento dos animais de uma mesma prova. Os animais foram submetidos ao mesmo tratamento, manejo e regime alimentar, durante o período de 294 dias, sendo 70 dias de adaptação e 224 dias de prova efetiva. As provas de desempenho a pasto foram conduzidas seguindo o regulamento da Associação Brasileira de Criadores de Zebu (ABCZ, 2022). Durante a prova, foram realizadas, a cada 56 dias, pesagens inicial e final. Antes de cada pesagem, os animais foram submetidos a jejum sólido de 12 horas. Simultâneo às pesagens, foi realizada a mensuração do perímetro escrotal, utilizando fita métrica apro-

priada para esse fim. Porém, apenas a medida de PE mensurada ao final do teste foi utilizada para cálculo dos índices de seleção.

O peso final foi calculado para 550 dias de idade, a partir da fórmula:

$$PC550 = \frac{PF - PPA}{IF - IPA} \times (550 - IPA) + PPA \quad (1)$$

Em que:

PC550 = Peso calculado à idade de 550 dias (kg).

PF = Peso final na prova (kg).

PPA = Peso pós-adaptação (kg).

IF = Idade final (em dias).

IPA = Idade pós-adaptação (em dias).

O GMD foi obtido utilizando a seguinte fórmula:

$$GMD = \frac{PF - PPA}{224} \quad (2)$$

As medidas para cálculo do volume testicular foram obtidas com auxílio de paquímetro digital, aferindo altura e largura de cada testículo individualmente. O volume testicular foi obtido utilizando a seguinte fórmula (Unanian et al., 2000):

$$VT = \left(\pi * \left(\frac{LARM}{2} \right)^2 \right) * ALTM \quad (3)$$

Em que:

VT = Volume Testicular (cm³).

LARM = Largura média dos testículos (cm).

π = valor de pi.

ALTM = Altura médias dos testículos (cm).

Ao final da prova, foi realizada ultrassonografia de carcaça para coleta da AOL (cm²), EG (mm) e P8 (mm), por um técnico credenciado pela Ultrasound

Guidelines Council (UCG) e utilizando aparelho Aloka 550V com sonda linear de 17,2 cm, de 3,5 MHz e um acoplador acústico com um sistema de captura de imagens (Blackbox, Biotronics Inc., Ames, IA, EUA). As imagens de AOL e EG foram mensuradas entre a 12^a e 13^a costelas, no Longissimus dorsi, e de P8 na garupa entre o íleo e o ísquio, medida na intersecção dos músculos Gluteus medius e Biceps femoris (Beef Improvement Federation, 2006). O acabamento de carcaça foi obtido por soma ponderada de EG e P8, com os pesos de 0,65 e 0,35, respectivamente (Aval Serviços Tecnológicos, dados não publicados).

No momento da última pesagem, as características visuais foram obtidas por um técnico qualificado da ABCZ utilizando o método EPMURAS (Koury Filho, 2005), com a avaliação dos escores para estrutura, precocidade, musculosidade, umbigo, características raciais, aprumos e sexualidade.

Para a formação dos grupos de contemporâneos (GCs), os efeitos de raça, idade no início da prova e edição da prova foram avaliados por meio de análise de variância para cada uma das características. Considerando aqueles efeitos significativos, os GCs foram formados por animais da mesma raça e edição da prova. Para controle de valores com desvios extremos (outliers), foram removidas da base de dados informações que estavam 3,5 unidades de desvio-padrão acima ou abaixo da média do GC para cada característica e os GCs com menos de quatro animais. A estatística descritiva está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Número de animais (N°), valores mínimos, máximos, mediana, média, desvio-padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) para características fenotípicas e coeficiente de variação para as características ajustadas e padronizadas (CV2) avaliadas em zebuínos de corte, analisados em provas de desempenho a pasto.

Característica ⁽¹⁾	N°	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	DP	CV (%)	CV2 (%)
GMD (kg)	772	0,20	1,01	0,58	0,59	0,14	23,33	18,15
PC550 (kg)	770	297,80	545,52	402,15	403,08	41,09	10,30	8,73
PE (cm)	771	20,00	40,50	30,00	29,97	3,13	10,47	9,22
AOL (cm ²)	769	40,80	94,54	60,10	60,87	8,55	14,13	11,38
ACAB (mm)	770	0,65	5,17	2,44	2,48	0,75	30,08	27,46
AV	772	18,00	37,00	26,00	26,19	3,03	11,56	10,65
VT (cm)	772	106,08	658,09	403,12	394,39	84,90	21,53	19,90

⁽¹⁾ GMD: ganho médio diário; PC550: peso calculado para 550 dias; PE: perímetro escrotal; AOL: área de olho de lombo; ACAB: acabamento; AV: avaliação visual (EPMURAS); VT: volume testicular.

Posteriormente, os valores fenotípicos dos animais foram então ajustados pelo modelo misto e método dos quadrados mínimos, utilizando, além do efeito do GC, a idade no início da prova como covariável de efeito linear. O modelo matemático pode ser representado conforme segue:

$$Y_{ijk} = \mu + GC_i + b(I_{ij} - I) + \varepsilon_{ijk} \quad (4)$$

Em que:

Y_{ijk} = Característica do k-ésimo animal (GMD, PC550, EPMURAS, PE, VT, ACAB, AOL).

μ = Média geral para as características estudadas.

GC_i = Efeito fixo do grupo de contemporâneo.

I_{ij} = Idade do animal ao entrar na PGP.

b = Coeficiente de regressão linear para idade ao início da prova.

ε_{ijk} = Erro aleatório.

Foram somados à média geral (μ) os resíduos (ε) de cada animal para cada característica, obtendo-se, assim, os valores ajustados (YA = variável ajustada), não mais centrados em zero, e sim na média da respectiva característica. Uma vez que cada característica apresenta uma unidade de medida específica, um correto índice deve ser constituído por características adimensionais, padronizadas ou com a mesma unidade de medida. Dessa forma, o fenótipo de cada animal foi calculado e convertido em uma escala percentual (YAP) em relação à média, conforme fórmula a seguir:

$$YAP = \frac{YA * 100}{\bar{X}} \quad (5)$$

Em que:

YAP = Variável ajustada e padronizada em escala percentual.

YA = Variável ajustada.

X = Média da variável.

Dessa forma, todas as características apresentaram a mesma unidade, ou seja, percentual (%). Essas análises foram realizadas usando o Programa R (2022).

Para cada variável ajustada e padronizada, foram gerados valores superiores, correspondendo a +3 desvios padrão em relação à média; e inferior, correspondendo a -3 desvios padrão em relação à média. Os valores superiores e inferiores foram utilizados como possíveis limites empíricos máximos e mínimos para cada característica avaliada. Os índices foram calculados usando essas características conforme as fórmulas apresentadas na Tabela 2, que engloba os índices empíricos já utilizados em provas de desempenho (Josahkian et al., 2009), o atual preconizado pela Associação Brasileira de Criadores de Zebu (2022) e o de seleção utilizado pelo CDA.

Para realização da análise de sensibilidade das características fenotípicas de cada índice, foram feitas simulações com os índices apresentados na Tabela 2, utilizando as suas respectivas ponderações, seguindo o método one-at-a-time, considerando quantos valores de entrada mudam em cada simulação do modelo, nesse caso uma por vez (Qian; Magdi, 2020). Assim, foi intercalado o valor superior em uma característica e mantendo-se os valores ajustados para as demais ou o valor inferior da mesma característica, mantendo-se as demais. Por exemplo, para o índice I, foram gerados seis índices de seleção para cada animal, sendo a primeira equação com valor superior para GMD (média + 3 desvios-padrão) e os valores ajustados de cada animal para PC550 e IAV (índice superior para GMD). Em seguida, foi utilizado o valor inferior para GMD (média -3 desvios-padrão) e os demais ajustados (índice inferior para GMD) e assim sucessivamente. Para os índices II, III, IV e V, foram geradas 8, 12, 14 e 10 equações, respectivamente.

Como exemplo, para verificar a característica no qual o índice I apresentou maior sensibilidade, foi calculado o valor médio mínimo de todos os índices de seleção inferiores para a equação I (Tabela 2) e para cada característica avaliada e o valor médio máximo dos índices de seleção superiores para a equação I dos animais avaliados. Posteriormente, foi calculada a média entre o valor mínimo e o valor máximo de cada característica, e pela relação entre o valor máximo e a média, bem como, entre o valor mínimo e a média, tem-se o resultado da sensibilidade máxima e mínima de cada característica. O mesmo procedimento foi realizado para as equações dos índices II, III, IV e V. Além disso, foi avaliada a sensibilidade conjunta de PE e VT. Para tal, na primeira análise, foram utilizados os valores superiores para PE e VT e, na segunda, os valores inferiores para as duas características.

Tabela 2. Índices de seleção de zebuínos de corte em provas de desempenho com seus respectivos componentes e ponderações.

Índice	Componente ⁽¹⁾
I	$0,40 \times \text{IGMD} + 0,40 \times \text{IPC550} + 0,20 \times \text{IAV}$
II	$0,35 \times \text{IGMD} + 0,35 \times \text{IPC550} + 0,20 \times \text{IAV} + 0,10 \times \text{IPE}$
III	$0,25 \times \text{IGMD} + 0,25 \times \text{IPC550} + 0,20 \times \text{IAV} + 0,10 \times \text{IPE} + 0,10 \times \text{IAOL} + 0,10 \times \text{IACAB}$
IV	$0,25 \times \text{IGMD} + 0,25 \times \text{IPC550} + 0,20 \times \text{IAV} + 0,10 \times \text{IPE} + 0,10 \times \text{IAOL} + 0,05 \times \text{IACAB} + 0,05 \times \text{IVT}$
V	$0,30 \times \text{IGMD} + 0,35 \times \text{IPC550} + 0,20 \times \text{IAV} + 0,10 \times \text{IPE} + 0,05 \times \text{VT}$

⁽¹⁾ IGMD: Índice de ganho médio diário; IPC550: Índice de peso calculado para 550 dias; IAV: Índice de avaliação visual; IPE: Índice de perímetro escrotal; IAOL: Índice de área de olho de lombo; IACAB: Índice de acabamento; IVT: Índice de volume testicular.

Considerando que a análise de sensibilidade é influenciada pelo ponto inicial, foi utilizada também outra abordagem adotando os valores médios de cada característica ajustada, em vez dos limites superiores e inferiores. Para tal, foram utilizadas equações dos índices apresentados na Tabela 2, sendo alterado uma característica a cada rodada da análise. Considerando os limites superiores e inferiores e os valores médios, as análises de sensibilidade foram realizadas utilizando o Programa R (2022) e roteiros desenvolvidos para esse fim.

Adicionalmente, foi calculada a correlação de Spearman (ranking) entre os resultados de cada índice ajustado (I, II, III, IV e V), considerando significativo quando $P < 0,05$. Essas análises foram realizadas usando o Programa R (2022).

Visando representar graficamente as relações entre as características avaliadas e os índices de seleção das provas de desempenho, foram construídos modelos de equações estruturais, nos quais, cada índice foi considerado variável latente e as características que compõem o índice foram consideradas as variáveis observadas. Essas análises indicam como as variáveis estão ligadas umas às outras, realizada utilizando o pacote *lavaan* do Programa R (2022), pela análise fatorial confirmatória (Rossel, 2012). Foram realizadas também análises de redes causais entre as variáveis, utilizando o pacote *bnlearn* do Programa R (2022), baseando-se em algoritmos de causa indutiva e usando modelagem de Rede Bayesiana. Essas análises fornecem uma estrutura teórica para aprender a estrutura causal dos modelos de aprendizagem bayesiano (Scutari, 2010).

Resultados e Discussão

Análises de sensibilidade

Os coeficientes de sensibilidade dos índices de seleção das provas de desempenho obtidos para PC550, GMD, AV, PE, AOL, ACAB e VT, utilizando os limites superiores e inferiores, estão apresentados na Tabela 3. Os índices I, II e V foram mais sensíveis à AV, enquanto o índice III foi mais sensível ao acabamento e o índice IV não foi influenciado extremamente para nenhuma característica.

Tabela 3. Coeficientes de sensibilidade ($\pm\%$) considerando os limites superiores e inferiores de características utilizadas nos índices de seleção finais utilizados em provas de desempenho a pasto de animais zebuínos.

Característica ⁽¹⁾	Índice I	Índice II	Índice III	Índice IV	Índice V
PC550	38,51	15,89	21,01	18,01	20,29
GMD	35,26	22,38	17,38	17,38	21,81
AV	40,01	23,78	12,13	11,51	25,54
PE		20,42	22,11	18,85	19,37
AOL			19,19	16,01	
ACAB			49,11	15,71	
VT				19,05	18,48
PEVT				12,35	

⁽¹⁾ PC550: peso calculado para 550 dias; GMD: ganho médio diário; AV: avaliação visual; PE: perímetro escrotal; AOL: área de olho de lombo; ACAB: acabamento; VT: volume testicular; PEVT: coeficientes de sensibilidade para variação conjunta de perímetro e volume escrotal.

A maior sensibilidade do índice I e II quanto à variação da AV pode estar associada a sua amplitude, isso porque o animal com maior valor para essa característica é 2,1 vezes superior ao animal com menor valor, enquanto para PC550, o animal que apresentou o maior valor foi 1,8 vezes superior ao animal de menor valor. Para o GMD, a combinação fator de ponderação e variação (amplitude) pode explicar os resultados obtidos, embora seja a característica do índice I que apresentou o maior desvio-padrão. Por outro lado, alterações nas ponderações utilizadas nesses índices, como o aumento da ponderação atribuída à AV, podem fazer com que a seleção de animais por meio dele seja devida, principalmente aos escores visuais, do que a seu próprio desempenho para crescimento e peso corporal.

No índice II, a inclusão do PE, com ponderação de 10%, foi associada à redução do coeficiente/fator de ponderação do PC550 e GMD em 5% (Tabela 2). Isso resultou na redução da sensibilidade no índice II, principalmente, ao PC550 em comparação ao índice I. Além disso, a menor sensibilidade ao PC550, para esse índice, também está associada à menor variação observada para essa característica.

Para o índice III, uma maior sensibilidade, considerando limites superiores e inferiores, foi relacionada ao ACAB ($\pm 49,11\%$), seguida por PE ($\pm 22,11\%$), PC550 ($\pm 21,00\%$), AOL ($\pm 19,18\%$), GMD ($\pm 17,38\%$) e em menor magnitude por AV ($\pm 12,13\%$) (Tabela 3). Assim, o uso desse índice pode resultar na seleção dos melhores animais para ACAB. Essa característica foi a que apresentou maior CV, com os valores brutos (30%) e padronizados em escala percentual (27%), justificando esse resultado.

No índice IV, a ponderação de ACAB foi reduzida para 5% e foi incluso o VT com peso de 5% (Tabela 2). Para esse índice, considerando os valores superiores e inferiores, a sensibilidade para as características que o compõe variou entre $\pm 15\%$ e $\pm 19\%$, com exceção para AV ($\pm 11\%$). Ainda assim, foi o índice no qual a sensibilidade em resposta à alteração nas características se mostrou mais harmônico ou menos sensível de forma extrema a alguma variável (Tabela 3). A fim de comparação, foi avaliada também qual seria a sensibilidade do índice à variação simultânea de PE e VT, que foi de $\pm 12\%$, menor que elas isoladas. Esses resultados confirmam a necessidade de incluir as duas no índice, sobretudo, esperando a seleção de animais com melhor desempenho reprodutivo.

O índice V foi composto em 15% por características reprodutivas (0,10% PE e 0,5% VT). A menor sensibilidade do índice ao VT pode estar relacionada à ponderação atribuída a essa variável, visto que a amplitude desta, isto é, sua variação (22%), é similar àquela observada para GMD (23%). Já PE, também com baixa ponderação em relação às demais características, apresentou baixo coeficiente de variação (10%). Assim, o peso das variáveis na equação pode balancear a influência delas no índice. Visando ampliar a influência de aspectos reprodutivos na classificação final dos animais, aumentar o peso de uma dessas características nos índices, a inclusão de PE e VT pode ser recomendada, sendo a segunda alternativa mais eficiente para aumentar a fertilidade e a qualidade espermática devido à associação de VT

com morfologia e motilidade espermática e por serem ferramentas complementares para representar a massa testicular (Penitente-Filho et al., 2019). É importante ressaltar que a redução da ponderação de GMD para 0,30 não implicou redução da sensibilidade do índice V a essa característica, similar a apresentada por ela no índice II, que apresenta como diferença, além do menor peso de GMD, a inclusão de VT. Esse índice pode ser indicado para criatórios ou instituições que querem realizar testes de desempenho identificando os animais com desempenho superior para peso, biotipo, crescimento e reprodução, mas que não têm a possibilidade de mensurar características de carcaça.

Na Tabela 4, encontra-se a análise de sensibilidade realizada para os índices de seleção finais das provas de desempenho de zebuínos, utilizando como ponto inicial os valores médios. Os índices I, II e V foram mais sensíveis ao GMD, enquanto o índice III foi mais sensível ao acabamento e apresentou maior influência extrema por uma única característica. Por outro lado, o índice IV se mostrou mais harmônico.

Tabela 4. Coeficientes de sensibilidade ($\pm\%$) considerando os valores médios de características utilizadas nos índices de seleção finais utilizados em provas de desempenho a pasto de animais zebuínos.

Característica ⁽¹⁾	Índice I	Índice II	Índice III	Índice IV	Índice V
PC550	32,17	30,43	24,21	24,66	30,16
GMD	36,83	33,22	30,29	21,22	32,30
AV	29,62	21,21	23,62	24,06	29,99
PE		9,24	10,29	10,48	15,98
AOL			12,62	12,86	
ACAB			45,47	15,52	
VT				11,27	13,71

⁽¹⁾ PC550: peso calculado para 550 dias; GMD: ganho médio diário; AV: avaliação visual; PE: perímetro escrotal; AOL: área de olho de lombo; ACAB: acabamento; VT: volume testicular.

A maior sensibilidade do índice I ao GMD difere do observado na análise de sensibilidade considerando valores superiores e inferiores (Tabela 3). De fato, a padronização em percentual diminuiu a variação para GMD, cujo coeficiente de variação passou de 23 para 18%. Ainda assim, quando se considera a variação em função dos valores médios, o GMD ainda se manteve como característica de maior CV, comparado aos 10 e 12% de CV observados para

PC550 e AV padronizados para escala percentual. Isso pode ter resultado em maior sensibilidade à variação do GMD no índice I.

Considerando a variação sobre os valores médios, o índice II apresentou maior sensibilidade ao GMD (33,22%), seguido por PC550 (30,43%), AV (21,21%) e PE (9,24%), diferindo da análise de sensibilidade considerando limites superiores e inferiores. Esses resultados sinalizam que a característica que apresenta maior influência na classificação dos animais utilizando este índice é o GMD, reflexo da sua ampla variação, conforme mencionado anteriormente. Assim, a sua utilização acarretaria seleção, sobretudo, dos animais que apresentarem maior velocidade de crescimento e acúmulo de massa corporal, que, associado à seleção por maior peso, pode levar a um aumento do tamanho adulto dos animais selecionados com essas duas características. Por outro lado, aspectos reprodutivos podem estar sendo negligenciados pela baixa sensibilidade do índice ao PE, que apresentou CV de 9%, após a padronização para escala percentual.

Em consonância com a análise de sensibilidade utilizando limites superiores e inferiores e considerando valores médios, a análise mostrou que o índice III é mais sensível ao ACAB (45,47%), seguido por GMD (30,29%), PC550 (24,21%) e AV (23,62%). Esses resultados confirmam que o ACAB é a principal característica que influencia na seleção de animais utilizando o índice III, reflexo da maior variação para essa característica. Considerando os valores ajustados para escala percentual, o animal com menor ACAB é quase 7 vezes inferior ao animal com maior valor para essa característica. Para GMD, o animal que apresentou o menor valor é 4,7 vezes inferior ao animal com maior valor para essa característica. As demais características variaram em torno de 2 vezes inferior. Com peso de 10% cada, no índice III, a inclusão do ACAB e AOL foi associada à redução da ponderação utilizada para PC550 e GMD, que representam 25% cada. Como consequência, foi observada redução da sensibilidade do índice para essas características, em comparação aos índices I e II. Nesse índice, a influência dos aspectos reprodutivos também se manteve baixa.

Para o índice IV, a análise de sensibilidade, considerando valores médios, demonstrou que os coeficientes variaram de 21,22 a 24,66% para GMD, AV e PC550, e de 10,48 a 15,52% para PE, VT, AOL e ACAB. Assim como observado para a análise considerando valores superiores e inferiores, a redução

do peso atribuído ao ACAB levou à redução também da sensibilidade do índice a essa característica. Embora tenha sido observada maior amplitude entre os coeficientes de sensibilidade, os resultados obtidos confirmam que a identificação de animais em provas de desempenho utilizando esse índice tende a ser mais harmônica. Dessa forma, espera-se que os melhores animais sejam aqueles que apresentam melhor desempenho para várias características que compõem o índice IV, não aqueles com valores superiores extremos para apenas uma dada característica.

Considerando valores médios, o índice V se mostrou mais sensível ao GMD (32,30%), PC550 (30,16%), AV (29,99), com coeficientes similares. Assim, como a análise de sensibilidade utilizando valores extremos, as características reprodutivas foram as de menor influência no índice, com coeficientes de 15,98 e 13,71%, respectivamente. Os valores médios das características reprodutivas somados alcançam 29,69%, deixando todas as ponderações harmonizadas entre si, com aproximadamente a mesma influência no índice. Conforme mencionado anteriormente, o menor peso no índice e a menor amplitude de VT e PE, respectivamente, justificam esses resultados. Além disso, esse é um índice que se mostrou mais harmônico para seleção de animais quanto ao desempenho reprodutivo, peso, biotipo funcional e crescimento, representado pelo GMD, uma vez que a sensibilidade a essa característica foi semelhante à observada para o índice II, cuja equação difere apenas no peso de GMD e inclusão de VT.

A comparação dos resultados da análise de sensibilidade com resultados de literatura foi dificultada por não terem sido encontrados trabalhos semelhantes. A inclusão de outra característica relacionada com o desenvolvimento reprodutivo (VT), aumenta o enfoque do processo de identificação de reprodutores jovens, touros com bom potencial na reprodução, para incrementar a produção pecuária nacional.

Análises de correlação de ranking

As estimativas de correlação de Sperman ou de ranking, que mostra a similaridade na classificação dos animais nos diferentes índices, foram altas e significativas ($P < 0,01$) (Tabela 5).

Tabela 5. Estimativas de correlações de Spearman (acima da diagonal) e seus respectivos valores de P (abaixo da diagonal) entre índices de seleção finais utilizados em provas de desempenho de zebuínos de corte.

	Índice I	Índice II	Índice III	Índice IV	Índice V
Índice I		0,99	0,93	0,95	0,98
Índice II	0,00		0,94	0,97	0,99
Índice III	0,00	0,00		0,98	0,93
Índice IV	0,00	0,00	0,00		0,97
Índice V	0,00	0,00	0,00	0,00	

Os maiores valores foram observados entre o índice II com o índice I (0,995) e com o índice V (0,993). Em contrapartida, maiores diferenças na classificação dos animais avaliados em provas de desempenho utilizando o índice III em comparação aos índices I (0,938) e 5 (0,937). Embora todas as correlações sejam consideradas altas, acima de 0,8, os índices I, II e III podem levar à seleção de animais nos extremos superiores para uma característica e com baixo desempenho para outra, principalmente, aquelas não inclusas nos primeiros índices, como AOL, ACAB e VT. Conquanto as estimativas de correlações de Spearman sejam altas, elas diferem de 1. Considerando a maior sensibilidade de alguns índices ao acabamento, como a Equação 3, e a menor sensibilidade a características reprodutivas, como as Equações 1, 2 e 3, a variação, ainda que baixa, na classificação dos animais pode estar relacionada, principalmente, à variação nessas características.

Análises de correlação equações estruturais e relações causais

Na Figura 1, são apresentadas as equações estruturais para os índices de seleção utilizados nas provas de desempenho de zebuínos e as características que os compõem. Entre as características inclusas na equação de cálculo do índice I, o GMD apresentou a maior carga fatorial ou relevância (0,64), seguido por PC550 (0,57) e AV (0,49), corroborando com os resultados obtidos nas análises de sensibilidade utilizando valores médios. A maior carga fatorial de GMD se manteve para o índice II e o PE apresentou carga inferior às demais características. No índice III, a maior carga fatorial foi observada para ACAB, corroborando com os resultados das análises de sensibilidade e

reflexo da maior variação desta característica, conforme mencionado anteriormente. Com a redução do peso de ACAB e a inclusão de VT no índice IV, o valor da carga fatorial de ACAB foi reduzido. Embora as cargas fatoriais de PE e VT sejam as mais baixas no índice IV, 0,26 e 0,28, respectivamente, a inclusão das duas resultou em efeitos aditivos, levando à maior influência da reprodução na classificação final. Nesse índice, os valores das cargas fatoriais variaram entre 0,28 a 0,46, confirmando uma influência balanceada das características utilizadas na equação no índice final. Comportamento semelhante ao índice IV foi observada para o índice V, com maior influência de características reprodutivas, considerando as cargas fatoriais de PE e VT. Além disso, a redução da ponderação de GMD, em decorrência da inclusão de VT no índice, não reduziu a influência da velocidade de crescimento na classificação final dos animais, visto que essa foi a característica com maior carga fatorial (0,59), corroborando com os resultados das análises de sensibilidade.

Na Figura 2, estão apresentadas as redes causais entre características avaliadas em provas de desempenho de zebuínos e para os índices de seleção finais utilizados. As características mais próximas ao índice apresentam relações causais mais fortes com eles. Além disso, linhas entre variáveis, isto é, entre as características observadas, indicam relações indiretas com os índices. Quando não há linhas relacionando as características com o índice, indica ausência de relação causal entre eles.

Para o índice I, foi observada relação direta com AV, PC550 e, com ligação mais aproximada com GMD, que também traz uma associação indireta do índice com PC550. As correlações genéticas entre GMD e peso corporal são moderadas a altas (0,29 a 0,63) (Brunes, 2016; Ceacero et al., 2016), de forma que é esperado que os animais de maior peso corporal sejam também aqueles que apresentam maior ganho em peso. A maior associação do índice I com GMD corrobora com as análises de sensibilidade considerando valores médios. Embora o índice I não contemple AOL, ACAB, PE e VT, foi observada associação indireta com AOL, devido à relação direta desta com AV e GMD, o que pode ser atribuído à moderada correlação genética entre essas características (Brunes, 2016; Ceacero et al., 2016; Soares, 2021). Assim, a seleção de animais com base no índice I, pode ter efeito indireto da AOL, devido à inclusão do GMD.

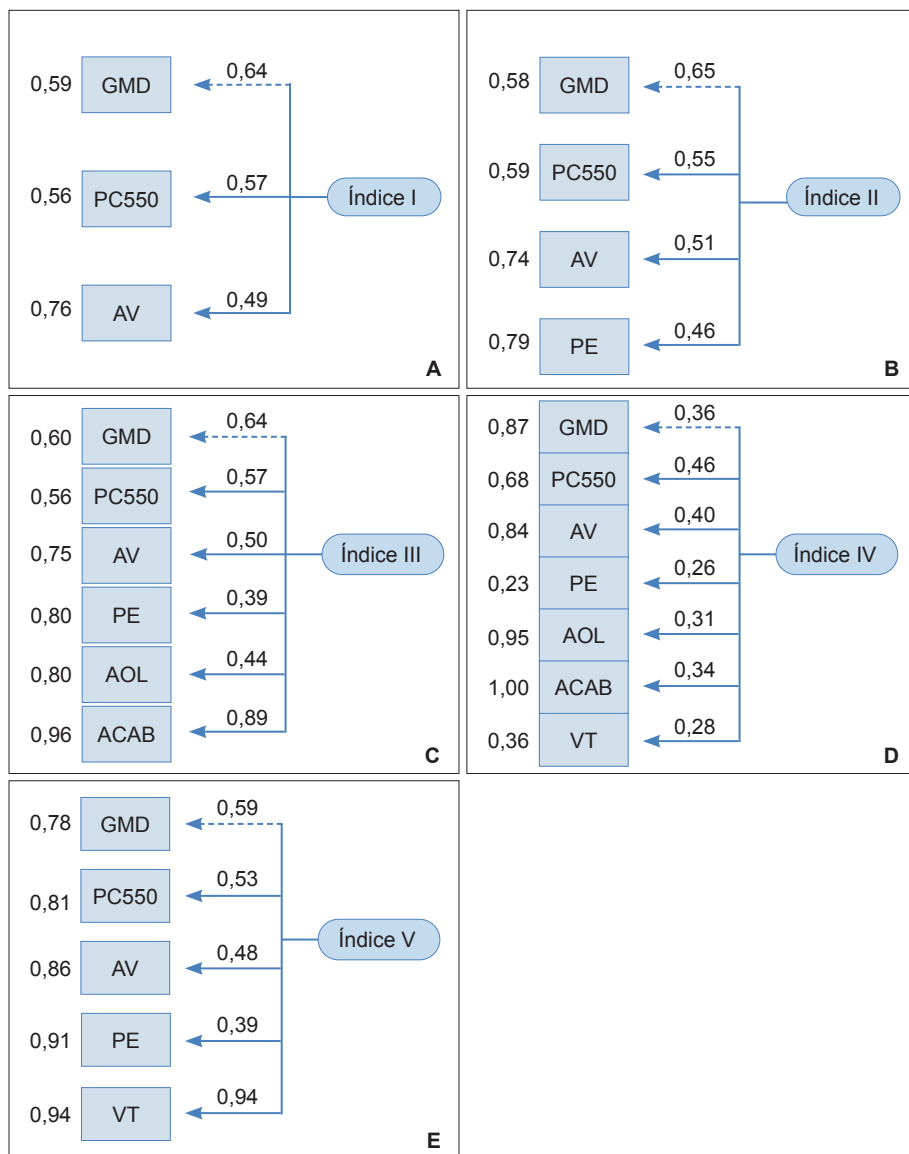


Figura 1. Equações estruturais entre variáveis observadas e os índices I (A), II (B), III (C), IV (D) e V (E) finais de provas de desempenho a pasto de zebuínos (variáveis latentes). GMD: ganho médio diário; PC550: peso calculado para 550 dias; AV: avaliação visual; PE: perímetro escrotal; AOL: área de olho de lombo; ACAB: acabamento; VT: volume testicular. Os valores apresentados próximos às variáveis observadas são os coeficientes de variância residual das mesmas, enquanto os valores entre as variáveis observadas e os índices são o coeficiente estrutural ou a carga fatorial entre elas.

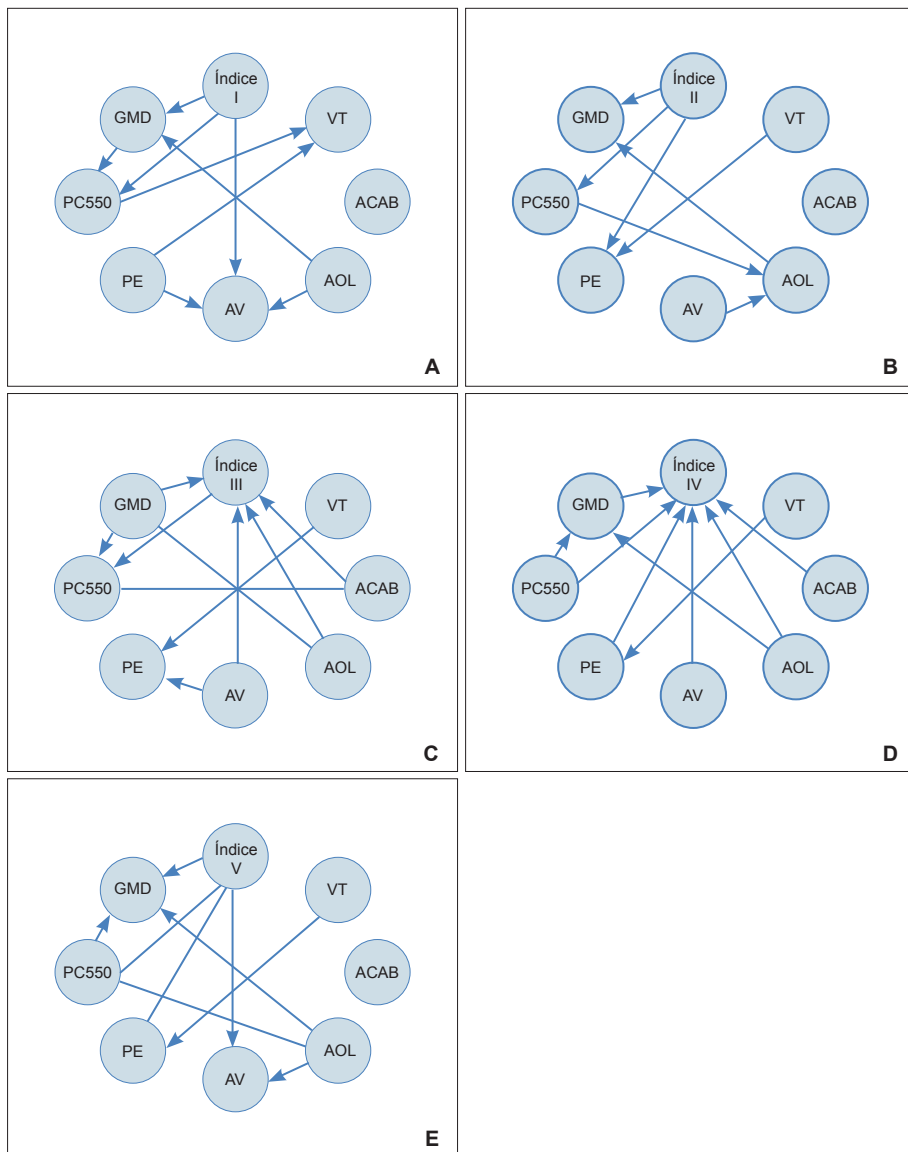


Figura 2. Redes causais entre características observáveis e os índices I (A), II (B), III (C), IV (D) e V (E) finais de provas de desempenho de zebuínos. GMD: ganho médio diário; PC550: peso calculado para 550 dias; PE: perímetro escrotal; AV: avaliação visual; AOL: área de olho de lombo; ACAB: acabamento; VT: volume testicular.

O PC550 e PE apresentaram relação direta com VT, no índice I. Estimativas de correlações fenotípicas entre PE e VT são, geralmente, moderadas a altas, variando de 0,44 a 0,95 e entre peso e VT são moderadas, variando de 0,37 a 0,41 (Unanian et al., 2000), justificando esse comportamento. Assim, a seleção de touros jovens utilizando o índice I, embora não englobe PE e VT, pode ter efeito também nessas características porque animais de maior peso corporal tendem a ser também os que apresentam maior perímetro e volume testicular. PE e AOL apresentaram associação com AV. A associação genética entre AOL e os escores de avaliação visual, que abrange conformação, precocidade e musculosidade, é moderada (0,22 a 0,39) (Bonin et al., 2015), justificando os resultados obtidos. Aspectos sexuais estão inclusos na AV, sendo para machos avaliados o desenvolvimento dos genitais externos, o que pode ter refletido na associação destas características, mesmo que PE não esteja incluso no índice I. As correlações genéticas entre PE com características de escores visuais que compõe o EPMURAS são, comumente, moderadas (Boligon; Albuquerque, 2010; Paterno et al., 2017).

Comportamento semelhante ao índice I foi observado no índice II quanto às redes causais com GMD e PC550, entre AOL e GMD, e entre VT e PE. Foi observada uma associação direta no índice II com o PE, após a inclusão desta característica na fórmula, o que era esperado. Embora AOL não esteja inclusa no índice II, esta característica foi associada, além do GMD, ao PC550, confirmando que animais de maior peso corporal e selecionados por esse índice, tendem a ser aqueles que apresentam maior acúmulo de massa muscular, refletindo também na associação de AV com AOL, que contempla escore para musculosidade e estrutura. Esses resultados podem ser atribuídos à associação genética moderada entre AOL com peso (0,32 a 0,76) (Brunes, 2016; Caetano et al., 2013; Kluskaa et al., 2018) e com AV (0,32 a 0,44) (Gordo et al., 2016; Da Silveira et al., 2019). Nos índices I e II, o ACAB permaneceu isolada, refletindo a necessidade de incluí-la no índice final de provas de desempenho para serem selecionados animais com maior acabamento de carcaça.

As redes causais entre GMD, PC550 e AV com o índice III, entre GMD e AOL, entre PE e AV mantiveram o comportamento dos outros índices. Porém, com a inclusão de ACAB neste índice, foi gerada uma relação direta entre essa característica e o índice e também foi observada uma relação entre ela e o PC550. Animais com maior velocidade de crescimento, com reflexo no

peso corporal e que atingem a maturidade em menor idade, começam a depositar gordura antecipadamente, o que pode justificar a relação causal entre essas características, embora associação genética entre elas seja baixa a moderada (0,11 a 0,30) (Brunes, 2016; Ceacero et al., 2016; Kluskaa et al., 2018). No índice III, não foi observada relação causal entre AOL e AV, sendo ambas características relacionadas diretamente ao índice. Pode ser inferido que a inclusão de AOL na equação do índice criou uma relação causal mais forte, confirmando a necessidade da utilização dessa característica quando o alvo é selecionar animais também com maior rendimento de carcaça. A relação causal entre PE, que consta na equação, e o índice III não foi observada, o que pode ser reflexo da baixa influência dos aspectos reprodutivos na seleção de animais apenas com o PE.

As redes causais para o índice IV com GMD, PC550, AV, AOL e ACAB, entre PE e VT, entre GMD e AOL foram semelhantes às observadas para o índice III. Neste índice, a inclusão de VT foi eficaz em aumentar a relação do índice com os aspectos reprodutivos, uma vez que foi observada relação direta dele com PE, enquanto VT ficou ligada diretamente a PE, provavelmente, devido a uma associação mais forte entre essas características, que apresentam correlação moderada, conforme mencionado anteriormente (Unanian et al., 2000).

Uma nova relação causal foi observada entre PC550 e AV, podendo estar relacionado a identificação de animais mais harmônicos na totalidade e ao fato de que animais de estrutura bem desenvolvida e maior acúmulo de massa muscular são também aqueles com maior peso corporal (Koury Filho, 2005; Soares, 2021).

As relações entre o índice V e as características avaliadas nos testes de desempenho foram similares às observadas para o índice II, com exceção da associação direta entre PC550 e AV. Na avaliação visual são considerados aspectos como de estrutura e musculabilidade, cujos animais com melhor avaliação para estes escores, tendem a ser também aqueles com maior peso corporal (Soares, 2021), justificando a associação observada. Conforme mencionado anteriormente, a ausência de uma relação direta entre VT e o índice V é o baixo peso para essa característica e também a alta correlação entre ela e PE, cujo valor na base de dados avaliada foi de 0,86, podendo resultar em uma relação mais forte entre as características do que com o

índice. Ainda assim, a inclusão de VT junto ao PE se mostrou uma ferramenta mais eficiente para aumentar a influência de aspectos reprodutivos na classificação dos animais.

Cada índice tem um propósito específico para auxiliar na decisão do processo de seleção na criação de bovinos. Quanto maior a quantidade de informações coletadas, mais complexa se torna a obtenção e a avaliação. Cabe destacar que todas características são importantes, mesmo quando não fazem parte dos índices e devem ser consideradas nos critérios quando é feita a avaliação do rebanho. Mesmo que algumas dessas características apresentem associação com características presentes, deve-se lembrar que a associação pode levar a benefício indireto. Contudo, sempre é melhor promover diretamente o incremento desejado, ressaltando a própria característica.

Conclusões

As diferenças na composição dos índices de seleção de provas de desempenho de zebuínos promove uma baixa alteração na classificação dos animais, considerando os coeficientes de correlação de ranking, embora o índice III, composto por ganho em peso, peso corporal, perímetro escrotal, avaliação visual, área de olho de lombo e acabamento, apresente a possibilidade de ranqueamento de animais extremos para acabamento. Por outro lado, o índice IV, composto por peso corporal, ganho de peso, avaliação visual, perímetro escrotal, área de olho de lombo, acabamento e volume testicular se mostrou mais harmônico e menos sensível à variação das características, considerando as análises de sensibilidade, equação estrutural e redes causais.

O índice IV também se mostrou mais adequado para evitar a escolha de animais no extremo superior para uma característica, negativo para outra que o compõe e relacionado a todas as características avaliadas no teste de desempenho de zebuínos.

Considerando os resultados obtidos, o índice IV é o indicado para utilização em provas de desempenho de zebuínos de corte.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE ZEBU. **Regulamento da prova de ganho de peso a pasto**. Uberaba, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INSEMINAÇÃO ARTIFICIAL. **INDEX - ASBIA 2021**. Piracicaba, 2021.
- BEEF IMPROVEMENT FEDERATION. **Guidelines for uniform beef improvement programs**. Athens, 2006.
- BOLIGON, A. A.; ALBUQUERQUE, L. G. de. Correlações genéticas entre escores visuais e características reprodutivas em bovinos Nelore usando inferência bayesiana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 12, p. 1412-1418, 2010.
- BONIN, M. N.; FERRAZ, J. B. S.; PEDROSA, V. B.; SILVA, S. L.; GOMES, R. C.; CUCCO, D. C.; SANTANA, M. H. A.; CAMPOS, J. H. A.; BARBOSA, V. N.; CASTRO, F. S. F.; NOVAIS, F. J.; OLIVEIRA, E. C. M. Visual body-scores selection and its influence on body size and ultrasound carcass traits in Nelore cattle. **Journal of Animal Science**, v. 93, p. 1-10, 2015.
- BOUWMAN, A. C.; VALENTE, B. D.; JANSS, L. L. G.; BOVENHUIS, H.; ROSA, G. J. M. Exploring causal networks of bovine milk fatty acids in a multivariate mixed model context. **Genetics Selection Evolution**, v. 46, n. 2, 2014.
- BRUMATTI, R. C.; FERRAZ, J. B. S.; ELER, J. P.; FORMIGONNI, I. B. 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. **Estudo genético-quantitativo de características de crescimento, reprodução, carcaça e escores visuais**. 2017. 193 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.
- BRUNES, L. C.; BALDI, F.; COSTA, M. F. O.; LOBO, R. B.; LOPES, F. B.; MAGNABOSCO, C. U. Genetic-quantitative analysis for reproductive traits in Nellor cattle selected for sexual precocity. **Animal Production Science**, v. 60, n. 7, p. 896-902, 2019.
- 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, 2017.
- CAETANO, S. L.; SAVEGNAGO, R. P.; BOLIGON, A. A.; RAMOS, S. B.; CHUD, T. C. S.; LÔBO, R. B.; MUNARI, D. P. Estimates of genetic parameters for carcass, growth and reproductive traits in Nelore cattle. **Livestock Science**, v. 155, n. 1, p. 1-7, 2013.
- CARNEIRO JUNIOR, J. M.; PINHEIRO, A. K.; KOURY FILHO, W.; SILVA, M. S. **Desempenho de reprodutores jovens da Raça Nelore em teste de performance a pasto no Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2019. 8 p. (Embrapa Acre. Comunicado técnico, 200).
- CEACERO, T. M.; MERCADANTE, M. E. Z.; CYRILLO, J. N. dos S. G.; CANESIN, R. C.; BONILHA, S. F. M.; DE ALBUQUERQUE, L. G. Phenotypic and genetic correlations of feed efficiency traits with growth and carcass traits in nelore cattle selected for postweaning weight. **PLoS ONE**, v. 11, n. 8, p. 1-11, 2016.
- CHITAKASEMPORNKUL, K.; SANDERSON, M. W.; CHA, E.; RENTER, D. G.; JAGER, A.; BELLO, N. M. Accounting for Data Architecture on Structural Equation Modeling of Feedlot Cattle Performance. **Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics**, v. 23, p. 529-549, 2018.

CUNNINGHAM, E. P.; TAUEBERT, H. Measuring the effect of change in selection indices.

Journal of Dairy Science, v. 92, n. 12, p. 6192–6196, 2009.

CURADO, G. S. **Diferentes índices empíricos para a avaliação em testes de desempenho de touros jovens no estado de Goiás**. 2014. 57 f. Monografia (Graduação em Zootecnia) - União Pioneira de Integração Social, Brasília, DF, 2014.

SILVEIRA, D. D. da; DE VARGAS, L.; PEREIRA, R. J.; CAMPOS, G. S.; VAZ, R. Z.; LÔBO, R. B. SOUZA, F. R. P.; BOLIGON, A. A. 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.

ESTOPA, A. C. **Componentes principais na elaboração de índices de provas de desempenho de bovinos**. 2016. 64 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

GORDO, D. G.; ESPIGOLAN, R.; TONUSSI, R. L.; JÚNIOR, G. A.; BRESOLIN, T.; MAGALHÃES, A. F.; FEITOSA, F. L.; BALDI, F.; CARVALHEIRO, R.; TONHATI, H.; DE OLIVEIRA, H. N.; CHARDULO, L. A.; 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, 2016.

JOSAHKIAN, L. A.; LUCAS, C. H.; MACHADO, C. H. C. **Manual do serviço de registro genealógico das raças zebuínas e PMGZ: manual de operação**. Uberaba: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE ZEBU, 2009.

KLUSKAA, S.; OLIVIERIA, B. F.; BONAMY, M.; CHIAIAA, H. L. J.; FEITOSAA, F. L. B.; BERTONA, M. P.; PERIPOLLIA, E.; LEMOSA, M. V. A.; TONUSSI, R. L.; LÔBO, R. B.; MAGNABOSCO, C. U.; DI CROCEE, F.; OSTERSTOCKE, J.; PEREIRA, A. S. C.; MUNARIA, D. P.; BEZERRA, L. A.; LOPES, F. B.; BALDI, F. 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.

KOURY FILHO, W. **Escores visuais e suas relações com características de crescimento em bovinos de corte**. 2005. 98 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.

LEAL-GUTIÉRREZ, J. D.; REZENDE, F. M.; ELZO, M. A.; JOHNSON, D.; PEÑAGARICANO, F.; MATEESCU, R. G. Structural Equation Modeling and Whole-Genome Scans Uncover Chromosome Regions and Enriched Pathways for Carcass and Meat Quality in Beef. **Frontiers Genetics**, v. 9, p. 1-13, 2018.

MARQUES, E. G.; MAGNABOSCO, C. U.; LOPES, F. B. Índices de seleção para bovinos da raça Nelore participantes de provas de ganho em peso em confinamento. **Revista Brasileira de Saude e Producao Animal**, v. 13, n. 3, p. 669-681, 2012.

MARQUES, L. F. A.; MOTA, R. R. Avaliação de provas de ganho de peso e características produtivas e reprodutivas de bovinos das raças nelore e tabapuã. In: CONGRESSO CAPIXABA DE PECUÁRIA BOVINA: PRODUTIVIDADE COM PRESERVAÇÃO AMBIENTAL, 1., 2009, Vitória. **Anais...** Vitória: Vision Eventos, 2009.

PATERNO, F. M.; BUZANSKAS, M. E.; KOURY FILHO, W.; LÔBO, R. B.; QUEIROZ, S. A. Evaluation of body weight and visual scores for genetic improvement of Nelore cattle. **Tropical Animal Health and Production**, v. 49, n. 3, p. 467-473, 2017.

PENITENTE-FILHO, J. M.; SILVA, F. F.; GUIMARÃES, S. E. F.; MIRANDA NETO, T.; COSTA, E. P.; SIQUEIRA, J. B.; WADDINGTON, B.; GUIMARÃES, J. D. Use of nonlinear mixed models for describing testicular volume growth curve in Nelore bulls. **Theriogenology**, v. 133, p. 65-70, 2019.

- PORTES, J. V.; MENEZES, G. R. O.; MACNEIL, M. D.; SILVA, L. O. C. da; GONDO, A.; BRACCINI NETO, J. Selection indices for Nelore production systems in the Brazilian Cerrado. **Livestock**, v. 242, p. 104309, 2020.
- PORTES, J. V.; MENEZES, G. R. O.; SILVA, L. O. C.; MACNEIL, M. D.; ABREU, U. G. P.; LACERDA, V. V. AND BRACCINI NETO, J. Selection indexes for Nelore production system in the Brazilian Pantanal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 50, p. e20200264, 2021.
- QIAN, G.; MAHDI, A. Sensitivity analysis methods in the biomedical sciences. **Mathematical Biosciences**, v. 323, May 2020, 108306.
- R. R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria R Foundation for Statistical Computing, 2021. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 5 maio 2022.
- ROSSEL, Y. Lavaan: An R Package for Structural Equation Modeling. **Journal of Statistical Software**, v. 48, n. 2, p. 1-36, 2012.
- SCUTARI, M. Learning Bayesian Networks with the bnlearn R Package. **Journal of Statistical Software**, v. 35, n. 3, p. 1-22, 2010.
- SIQUEIRA, J. B.; GUIMARÃES, J. D.; PINHO, R. O. Relação entre perímetro escrotal e características produtivas e reprodutivas em bovinos de corte: uma revisão. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v. 37, n. 1, p. 3-13, 2013.
- SOARES, B. B. **Estudo genético-quantitativo de características morfológicas, reprodutivas, produtivas e de carcaça em bovinos Nelore**. 2021. 125 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2021.
- TINEO, J. S. A.; RAIDAN, F. S. S.; SANTOS, D. C. C.; TORAL, F. L. B. Influência da idade e do peso no início do teste na análise genética de características de crescimento, reprodução e escores visuais de tourinhos Nelore em provas de ganho em peso a pasto. **Archivos de Zootecnia**, v. 65, n. 249, p. 29-34, 2016.
- UNANIAN, M. M.; SILVA, A. E. D. F.; MCMANUS, C.; CARDOSO, E. P. Características biométricas testiculares para avaliação de touros zebuínos da raça nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 1, p. 136-144, 2000.

Embrapa

Cerrados

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

CGPE 017904