***Campus* Cacoal**
Coordenação do Curso Zootecnia

RAFAEL DUARTE DE SOUZA

TÍTULO:

ANÁLISE MULTIVARIADA APLICADA À REDUÇÃO DE CARACTERÍSTICAS NA SELEÇÃO DE BOVINOS NELORE

CACOAL
2026

RAFAEL DUARTE DE SOUZA

TÍTULO:

ANÁLISE MULTIVARIADA APLICADA À REDUÇÃO DE CARACTERÍSTICAS NA SELEÇÃO DE BOVINOS NELORE

Artigo entregue como Trabalho de Conclusão de Curso ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), *Campus* Cacoal, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharelado, junto ao Curso Zootecnia sob a orientação do professor Dr Henrique silva sérvio.

CACOAL
2026

.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Gerador de Ficha Catalográfica do IFRO.

Souza, Rafael Duarte de.
Seleção de características em bovinos nelore por meio de análise multivariada / Rafael Duarte de Souza. - Cacoal, 2026.
40 f. : il.
Orientador(a): Henrique Silva Sérvio.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Zootecnia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO, Cacoal, 2026.

1. Bovinos nelore. 2. Componentes principais. 3. Correlação de Spearman. 4. Melhoramento genético. 5. Seleção animal. I. Sérvio, Henrique Silva (orient.). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO. III. Título.

Bibliotecário(a) Responsável: Ana Lucia Bastos Paiva Martins, CRB-11/1306

RAFAEL DUARTE DE SOUZA

TÍTULO:

ANÁLISE MULTIVARIADA APLICADA À REDUÇÃO DE CARACTERÍSTICAS NA SELEÇÃO DE BOVINOS NELORE

Artigo entregue como Trabalho de Conclusão de Curso ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), *Campus Cacoal*, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharelado junto ao Curso Zootecnia, sob a orientação do professor Dr Henrique silva sérvio

Aprovado pelo colegiado do curso de Bacharel em Zootecnia em: 19 de novembro de 2026

gov.br Documento assinado digitalmente
LARISSA CRISTINA TORREZANI STARLING REINI
Data: 23/11/2026 17:27:10-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Coordenadora de curso

gov.br Documento assinado digitalmente
HENRIQUE SILVA SERVIO
Data: 24/11/2026 10:34:42-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Orientador

Análise multivariada aplicada à redução de características na seleção de bovinos nelore

Multivariate analysis applied to feature reduction in the selection of nelore cattle

Análisis multivariante aplicado a la reducción de características en la selección de ganado bovino nelore

DOI: 10.34188/bjaerv9n4-121

Originals received: 9/18/2026
Acceptance for publication: 10/16/2026

Rafael Duarte de Souza
Graduando em Zootecnia
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - campus Cacoal
Endereço: Cacoal, Rondônia, Brasil
E-mail: rafaelduartedesouza79@gmail.com

Henrique Silva Sérvio
Doutor em Zootecnia
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - campus Cacoal
Endereço: Cacoal, Rondônia, Brasil
E-mail: henrique.servio@ifro.edu.br

RESUMO
A avaliação simultânea de características produtivas, reprodutivas e de carcaça é importante para a seleção de bovinos de corte, porém a existência de informações correlacionadas pode possibilitar a redução do número de características sem comprometer a classificação dos animais. Objetivou-se aplicar análise multivariada a características de bovinos Nelore, identificando combinações reduzidas capazes de preservar a classificação estabelecida por índices de referência. Foram analisados registros de machos e fêmeas submetidos à análise de correlação de Pearson e análise de componentes principais, utilizando-se dados padronizados. Diferentes combinações de características foram avaliadas quanto à variância explicada pelo primeiro componente principal, à concordância com o índice de referência pela correlação de Spearman e à coincidência dos animais nos estratos superiores de seleção. Nos machos, a combinação entre peso aos 450 dias e acabamento de carcaça apresentou correlação de Spearman de 0,972 com o índice de referência e preservou 78,95%, 81,58% e 90,35% dos animais nos estratos Top 10%, Top 20% e Top 30%, respectivamente. Nas fêmeas, a mesma combinação apresentou correlação de 0,645 e coincidências de 32,56%, 49,41% e 55,47% nos respectivos estratos. Os resultados demonstram que elevada variância explicada não implica necessariamente preservação da decisão de seleção e que a eficiência da redução difere entre os grupos avaliados. A análise multivariada, associada à concordância de rankings e à preservação dos animais selecionados, constitui abordagem complementar para investigar a simplificação de avaliações multicaracterísticas.

Palavras-chave: bovinos Nelore, componentes principais, correlação de Spearman, melhoramento genético, seleção animal.

ABSTRACT

The simultaneous evaluation of production, reproductive, and carcass traits is important for beef cattle selection; however, correlations among traits may allow the number of traits evaluated to be reduced without compromising animal ranking. This study aimed to apply multivariate analysis to traits measured in Nellore cattle and identify reduced trait combinations capable of preserving the ranking established by reference selection indices. Records from males and females were analyzed using Pearson correlation and principal component analysis (PCA) based on standardized data. Different trait combinations were evaluated according to the variance explained by the first principal component (PC1), agreement with the reference index using Spearman's rank correlation, and overlap of animals within the top selection groups. In males, the combination of 450-day weight and carcass finishing showed a Spearman's rank correlation of 0.972 with the reference index and retained 78.95%, 81.58%, and 90.35% of the animals in the top 10%, 20%, and 30%, respectively. In females, the same combination showed a correlation of 0.645 and retained 32.56%, 49.41%, and 55.47% of the animals in the corresponding selection groups. The results demonstrate that a high proportion of explained variance does not necessarily imply preservation of selection decisions and that the effectiveness of trait reduction differs between the groups evaluated. Multivariate analysis combined with ranking agreement and overlap among selected animals provides a complementary approach for investigating the simplification of multi-trait evaluations.

Keywords: Nellore cattle, principal component analysis, Spearman's rank correlation, animal breeding, animal selection.

RESUMEN

La evaluación simultánea de los rasgos productivos, reproductivos y de la canal es importante para la selección de bovinos de carne; sin embargo, la existencia de información correlacionada puede permitir reducir el número de rasgos sin comprometer la clasificación de los animales. El objetivo fue aplicar un análisis multivariante a los rasgos de los bovinos Nelore, identificando combinaciones reducidas capaces de preservar la clasificación establecida por los índices de referencia. Se analizaron registros de machos y hembras sometidos al análisis de correlación de Pearson y al análisis de componentes principales, utilizando datos estandarizados. Se evaluaron diferentes combinaciones de características en cuanto a la varianza explicada por el primer componente principal, la concordancia con el índice de referencia mediante la correlación de Spearman y la coincidencia de los animales en los estratos superiores de selección. En los machos, la combinación entre el peso a los 450 días y el acabado de la canal presentó una correlación de Spearman de 0,972 con el índice de referencia y mantuvo al 78,95 %, al 81,58 % y al 90,35 % de los animales en los estratos Top 10 %, Top 20 % y Top 30 %, respectivamente. En las hembras, la misma combinación presentó una correlación de 0,645 y coincidencias del 32,56 %, 49,41 % y 55,47 % en los respectivos estratos. Los resultados demuestran que una elevada varianza explicada no implica necesariamente la preservación de la decisión de selección y que la eficiencia de la reducción difiere entre los grupos evaluados. El análisis multivariante, asociado a la concordancia de las clasificaciones y a la conservación de los animales seleccionados, constituye un enfoque complementario para investigar la simplificación de las evaluaciones multicaracterísticas.

Palabras clave: ganado Nelore, componentes principales, correlación de Spearman, mejora genética, selección animal.

1 INTRODUÇÃO

A bovinocultura de corte desempenha um papel estratégico no agronegócio brasileiro, constituindo um dos pilares de sustentação econômica e social do setor produtivo. No entanto, o cenário atual exige crescente eficiência técnica e gestão aprimorada dos sistemas de produção para garantir a rentabilidade e atender às exigências do mercado por maior produtividade (Santos *et al*., 2024).

O melhoramento genético de bovinos de corte tem incorporado um número crescente de características relacionadas ao crescimento, reprodução, eficiência produtiva e qualidade de carcaça, buscando selecionar animais de mérito mais abrangente para diferentes sistemas de produção. Essa abordagem multicaracterística é particularmente relevante na raça Nelore, na qual associações entre características produtivas, reprodutivas e de carcaça demonstram que a resposta à seleção não deve ser compreendida a partir de características isoladas. Relações genéticas entre características reprodutivas e perímetro escrotal, assim como associações envolvendo crescimento, eficiência e composição de carcaça, exemplificam a natureza multidimensional dos objetivos de melhoramento (Costa *et al*., 2020; Negreiros *et al*., 2022; Almeida *et al*., 2024).

A integração dessas informações pode ser realizada por índices de seleção, que sintetizam diferentes critérios em uma medida utilizada para classificação dos animais. A definição das características que compõem esses índices e de suas respectivas ponderações depende dos objetivos de melhoramento e das condições econômicas e produtivas consideradas. Em sistemas de produção de bovinos Nelore, diferentes estruturas de índices têm sido propostas para representar objetivos específicos, e alterações nos valores econômicos ou na consideração do risco podem modificar a classificação dos candidatos à seleção (Portes *et al*., 2020; Portes *et al*., 2021; Souza *et al*., 2022). Assim, embora a incorporação de múltiplas características amplie a informação disponível, sua utilidade deve ser analisada em relação ao objetivo de seleção estabelecido.

Paralelamente, a ampliação do número de características avaliadas aumenta as exigências de mensuração, manejo, infraestrutura e processamento das informações. Métodos multivariados podem contribuir para compreender essa estrutura informacional ao considerar simultaneamente as associações entre as características. Entre esses métodos, a análise de componentes principais (ACP) permite transformar um conjunto de variáveis correlacionadas em componentes não correlacionados e identificar dimensões que concentram diferentes proporções da variabilidade. Aplicações em bovinos Nelore demonstraram a possibilidade de sintetizar informações provenientes de características de crescimento, reprodução e carcaça em um número reduzido de dimensões, evidenciando o potencial dessas abordagens como ferramentas complementares aos critérios convencionais de seleção (Lopes *et al*., 2016; Viana *et al*., 2020).

Entretanto, reduzir a dimensionalidade estatística não significa necessariamente preservar uma decisão de seleção. Um subconjunto de características pode explicar elevada proporção da variabilidade entre os animais e, ainda assim, modificar sua ordenação ou alterar quais indivíduos ocupam os estratos superiores do ranking. Essa distinção torna-se particularmente importante porque, em programas de melhoramento, o interesse aplicado não se restringe à representação da variabilidade da população, mas envolve a identificação dos indivíduos que serão efetivamente selecionados. Dessa forma, a avaliação de conjuntos reduzidos deve considerar, além da variância explicada, a concordância com o ranking de referência e a preservação dos animais selecionados em diferentes intensidades de seleção (Lopes *et al*., 2016; Souza *et al*., 2022).

Diante desse contexto, objetivou-se *aplicar análise multivariada para investigar a possibilidade de redução do número de características utilizadas na seleção de bovinos Nelore, avaliando a estrutura de associação entre as características e a capacidade de conjuntos reduzidos preservarem a classificação e os indivíduos selecionados por um índice de referência*. A abordagem busca identificar soluções parcimoniosas sem assumir que a redução seja necessariamente vantajosa, distinguindo a capacidade de sintetizar a variabilidade da capacidade de preservar efetivamente a decisão de seleção.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PECUÁRIA DE CORTE BRASILEIRA E IMPORTÂNCIA DA RAÇA NELORE

A pecuária de corte ocupa posição estratégica no agronegócio brasileiro pela escala do rebanho, volume de produção e participação no comércio internacional de carne bovina. Em 2024, o efetivo bovino brasileiro foi estimado em **238,18 milhões de cabeças** pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), enquanto o *Beef Report 2026* estimou, para 2025, **195,5 milhões de cabeças no rebanho comercial,** produção de **12,35 milhões de toneladas equivalente carcaça** e abate de **47,79 milhões de bovinos**. No mesmo ano, o Brasil exportou aproximadamente **3,5 milhões de toneladas de carne bovina,** com faturamento próximo de **US$ 18 bilhões**, mantendo-se entre os principais protagonistas do mercado mundial e ampliando sua participação na oferta internacional da proteína. Essas informações evidenciam não apenas a dimensão econômica da atividade, mas também a necessidade contínua de ganhos em produtividade e eficiência ao longo da cadeia produtiva (IBGE, 2025; ABIEC, 2026).

Nesse cenário, a raça Nelore ocupa posição de destaque na pecuária de corte brasileira. De origem indiana e pertencente ao grupo dos zebuínos, sua expansão no país está associada à adaptação às condições tropicais de produção, à rusticidade e à ampla utilização em sistemas baseados em pastagens (Ferraz; Felício, 2010).

Animais Nelore e anelorados representam parcela expressiva do rebanho de corte brasileiro, estimada em aproximadamente 80% pela Associação dos Criadores de Nelore do Brasil (ACNB, 2026). Essa participação também contribuiu para que a raça se tornasse uma das principais populações contempladas por programas de avaliação e seleção genética no país.

Nas últimas décadas, o aumento da produção brasileira de carne bovina ocorreu conjuntamente com mudanças na utilização de áreas de pastagens e nos indicadores de produtividade. Entre 1990 e 2025, a produção de carne bovina cresceu proporcionalmente mais que o rebanho, enquanto a área destinada às pastagens apresentou redução, evidenciando o processo de intensificação da atividade (ABIEC, 2026).

Nesse contexto, o melhoramento genético constitui uma das estratégias para ampliar a eficiência dos sistemas produtivos, por meio da seleção de animais para características de interesse econômico, produtivo, reprodutivo e de carcaça (Souza *et al*., 2022). A representatividade do Nelore e a diversidade de características consideradas em

sua avaliação genética justificam o desenvolvimento de abordagens capazes de integrar essas informações e subsidiar decisões de seleção.

2.2 MELHORAMENTO GENÉTICO E SELEÇÃO MULTICARACTERÍSTICA EM BOVINOS NELORE

O melhoramento genético animal busca promover mudanças permanentes na população por meio da identificação e seleção de indivíduos geneticamente superiores para características associadas aos objetivos do sistema de produção. Na bovinocultura de corte, esses objetivos envolvem simultaneamente atributos de crescimento, reprodução, eficiência e carcaça, tornando necessária a consideração das relações existentes entre diferentes grupos de características (Kluska *et al*., 2018; Negreiros *et al*., 2022).

Na raça Nelore, características de crescimento, como pesos ajustados em diferentes idades, são amplamente utilizadas na avaliação do desempenho dos animais e apresentam associações com características reprodutivas e de carcaça. Kluska *et al*. (2018), ao avaliarem características de crescimento, reprodução e carcaça em bovinos Nelore, observaram correlações genéticas entre peso aos 450 dias e características como perímetro escrotal e área de olho de lombo. Essas associações evidenciam que a resposta à seleção para uma característica pode estar relacionada ao desempenho de outras características de interesse.

As características reprodutivas também constituem uma dimensão importante dos objetivos de seleção. O perímetro escrotal é utilizado como critério de seleção em bovinos de corte por apresentar variabilidade genética e associação com características relacionadas à reprodução (Kluska *et al*., 2018; Costa *et al*., 2020). Dessa forma, sua contribuição para um processo de seleção não deve ser avaliada exclusivamente pela associação com características de crescimento ou carcaça, uma vez que diferentes critérios podem representar dimensões biológicas distintas do objetivo de melhoramento.

A avaliação de carcaça acrescenta outra dimensão à seleção dos animais. Características como área de olho de lombo, espessura de gordura subcutânea e marmoreio podem ser obtidas in vivo por ultrassonografia e utilizadas em programas de melhoramento de bovinos Nelore. Estudos têm demonstrado variabilidade genética para essas características e relações com outros atributos economicamente relevantes,

possibilitando sua incorporação aos objetivos de seleção para composição e qualidade de carcaça (Kluska *et al*., 2018; Marestone *et al*., 2022).

A existência de múltiplas características de interesse torna a decisão de seleção um problema essencialmente multicaracterístico. Índices de seleção permitem combinar informações provenientes de diferentes atributos em um critério agregado, cuja composição deve estar relacionada aos objetivos econômicos e produtivos do sistema (Portes *et al*., 2020; Souza *et al*., 2022). Entretanto, à medida que diferentes características são incorporadas à avaliação, torna-se relevante compreender quanto da informação fornecida por elas é complementar ou redundante. Essa questão estabelece a conexão entre a seleção multicaracterística e o emprego de métodos estatísticos capazes de investigar conjuntamente a estrutura de associação entre as variáveis.

2.3 ESTATÍSTICA MULTIVARIADA E ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS NO MELHORAMENTO ANIMAL

A avaliação de características de interesse zootécnico envolve variáveis que podem apresentar diferentes graus de associação entre si. Nesse contexto, a estatística multivariada reúne métodos que permitem analisar simultaneamente múltiplas variáveis e investigar a estrutura de covariância ou correlação existente entre elas (Johnson; Wichern, 2007). No melhoramento animal, essa abordagem é particularmente útil quando diferentes características produtivas, reprodutivas e de carcaça são consideradas conjuntamente na avaliação dos indivíduos (Lopes *et al*., 2016).

Entre os métodos multivariados, a análise de componentes principais (ACP) permite reduzir a dimensionalidade de um conjunto de variáveis correlacionadas por meio de combinações lineares denominadas componentes principais. Esses componentes são ortogonais entre si e ordenados de acordo com a proporção da variância total que explicam, possibilitando representar parte relevante da estrutura dos dados em um número menor de dimensões (Jolliffe, 2002; Johnson; Wichern, 2007). Quando as variáveis apresentam diferentes unidades de medida ou escalas, a análise pode ser realizada a partir da matriz de correlações ou de dados previamente padronizados, evitando que variáveis de maior variância dominem a formação dos componentes (Jolliffe, 2002).

A interpretação dos componentes considera tanto a proporção da variância explicada quanto a contribuição das variáveis para cada componente. Em bovinos Nelore, Vargas *et al*. (2018) aplicaram ACP à matriz de covariância genética aditiva envolvendo

nove características de crescimento, reprodução e avaliação visual e verificaram que os três primeiros componentes concentraram 87,11% da variância genética aditiva total. Em outra aplicação com a raça, Viana *et al*. (2020) utilizaram valores genéticos de sete características e verificaram que os dois primeiros componentes explicaram mais de 96% da variância genética aditiva, demonstrando a possibilidade de sintetizar estruturas multicaracterísticas em um número reduzido de dimensões.

A redução da estrutura multicaracterística também foi investigada por Boligon *et al*. (2015) em bovinos Nelore, utilizando modelos de posto reduzido para características de crescimento e reprodução. Os autores verificaram que três componentes foram suficientes para representar adequadamente a estrutura de covariância considerada, com correlações de classificação entre os valores genéticos obtidos pelos modelos reduzidos e pelo modelo multicaracterístico completo variando aproximadamente de 0,93 a 0,99 (Boligon *et al*., 2015). Esses resultados demonstram que estruturas de menor dimensão podem conservar parcela relevante da informação presente em conjuntos maiores de características, embora a magnitude dessa redução dependa da estrutura de associação entre as variáveis avaliadas.

Entretanto, a ACP e os índices de seleção possuem finalidades conceitualmente distintas. A ACP procura representar a estrutura de variabilidade dos dados sem utilizar, necessariamente, um objetivo econômico ou de melhoramento previamente definido, enquanto os índices de seleção combinam informações visando a um objetivo de seleção específico. Portanto, elevada variância explicada por poucos componentes não implica, por si só, que um conjunto reduzido de características reproduza a classificação estabelecida por determinado índice. Essa distinção fundamenta a necessidade de avaliar a redução não apenas pela capacidade de síntese estatística, mas também por sua influência sobre o ranking e sobre os indivíduos efetivamente selecionados.

2.4 REDUÇÃO DE CARACTERÍSTICAS, PARCIMÔNIA E PRESERVAÇÃO DA DECISÃO DE SELEÇÃO

A utilização simultânea de múltiplas características permite representar diferentes dimensões dos objetivos de seleção, mas também pode resultar em informações parcialmente correlacionadas. Nesse contexto, métodos de redução dimensional podem auxiliar na identificação de estruturas mais parcimoniosas, nas quais um número menor de variáveis representa parcela relevante da informação originalmente disponível

(Boligon *et al*., 2015; Viana *et al*., 2020). A redução, entretanto, deve ser interpretada com cautela, pois baixa contribuição para determinado componente ou elevada correlação com outras características não implica ausência de importância genética, biológica ou econômica.

A avaliação de uma estrutura reduzida também não deve se limitar à proporção de variância explicada. Lopes *et al*. (2016), ao compararem abordagens multivariadas e índices de seleção em bovinos de corte, encontraram correlações entre as classificações produzidas pelos diferentes critérios, demonstrando que a correspondência entre métodos pode variar conforme a estrutura considerada. De forma semelhante, Boligon *et al*. (2015) avaliaram modelos de posto reduzido em Nelore não apenas pela capacidade de representar a estrutura de covariância, mas também pela concordância entre as classificações dos animais obtidas pelos modelos reduzidos e pelo modelo multicaracterístico completo.

Essa distinção é relevante porque a seleção implica uma decisão sobre quais indivíduos serão escolhidos, e não apenas a representação da variabilidade existente na população. Alterações na composição ou ponderação dos critérios de seleção podem modificar a classificação dos candidatos e, consequentemente, os animais selecionados (Souza *et al*., 2022). Assim, a avaliação de conjuntos reduzidos pode incorporar medidas de correlação de postos e de concordância entre os indivíduos presentes nos estratos superiores da classificação, permitindo verificar se a simplificação estatística preserva a decisão estabelecida pelo critério de referência.

Nesse sentido, a parcimônia não deve ser entendida como a simples eliminação do maior número possível de características. No contexto deste estudo, ela corresponde à busca por um conjunto reduzido capaz de conservar satisfatoriamente a classificação produzida pelo índice de referência, reconhecendo que características não incluídas nesse conjunto podem permanecer relevantes para outros objetivos de melhoramento. Dessa forma, a análise conjunta da redução dimensional, da concordância de ranking e da preservação dos indivíduos selecionados fornece uma abordagem para investigar até que ponto a estrutura de avaliação pode ser simplificada sem comprometer a decisão de seleção.

3 METODOLOGIA

3.1 BANCO DE DADOS

Foram utilizados dados de bovinos da raça Nelore provenientes de uma fazenda, localizada nos municípios de Espigão do Oeste e Cacoal, estado de Rondônia, Brasil. Os animais pertenciam a rebanho participante do Programa de Melhoramento Genético de Zebuínos (PMGZ) e possuíam registros de características de crescimento, reprodução e carcaça utilizados na avaliação dos animais.

O banco de dados foi constituído por 822 animais, sendo 392 machos, nascidos entre 2022 e 2023, e 430 fêmeas, nascidas entre 2020 e 2021. Machos e fêmeas foram analisados separadamente em razão das diferenças entre as características disponíveis e na composição dos respectivos índices de seleção utilizados como referência. Após a verificação da disponibilidade simultânea dos registros necessários às análises multivariadas, foram considerados 380 machos e 424 fêmeas com dados completos.

As análises foram realizadas a partir de registros previamente coletados no sistema de avaliação do rebanho, não havendo intervenção experimental ou alteração do manejo dos animais para a realização deste estudo. As informações foram organizadas em bancos específicos para machos e fêmeas e posteriormente às análises estatísticas foram realizadas no software R, em ambiente RStudio, versão 4.5.2 (R Core Team, 2026).

3.2 CARACTERÍSTICAS AVALIADAS E ÍNDICE DE REFERÊNCIA

As características avaliadas foram definidas de acordo com os registros disponíveis para machos e fêmeas. Nos machos, foram consideradas peso ajustado aos 450 dias (P450, kg), perímetro escrotal ajustado aos 450 dias (PE450, cm), área de olho de lombo (AOL, cm^2), acabamento de carcaça (ACAB, mm) e marmoreio (MAR, %). Nas fêmeas, foram avaliados P450, AOL e ACAB. As características de carcaça foram obtidas por avaliação ultrassonográfica, conforme os registros disponíveis no banco de dados do rebanho.

Para avaliar a capacidade dos conjuntos reduzidos de características em preservar a classificação dos animais, foram utilizados como referência os índices originalmente disponíveis no banco de dados. Para os machos, o índice de referência foi constituído por

P450, PE450, AOL e ACAB, com ponderações de 40, 15, 20 e 25%, respectivamente, sendo representado por:

$$\boldsymbol{I_M} = 0{,}40C_{P450} + 0{,}15C_{PE450} + 0{,}20C_{AOL} + 0{,}25C_{ACAB} \quad (1)$$

em que I_M corresponde ao índice de referência dos machos e C representa o escore/classe atribuído à respectiva característica no banco de avaliação.

Para as fêmeas, o índice de referência foi composto por P450, AOL e ACAB, com ponderações de 50, 25 e 25%, respectivamente:

$$\boldsymbol{I_F} = 0{,}50C_{P450} + 0{,}25C_{AOL} + 0{,}25C_{ACAB} \quad (2)$$

em que; I_F corresponde ao índice de referência das fêmeas.

Em ambos os casos, as ponderações foram aplicadas aos escores/classes das características, e não diretamente aos valores fenotípicos expressos em kg, cm, cm² ou mm.

Essa distinção é necessária porque as ponderações representam a contribuição relativa de cada característica para o índice original, evitando que diferenças de unidade e escala seja interpretada como parte da ponderação.

A característica MAR, disponível para os machos, foi incluída na caracterização da estrutura multivariada dos dados, embora não integrasse o índice de referência. Dessa forma, foi possível avaliar sua associação com as demais características e sua contribuição para a estrutura de variabilidade observada sem alterar o critério utilizado originalmente para classificação dos animais.

Os índices foram mantidos como critérios de referência, preservando-se sua estrutura original de ponderação. Portanto, o estudo não teve como finalidade desenvolver ou otimizar um novo índice de seleção. O objetivo foi verificar em que medida subconjuntos reduzidos de características, sintetizados por análise multivariada, seriam capazes de preservar a ordenação dos animais e a composição dos grupos selecionados estabelecidas pelos índices de referência.

3.3 PREPARAÇÃO DOS DADOS E ANÁLISE EXPLORATÓRIA

Inicialmente, os bancos de dados de machos e fêmeas foram submetidos à verificação de consistência, considerando a disponibilidade dos registros para as características avaliadas. Para as análises multivariadas, foram utilizados apenas animais com registros completos para o conjunto de características considerado, resultando em 380 machos e 424 fêmeas na análise global. Nas análises descritivas, entretanto, foi preservado o número de observações disponível para cada característica, razão pela qual o tamanho amostral pode variar entre as variáveis.

A caracterização inicial dos dados foi realizada por meio de estatística descritiva, com determinação do número de observações (n), média, desvio-padrão, valores mínimo e máximo e coeficiente de variação (CV).

Posteriormente, foram estimadas as **correlações lineares de Pearson** entre as características avaliadas separadamente para machos e fêmeas. A matriz de correlações foi utilizada para descrever a direção e a magnitude das associações entre as variáveis e auxiliar na caracterização da estrutura multivariada dos dados.

Antes da análise de componentes principais, as características foram **padronizadas para média zero e variância unitária**, uma vez que apresentavam diferentes unidades e escalas de mensuração, como kg, cm, cm^2, mm e porcentagem.

As análises estatísticas foram realizadas no software R, em ambiente RStudio, versão 4.5.2 (R Core Team, 2026).

3.4 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS E DEFINIÇÃO DOS SUBCONJUNTOS DE CARACTERÍSTICAS

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada separadamente para machos e fêmeas a partir das características previamente padronizadas. A ACP transforma o conjunto original de variáveis correlacionadas em combinações lineares ortogonais, denominadas componentes principais, ordenadas de acordo com a proporção da variância total explicada (JOLLIFFE, 2002; JOHNSON; WICHERN, 2007). Para cada componente, foram obtidos os autovalores, a proporção individual e acumulada da variância explicada e as cargas associadas às características originais.

De forma geral, o *K*-ésimo componente principal foi representado por:

$$CP_k = a_{k1}Z_1 + a_{k2}Z_2 + \cdots + a_{kp}Z_p \quad (3)$$

em que:

CP_k corresponde ao *K*-ésimo componente principal; Z_1,…, Z_p representam as características padronizadas; e a_{k1},…, a_{kp} correspondem aos coeficientes associados às variáveis na formação do componente. A contribuição dos componentes foi avaliada pela proporção da variância total explicada e pelas cargas das características, permitindo descrever a estrutura multivariada dos dados.

Além da ACP considerando o conjunto global de características, foram avaliados subconjuntos reduzidos, com o objetivo de verificar se um número menor de características seria capaz de reproduzir a classificação estabelecida pelo índice de referência. Para cada subconjunto avaliado, foi realizada uma nova ACP exclusivamente com as características pertencentes àquela combinação. Dessa forma, os componentes e seus respectivos coeficientes foram recalculados para cada conjunto, em vez de simplesmente excluir variáveis de uma ACP previamente ajustada.

Para cada subconjunto, o primeiro componente principal (CP1) foi utilizado como escore multivariado para ordenar os animais. A escolha do CP1 decorreu de sua propriedade de representar a combinação linear que concentra a maior proporção da variância total entre as características que compõem cada subconjunto (JOLLIFFE, 2002). Assim, para um subconjunto contendo $\boldsymbol{q}$ características, o escore utilizado para o animal $\boldsymbol{i}$ pode ser representado por:

$$\boldsymbol{CP1_i} = a_1Z_{i1} + a_2Z_{i2} + \cdots + a_qZ_{iq} \quad (4)$$

em que:

$\boldsymbol{CP1_i}$ corresponde ao escore do primeiro componente principal para o animal $\boldsymbol{i}$; Z_{ij}, ao valor padronizado da característica $\boldsymbol{j}$ para esse animal;
e $\boldsymbol{a_j}$, ao coeficiente estimado pela ACP para a respectiva característica.

Nos machos, foram avaliadas todas as combinações possíveis entre P450, PE450, AOL, ACAB e MAR, considerando subconjuntos com diferentes números de características. Nas fêmeas, foram avaliadas todas as combinações possíveis entre P450,

AOL e ACAB. Para cada subconjunto, uma nova ACP foi ajustada e foram registrados a proporção da variância explicada pelo CP1 e os escores individuais dos animais. Esses escores foram utilizados para estabelecer a classificação correspondente a cada combinação de características.

As classificações obtidas pelos diferentes subconjuntos foram posteriormente comparadas com aquelas produzidas pelos respectivos índices de referência. Nos machos, essa estratégia permitiu também avaliar combinações contendo MAR, embora essa característica não integrasse o índice original. Dessa forma, a análise contemplou a totalidade das informações disponíveis no banco de dados, permitindo investigar tanto a redução de características pertencentes ao índice quanto a contribuição de características adicionais para a preservação da classificação de referência.

3.5 AVALIAÇÃO DA PRESERVAÇÃO DO RANKING E DA DECISÃO DE SELEÇÃO

A capacidade dos subconjuntos de características em reproduzir a classificação estabelecida pelos índices de referência foi avaliada em duas dimensões complementares: concordância global do ranking e preservação dos animais pertencentes aos estratos superiores de seleção. Essa abordagem permitiu distinguir a similaridade entre a ordenação geral dos animais da concordância especificamente entre aqueles que seriam efetivamente priorizados para seleção.

A concordância global entre o ranking obtido pelo primeiro componente principal de cada subconjunto e o ranking produzido pelo respectivo índice de referência foi mensurada pelo coeficiente de correlação de postos de *Spearman* (ρ). Esse coeficiente foi utilizado por avaliar a correspondência entre as posições relativas dos animais, independentemente da escala dos escores produzidos pelos dois critérios. Valores de ρ mais próximos de 1 indicaram maior concordância entre as classificações.

Além da concordância global, foi avaliada a **preservação da decisão de seleção** nos estratos correspondentes aos **10%, 20% e 30% dos animais mais bem classificados**. Para cada intensidade de seleção, foram identificados os animais pertencentes simultaneamente ao grupo superior definido pelo índice de referência e ao grupo correspondente definido pelo CP1 do subconjunto avaliado. A taxa de preservação foi calculada por:

$$P_{k(\%)} = \frac{|S_{ref,k} \cap S_{red,k}|}{|S_{ref,k}|} \times 100 \quad (5)$$

em que;

P_k representa a porcentagem de preservação no estrato k; $S_{ref,k}$, o conjunto de animais selecionados pelo índice de referência; $S_{red,k}$, o conjunto selecionado pelo subconjunto reduzido; e $S_{ref,k} \cap S_{red,k}$, o número de animais coincidentes entre os dois critérios.

Foram considerados separadamente os estratos Top 10%, Top 20% e Top 30%, permitindo avaliar o comportamento dos subconjuntos sob diferentes proporções de animais selecionados. Assim, uma combinação poderia apresentar elevada concordância global de ranking e, ainda assim, não preservar integralmente os animais situados nas posições prioritárias para seleção. Por essa razão, a correlação de Spearman e a taxa de preservação foram interpretadas de maneira complementar.

A avaliação dos subconjuntos considerou ainda a proporção da variância explicada pelo CP1, permitindo confrontar a capacidade de síntese estatística com a capacidade de preservação da decisão. Não foi estabelecido previamente um valor mínimo de variância explicada como critério exclusivo para escolha das combinações, uma vez que o objetivo foi verificar empiricamente se subconjuntos que concentravam maior variabilidade também apresentavam maior concordância com o índice de referência. Dessa forma, a identificação das soluções mais parcimoniosas considerou conjuntamente o número de características, a variância explicada pelo CP1, a correlação de Spearman e a preservação dos animais nos estratos Top 10%, 20% e 30%.

As análises estatísticas foram realizadas no software R, em ambiente RStudio, versão 4.5.2 (R Core Team, 2026).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS ANIMAIS E DAS CARACTERÍSTICAS AVALIADAS

As características avaliadas apresentaram diferenças quanto à magnitude e à variabilidade dos registros (Tabela 1).

Tabela 1. Estatística descritiva das características avaliadas em machos e fêmeas da raça Nelore.

Sexo	Característica	n	Média	Desvio-padrão	CV (%)	Mínimo	Máximo
Machos	P450 (kg)	390	500,14	43,63	8,72	356	670
	PE450 (cm)	380	33,27	2,78	8,34	21,4	40,6
	AOL (cm²)	392	85,67	8,36	9,76	59,26	116,53
	ACAB (mm)	392	5,26	1,47	28,05	2,22	12,65
	MAR (%)	392	1,84	0,36	19,63	1,37	3,15
Fêmeas	P450 (kg)	426	356,58	30,78	8,63	238	448
	AOL (cm²)	424	54,86	5,96	10,86	38,78	69,26
	ACAB (mm)	424	5,03	1,59	31,57	1,53	10,63

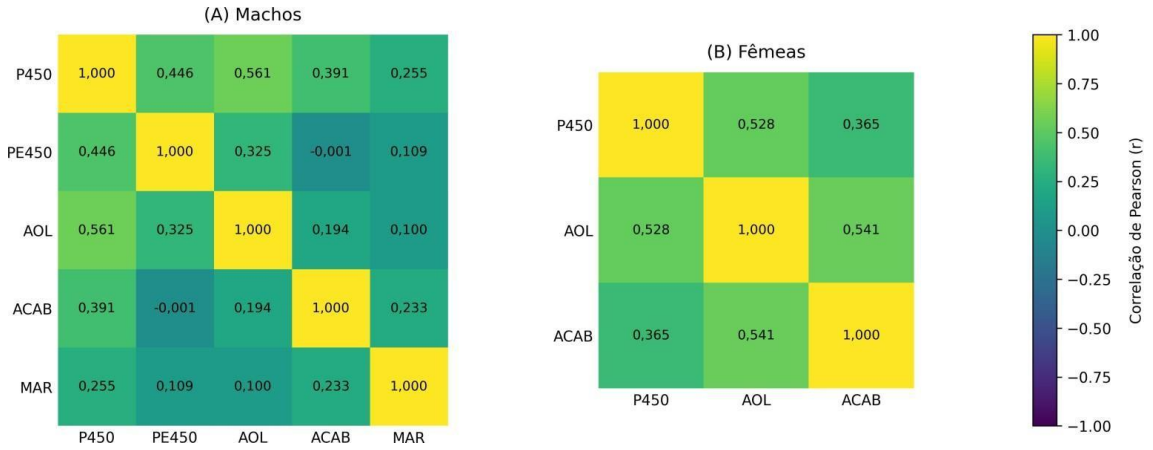
Obs: P450 = peso ajustado aos 450 dias; PE450 = perímetro escrotal ajustado aos 450 dias; AOL = área de olho de lombo; ACAB = acabamento de carcaça; MAR = marmoreio; n = número de observações; CV = coeficiente de variação. Fonte: Elaborada Pelos Autores (2026)

Nos machos, o peso ajustado aos 450 dias (P450) apresentou média de 500,14 ± 43,63 kg, enquanto o perímetro escrotal ajustado aos 450 dias (PE450) apresentou média de 33,27 ± 2,78 cm. Para as características de carcaça, foram observadas médias de 85,67 ± 8,36 cm² para AOL, 5,26 ± 1,47 mm para ACAB e 1,84 ± 0,36% para MAR. Nas fêmeas, as médias foram de 356,58 ± 30,78 kg para P450, 54,86 ± 5,96 cm² para AOL e 5,03 ± 1,59 mm para ACAB. Esses resultados caracterizam os grupos avaliados e evidenciam diferenças esperadas entre as categorias, razão pela qual machos e fêmeas foram analisados separadamente.

A amplitude relativa dos dados também variou entre as características. Nos machos, os coeficientes de variação foram de 8,72% para P450, 8,34% para PE450, 9,76% para AOL, 28,05% para ACAB e 19,63% para MAR. Nas fêmeas, foram observados coeficientes de 8,63% para P450, 10,86% para AOL e 31,57% para ACAB. Assim, o acabamento apresentou maior variação relativa nos dois grupos, enquanto peso, perímetro escrotal e AOL apresentaram menor dispersão. A existência de variabilidade entre os animais é relevante para os processos de seleção, e estudos com populações Nelore demonstram que características de crescimento, perímetro escrotal e carcaça apresentam variabilidade genética passível de utilização em programas de melhoramento (KLUSKA *et al*., 2018). No entanto, os coeficientes de variação observados neste estudo são fenotípicos e não devem ser interpretados como estimativas de variabilidade genética.

A análise de correlação mostrou que as características dos machos apresentaram diferentes graus de associação (Figura 1A). Nas fêmeas, as três características apresentaram correlações positivas e de magnitude semelhante (Figura 1B)

Figura 1. Matriz de correlação de Pearson entre as características avaliadas em bovinos Nelore: (A) machos e (B) fêmeas.



Fonte: Elaborada Pelos Autores (2026)

A análise das correlações mostrou diferentes graus de associação entre as características avaliadas nos machos (Figura 1A). A maior correlação foi observada entre **P450 e AOL (r = 0,561),** seguida por **P450 e PE450 (r = 0,446)** e **P450 e ACAB (r = 0,391)**. Os resultados evidenciam uma associação positiva entre crescimento e musculosidade e, em menor magnitude, entre crescimento e perímetro escrotal e acabamento. Dessa forma, parte da variação observada nessas características ocorreu de maneira conjunta, especialmente para P450 e AOL e para P450 e PE450.

A associação entre peso e AOL observada neste estudo pode ser comparada aos resultados de **Kluska *et al*. (2018),** que, em bovinos Nelore, encontraram correlações genéticas positivas entre características de crescimento, área de olho de lombo e perímetro escrotal, com valores entre **0,30 e 0,66** para essas relações. Embora os coeficientes estimados por Kluska *et al*. (2018) sejam de natureza genética, enquanto os valores do presente estudo correspondem a correlações de Pearson entre os registros avaliados, ambos evidenciam associações positivas entre características relacionadas ao crescimento, musculosidade e reprodução.

A relação entre crescimento e deposição de gordura foi menos pronunciada. Neste estudo, P450 apresentou correlação de 0,391 com ACAB e 0,255 com MAR nos machos. Kluska *et al*. (2018) encontraram correlações genéticas baixas entre características de crescimento e indicadores de deposição de gordura, dentro do intervalo de −0,07 a 0,20, e observaram que a seleção para aumento dos pesos teria menor repercussão sobre as características de acabamento do que sobre AOL e perímetro escrotal. Embora novamente se trate de parâmetros distintos, esses resultados ajudam a compreender por que peso e

características relacionadas à deposição de gordura não devem ser considerados medidas equivalentes na avaliação dos animais.

Entre as características dos machos que não envolvem diretamente P450, foram observadas correlações de 0,325 entre PE450 e AOL, 0,233 entre ACAB e MAR, 0,194 entre AOL e ACAB, 0,109 entre PE450 e MAR e 0,100 entre AOL e MAR. A menor associação ocorreu entre PE450 e ACAB (r = −0,001), indicando ausência de relação linear relevante entre essas duas características na amostra avaliada. Esse resultado é particularmente importante para a proposta do estudo, pois mostra que o conjunto de características contém tanto informações parcialmente relacionadas quanto informações pouco compartilhadas.

Resultados quantitativos de outros estudos também mostram que características reprodutivas e de composição corporal podem apresentar relações fracas. Negreiros *et al*. (2022), avaliando aproximadamente 400 mil registros de bovinos Nelore, encontraram correlações genéticas do *frame score* de apenas 0,06 com perímetro escrotal aos 365 dias e 0,04 com perímetro escrotal aos 450 dias, enquanto as correlações fenotípicas correspondentes foram 0,08 para ambas as idades. No mesmo estudo, as associações do frame score variaram consideravelmente entre os grupos de características, incluindo correlação genética de 0,29 ± 0,08 com peso aos 450 dias, 0,50 ± 0,04 com AOL, −0,25 ± 0,10 com espessura de gordura subcutânea e −0,15 ± 0,08 com gordura intramuscular. Embora frame score não seja uma característica avaliada no presente trabalho, esses valores ilustram quantitativamente que diferentes dimensões produtivas, reprodutivas e de carcaça podem apresentar graus bastante distintos de associação em bovinos Nelore.

Nas fêmeas, as três características avaliadas apresentaram correlações positivas (Figura 1B). A maior associação foi observada entre AOL e ACAB (r = 0,541), seguida por P450 e AOL (r = 0,528) e P450 e ACAB (r = 0,365). Esses resultados mostram que, nesse grupo, a musculosidade esteve associada tanto ao acabamento quanto ao peso corporal, enquanto a relação entre crescimento e acabamento apresentou menor magnitude. Diferentemente dos machos, nos quais os coeficientes variaram de −0,001 a 0,561, nas fêmeas as três associações ficaram entre 0,365 e 0,541, indicando uma estrutura de correlações mais homogênea entre as características consideradas.

A associação entre P450 e AOL (r = 0,528) apresentou direção semelhante à observada nos machos (r = 0,561), indicando que a relação positiva entre peso aos 450 dias e musculosidade esteve presente nos dois grupos avaliados. Essa relação também pode ser contextualizada pelos resultados de Kluska *et al*. (2018), que encontraram

correlações genéticas positivas entre características de crescimento e área de olho de lombo em bovinos Nelore, dentro de um conjunto de associações entre pesos, AOL e perímetros escrotais que variou de 0,30 a 0,66. Como discutido anteriormente, os valores não são diretamente comparáveis, pois o presente estudo avaliou correlações entre os registros das características, enquanto Kluska *et al*. (2018) estimaram correlações genéticas. Ainda assim, a direção positiva observada nos diferentes estudos evidencia que crescimento e musculosidade podem apresentar variação conjunta em populações Nelore.

A maior correlação encontrada nas fêmeas ocorreu entre AOL e ACAB (r = 0,541). Esse resultado merece destaque porque essas características representam componentes distintos da composição de carcaça: a AOL é utilizada como indicador de musculosidade, enquanto a ACAB representa a deposição de gordura subcutânea. Kluska *et al*. (2018) estimaram correlações genéticas entre características de carcaça em bovinos Nelore variando de 0,20 a 0,54, dependendo das características consideradas. Dessa forma, a associação positiva encontrada entre AOL e ACAB neste estudo indica que, entre as fêmeas avaliadas, parte da variação em musculosidade ocorreu conjuntamente com a variação no acabamento, sem que essas características devam ser interpretadas como medidas equivalentes.

Por outro lado, a correlação entre P450 e ACAB (r = 0,365) foi inferior às observadas entre P450 e AOL e entre AOL e ACAB. Nos resultados apresentados por Kluska *et al*. (2018), as correlações genéticas entre características de crescimento e indicadores de deposição de gordura situaram-se entre −0,07 e 0,20, valores inferiores aos encontrados para as relações dos pesos com AOL e perímetro escrotal. Embora o coeficiente obtido nas fêmeas deste estudo seja fenotípico e, portanto, não possa ser diretamente comparado às estimativas genéticas daqueles autores, ambos os resultados mostram que peso corporal e acabamento representam características relacionadas, mas distintas, dentro da avaliação dos animais.

Quando machos e fêmeas são considerados conjuntamente, destaca-se que P450 e AOL apresentaram correlações próximas nos dois grupos (r = 0,561 e r = 0,528, respectivamente), enquanto a associação entre P450 e ACAB foi de 0,391 nos machos e 0,365 nas fêmeas. A principal diferença na estrutura das correlações decorreu do conjunto mais amplo de características disponível para os machos, no qual foram observadas associações baixas ou praticamente nulas envolvendo PE450, MAR e algumas características de carcaça. Essas diferenças justificam a realização das análises multivariadas separadamente para machos e fêmeas e indicam que a possibilidade de

reduzir o número de características não pode ser definida apenas a partir das correlações bivariadas.

De forma geral, as matrizes de correlação demonstraram que as características avaliadas apresentam diferentes graus de associação, com relações mais evidentes entre **crescimento e musculosidade nos dois sexos** e entre **musculosidade e acabamento nas fêmeas**. Entretanto, a análise individual das correlações não permite determinar quais características concentram maior parcela da informação conjunta nem quais poderiam ser reduzidas sem alterar a classificação dos animais. Dessa forma, a análise de componentes principais foi empregada para avaliar simultaneamente a estrutura multivariada das características e identificar as principais dimensões responsáveis pela variação observada.

4.2 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP) DAS CARACTERÍSTICAS AVALIADAS

A análise de componentes principais demonstrou que a variabilidade das características foi distribuída de maneira distinta entre machos e fêmeas

Nos machos, o primeiro componente principal (CP1) explicou 42,59% da variância total, enquanto o CP2 explicou 21,81%, resultando em 64,40% de variância acumulada nos dois primeiros componentes. Com a inclusão do CP3, que respondeu por 16,75%, a variância acumulada atingiu 81,15%. Os componentes CP4 e CP5 acrescentaram, respectivamente, 11,98% e 6,87%, completando a variabilidade representada pelas cinco características (Tabela 2).

Tabela 2. Variância explicada e cargas das características nos componentes principais obtidos para machos da raça Nelore.

Parâmetro	**CP1**	**CP2**	**CP3**	**CP4**	**CP5**
Autovalor	2,129	1,091	0,837	0,599	0,344
Variância (%)	**42,59**	**21,81**	16,75	11,98	6,87
Variância acumulada (%)	**42,59**	**64,4**	**81,15**	93,13	100
P450	**0,879**	-0,047	-0,1	-0,032	-0,462
PE450	**0,6**	**-0,547**	0,344	-0,432	0,189
AOL	**0,736**	-0,271	-0,266	0,506	0,238
ACAB	**0,519**	**0,641**	-0,415	-0,335	0,189
MAR	**0,429**	**0,553**	**0,682**	0,207	0,045

Obs: CP = componente principal; P450 = peso ajustado aos 450 dias; PE450 = perímetro escrotal ajustado aos 450 dias; AOL = área de olho de lombo; ACAB = acabamento de carcaça; MAR = marmoreio. As cargas correspondem às correlações das características com os respectivos componentes principais. O sinal dos componentes é arbitrário e sua interpretação deve considerar conjuntamente a direção das cargas dentro de cada componente. Fonte: Elaborada Pelos Autores (2026)

A distribuição da variância entre os componentes está relacionada à estrutura de correlações observada anteriormente nos machos. Enquanto algumas características apresentaram associações positivas mais evidentes, como P450 e AOL (r = 0,561) e P450 e PE450 (r = 0,446), outras apresentaram associações baixas ou praticamente inexistentes, como PE450 e ACAB (r = −0,001). Dessa forma, as cinco características não variaram conjuntamente na mesma intensidade, fazendo com que diferentes componentes fossem necessários para representar a estrutura dos dados. Esse resultado é importante para o objetivo do trabalho, pois demonstra que a redução dimensional não significa necessariamente que todas as características possam ser representadas adequadamente por uma única dimensão.

A interpretação das cargas do CP1 mostrou maior participação de P450 (0,879), AOL (0,736) e PE450 (0,600), enquanto ACAB e MAR apresentaram cargas de 0,519 e 0,429, respectivamente. Como todas as cargas foram positivas, animais com maiores escores no CP1 tenderam a reunir maiores valores para o conjunto das características, com maior contribuição de peso, musculosidade e perímetro escrotal. Assim, o CP1 pode ser interpretado como uma dimensão de desempenho conjunto, embora as características não tenham contribuído com a mesma intensidade.

No CP2, a estrutura foi diferente. ACAB (0,641) e MAR (0,553) apresentaram as maiores cargas positivas, enquanto PE450 apresentou carga de −0,547. P450 (−0,047) apresentou participação muito pequena nesse componente, e AOL apresentou carga de −0,271. O CP2, portanto, diferenciou principalmente a variação relacionada à deposição de gordura daquela associada ao perímetro escrotal. Esse resultado complementa o CP1 ao demonstrar que características relacionadas ao acabamento e ao marmoreio acrescentaram uma dimensão que não foi integralmente representada pelo componente de desempenho conjunto.

A existência de mais de uma dimensão relevante também foi relatada em estudos com bovinos Nelore. Vargas *et al*. (2018) analisaram características de crescimento, reprodução e escores visuais de 355.524 animais e verificaram que os três primeiros componentes principais explicaram 87,11% da variância genética aditiva total. Os autores interpretaram o primeiro componente como relacionado ao desempenho geral dos animais, enquanto os componentes seguintes representaram diferentes padrões de crescimento e desenvolvimento (VARGAS *et al*., 2018). No presente estudo, os três primeiros componentes explicaram 81,15% da variância nos machos, valor que também demonstra concentração importante da informação nos primeiros componentes.

Entretanto, a comparação deve ser interpretada com cautela, pois Vargas *et al*. (2018) realizaram a decomposição de uma estrutura de covariância genética, enquanto neste estudo a ACP foi aplicada aos registros padronizados das características.

Nas fêmeas, a concentração da variância nos primeiros componentes foi maior. O CP1 explicou 65,33% da variância total e o CP2, 21,17%, totalizando 86,50% nos dois primeiros componentes. O CP3 respondeu pelos 13,50% restantes. Dessa forma, considerando P450, AOL e ACAB, aproximadamente dois terços da variabilidade observada puderam ser sintetizados somente pelo primeiro componente, enquanto a utilização dos dois primeiros componentes representou mais de 86% da estrutura multivariada desse grupo (Tabela 3).

Tabela 3. Variância explicada e cargas das características nos componentes principais obtidos para fêmeas da raça Nelore.

Parâmetro	CP1	CP2	CP3
Autovalor	1,96	0,635	0,405
Variância (%)	65,33	21,17	13,5
Variância acumulada (%)	65,33	86,5	100
P450	0,774	-0,576	0,264
AOL	0,866	0,018	-0,5
ACAB	0,782	0,55	0,292

Obs: CP = componente principal; P450 = peso ajustado aos 450 dias; AOL = área de olho de lombo; ACAB = acabamento de carcaça. As cargas correspondem às correlações das características com os respectivos componentes principais. O sinal dos componentes é arbitrário e sua interpretação deve considerar conjuntamente a direção das cargas dentro de cada componente. Fonte: Elaborada Pelos Autores (2026)

As três características apresentaram cargas positivas e de magnitude próxima no CP1 das fêmeas, correspondendo a 0,774 para P450, 0,866 para AOL e 0,782 para ACAB. A AOL apresentou a maior contribuição, porém peso e acabamento também participaram de maneira expressiva. Esse comportamento é coerente com a matriz de correlações das fêmeas, na qual todas as associações foram positivas, variando de 0,365 a 0,541. Assim, o CP1 sintetizou uma dimensão compartilhada por crescimento, musculosidade e acabamento, demonstrando maior integração entre as três características avaliadas.

No CP2 das fêmeas, P450 apresentou carga de −0,576 e ACAB de 0,550, enquanto a carga da AOL foi próxima de zero (0,018). O segundo componente representou, portanto, principalmente um contraste entre peso corporal e acabamento, com pouca participação da musculosidade. O sinal positivo ou negativo das cargas indica a direção relativa das características dentro do componente e não deve ser interpretado isoladamente como efeito favorável ou desfavorável, uma vez que a orientação dos autovetores na ACP é arbitrária.

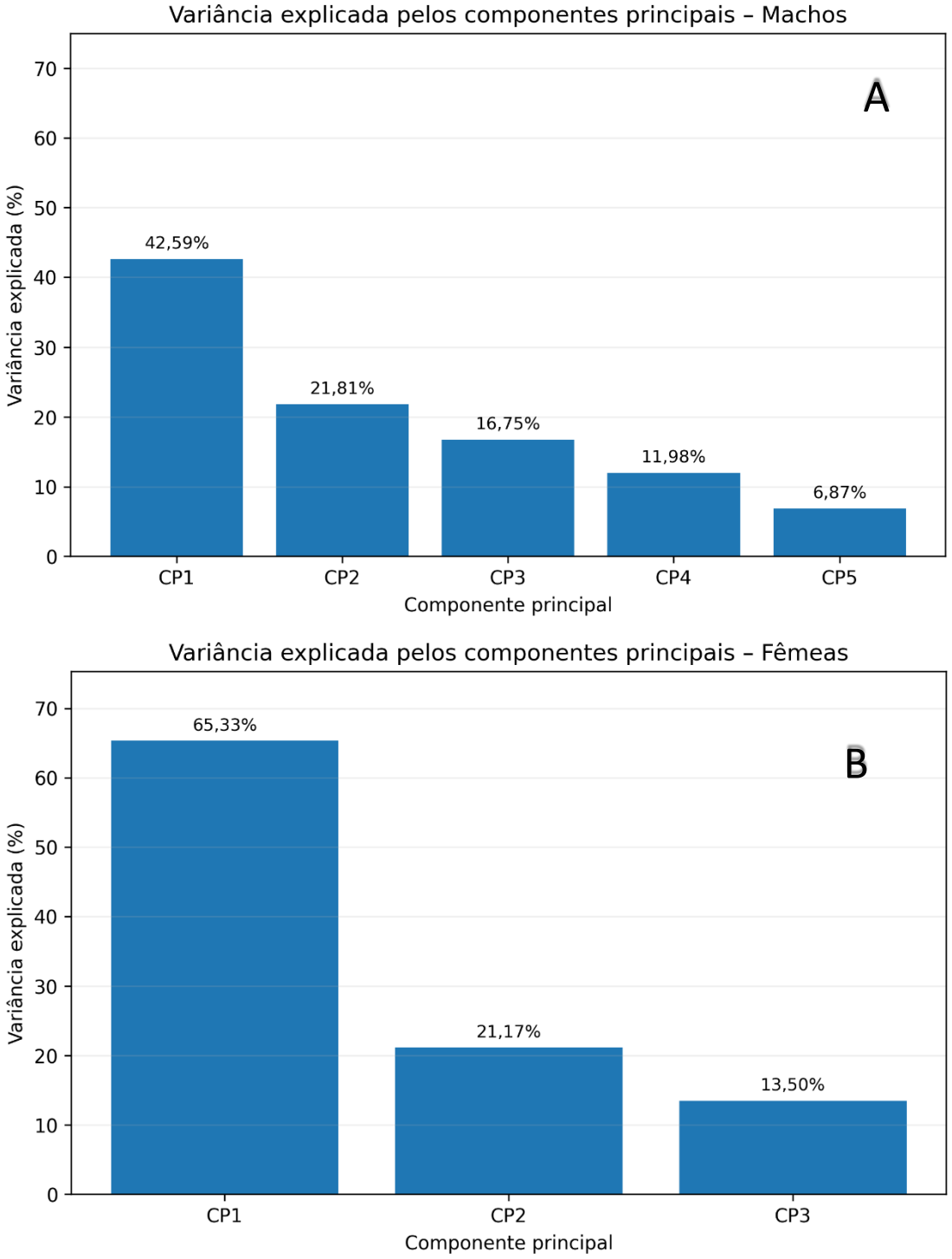
A elevada concentração da variância nos primeiros componentes também foi encontrada por Viana *et al*. (2020) em bovinos Nelore. Os autores aplicaram ACP aos valores genéticos estimados para sete características e verificaram que os dois primeiros componentes explicaram mais de 96% da variância genética aditiva considerada na análise. Além da elevada redução dimensional, Viana *et al*. (2020) observaram diferenças na composição dos componentes conforme sexo e região, indicando que a estrutura multivariada pode variar de acordo com a população considerada. No presente estudo, os dois primeiros componentes explicaram 64,40% nos machos e 86,50% nas fêmeas, evidenciando também diferenças entre os grupos, embora os percentuais não devam ser diretamente comparados aos de Viana *et al*. (2020), devido à utilização de informações de natureza distinta.

A utilização de componentes principais para representar estruturas multicaracterísticas com menor número de dimensões também foi avaliada por Boligon *et al*. (2015) em 74.388 bovinos Nelore, considerando sete características de crescimento e reprodução. Os autores verificaram que um modelo de posto reduzido baseado nos três primeiros componentes foi suficiente para representar a estrutura analisada, com correlações entre os valores genéticos obtidos pelo modelo reduzido e pelo modelo multicaracterístico completo situadas aproximadamente entre 0,93 e 0,99, dependendo da característica (BOLIGON *et al*., 2015). Esse resultado acrescenta um aspecto importante à redução dimensional: além da proporção de variância retida, é necessário verificar se a simplificação preserva a informação relevante para a classificação dos animais.

A comparação entre os grupos evidencia que a variância esteve mais concentrada nos primeiros componentes nas fêmeas do que nos machos (Figura 2).

Enquanto o CP1 explicou 42,59% nos machos, nas fêmeas esse percentual foi de 65,33%; considerando CP1 e CP2 conjuntamente, os valores foram de 64,40% e 86,50%, respectivamente. Essa diferença deve ser interpretada considerando que os conjuntos analisados não são equivalentes, pois foram utilizadas cinco características nos machos e três nas fêmeas, além de existirem diferenças na estrutura de correlações entre elas. Portanto, os percentuais não permitem concluir isoladamente que exista maior possibilidade de simplificação da avaliação das fêmeas.

Figura 2. Proporção da variância explicada pelos componentes principais obtidos para as características avaliadas em bovinos Nelore: (A) machos e (B) fêmeas.



Fonte: Elaborada Pelos Autores (2026)

A ACP demonstrou que é possível concentrar parcela importante da variabilidade em um número menor de dimensões, especialmente nas fêmeas. Entretanto, explicar maior proporção da variância não significa necessariamente preservar a classificação estabelecida pelo índice de referência. Para responder à questão central do estudo, torna-

se necessário avaliar quais subconjuntos de características mantêm efetivamente a ordenação dos animais e, posteriormente, os indivíduos pertencentes aos estratos superiores de seleção. Essa relação é analisada na seção seguinte.

4.3 REDUÇÃO DE CARACTERÍSTICAS E PRESERVAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DOS ANIMAIS

Após caracterizar a estrutura multivariada dos dados, foi avaliado se subconjuntos com menor número de características seriam capazes de reproduzir a classificação estabelecida pelos índices de referência. Para isso, uma nova ACP foi ajustada para cada combinação de características e os animais foram ordenados pelos escores do primeiro componente principal (CP1). A concordância com a classificação de referência foi avaliada pelo coeficiente de correlação de postos de Spearman (Tabela 3). Nesta etapa, o interesse deixa de ser apenas quanto da variabilidade é sintetizada pela ACP e passa a incluir quanto da ordenação original dos animais é preservada após a redução das características.

Tabela 3. Variância explicada pelo primeiro componente principal e correlação de Spearman entre os rankings obtidos por subconjuntos de características e pelos índices de referência em bovinos Nelore.

Sexo	Subconjunto	Variância CP1 (%)	Spearman (ρ)
Macho	**P450 + ACAB**	**69,55**	**0,972**
	AOL + ACAB	59,71	0,906
	P450 + AOL	78,03	0,725
	P450 + AOL + ACAB	59,44	0,917
	P450 + ACAB + MAR	53,07	0,899
	P450 + PE450 + ACAB	53,08	0,871
	P450 + PE450 + AOL + ACAB	50,6	0,844
	P450 + PE450 + AOL + ACAB + MAR	42,59	0,861
Fêmea	**P450 + ACAB**	**68,25**	**0,722**
	P450 + AOL	76,38	0,602
	AOL + ACAB	77,04	0,598
	P450 + AOL + ACAB	65,33	0,671

Fonte: Elaborada Pelos Autores (2026)

Nos machos, a combinação P450 + ACAB apresentou a maior concordância com o índice de referência entre todos os subconjuntos avaliados, com $\rho = 0,972$. O CP1 dessa combinação explicou 69,55% da variância das duas características. O resultado é particularmente relevante porque o índice de referência dos machos utiliza quatro características — P450, PE450, AOL e ACAB — enquanto a combinação formada apenas por peso e acabamento apresentou elevada correspondência com a ordenação produzida

pelo índice completo. Isso indica que, para essa população e para o índice utilizado como referência, P450 e ACAB concentraram informação especialmente importante para reproduzir a posição relativa dos animais.

Outras combinações também apresentaram concordância elevada nos machos, porém inferior à obtida com P450 + ACAB. A combinação P450 + AOL + ACAB apresentou $\rho = 0,917$, seguida por AOL + ACAB ($\rho = 0,906$) e P450 + ACAB + MAR ($\rho = 0,899$). Quando PE450 foi acrescentado a P450 e ACAB, a correlação foi de 0,871. Por outro lado, a combinação das quatro características que constituem o índice de referência — P450 + PE450 + AOL + ACAB — apresentou $\rho = 0,844$ quando sintetizada pelo CP1. Esse resultado mostra que simplesmente reunir no CP1 todas as características utilizadas pelo índice não implica reprodução automática de sua classificação, pois a ACP e o índice de referência atribuem importância às características segundo critérios diferentes.

Esse aspecto pode ser observado de forma ainda mais clara quando se compara P450 + AOL com P450 + ACAB. O primeiro componente da combinação P450 + AOL explicou 78,03% da variância, percentual superior aos 69,55% obtidos com P450 + ACAB. Entretanto, a correlação com o ranking de referência foi de apenas $\rho = 0,725$ para P450 + AOL, frente a $\rho = 0,972$ para P450 + ACAB. Portanto, a combinação que concentrou maior proporção da variabilidade não foi aquela que melhor preservou a classificação dos animais. Esse resultado demonstra que variância explicada e concordância de ranking representam propriedades distintas e não devem ser utilizadas como critérios equivalentes para decidir quais características podem ser reduzidas.

A diferença pode ser compreendida pela própria construção dos métodos comparados. A ACP determina as combinações lineares que concentram a maior variabilidade presente nos dados, sem utilizar como referência os pesos atribuídos às características no índice de seleção. O índice dos machos, por sua vez, atribui 40% ao P450, 15% ao PE450, 20% à AOL e 25% à ACAB. Assim, a capacidade de um subconjunto de reproduzir o ranking depende não somente das correlações existentes entre as características, mas também de sua relação com a estrutura do índice que está sendo utilizado como referência.

Resultados da literatura demonstram igualmente que a avaliação da redução dimensional não deve se restringir à proporção de variância explicada. Boligon *et al*. (2015), ao avaliarem sete características de crescimento e reprodução em 74.388 animais Nelore, verificaram que um modelo reduzido com três componentes principais manteve correlações aproximadamente entre 0,93 e 0,99 entre os valores genéticos preditos pelos

modelos reduzido e completo. Dessa forma, os autores avaliaram não apenas a capacidade dos componentes de representar a estrutura de covariância, mas também a concordância das informações obtidas após a redução (BOLIGON *et al*., 2015). Embora o procedimento e a natureza dos dados sejam diferentes dos utilizados no presente trabalho, o estudo fornece suporte para considerar a preservação da classificação como uma dimensão adicional na avaliação da redução de características.

Nos machos, a análise das características isoladamente reforça a influência da estrutura do índice de referência. Entre as cinco características, ACAB apresentou a maior correlação isolada com o ranking ($\rho = 0,859$), seguida por P450 ($\rho = 0,731$), AOL ($\rho = 0,542$), PE450 ($\rho = 0,291$) e MAR ($\rho = 0,244$). O resultado de ACAB é expressivo considerando que essa característica representa 25% do índice de referência. Entretanto, a elevação de ρ de 0,859 para 0,972 quando ACAB foi combinada com P450 demonstra que a utilização conjunta das duas características reproduziu a ordenação do índice de forma mais próxima do que qualquer uma delas isoladamente.

A inclusão de MAR, característica disponível para os machos, mas ausente do índice de referência, não aumentou a concordância além daquela obtida por P450 + ACAB. A combinação P450 + ACAB + MAR apresentou $\rho = 0,899$, enquanto o conjunto formado pelas cinco características disponíveis apresentou $\rho = 0,861$. Esse resultado não significa que o marmoreio seja biologicamente ou economicamente irrelevante. Ele indica apenas que, para reproduzir especificamente o índice utilizado como referência neste estudo, a inclusão de MAR no escore obtido pelo CP1 não proporcionou maior concordância de ranking.

Nas fêmeas, a combinação que apresentou maior concordância também foi P450 + ACAB, com $\rho = 0,722$ e 68,25% da variância explicada pelo CP1. Entretanto, a concordância foi consideravelmente inferior à observada para a mesma combinação nos machos ($\rho = 0,972$). O conjunto completo das três características das fêmeas — P450 + AOL + ACAB — apresentou $\rho = 0,671$, enquanto P450 + AOL e AOL + ACAB apresentaram, respectivamente, $\rho = 0,602$ e 0,598. Consideradas isoladamente, P450 e ACAB produziram resultados muito próximos, com $\rho = 0,600$ e 0,597, respectivamente, enquanto AOL apresentou $\rho = 0,457$.

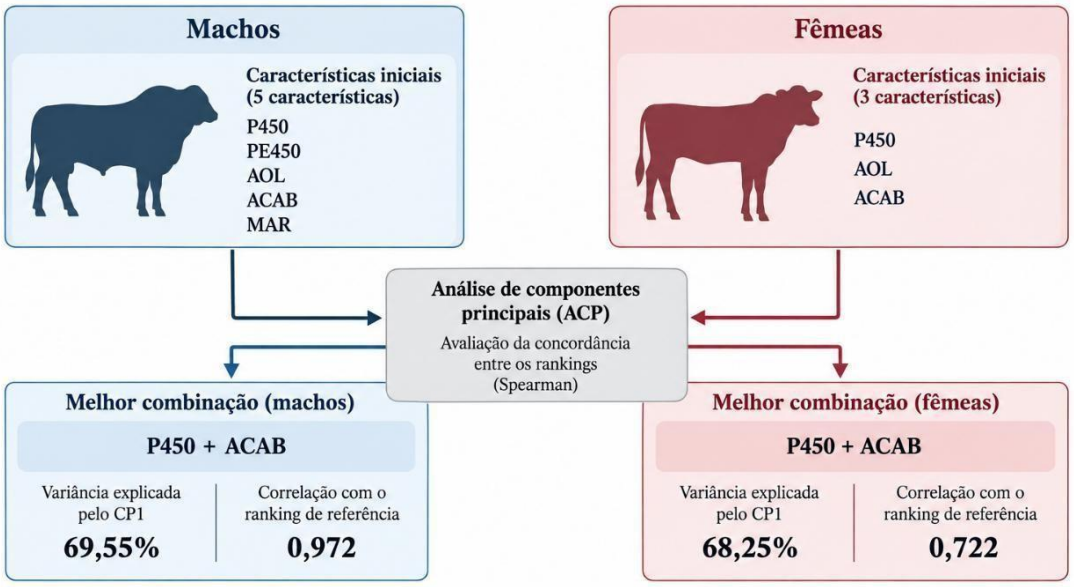
Também nas fêmeas, a proporção de variância explicada não acompanhou diretamente a preservação do ranking. O CP1 de AOL + ACAB explicou 77,04% da variância e o de P450 + AOL, 76,38%, mas suas correlações com o índice foram de apenas 0,598 e 0,602, respectivamente. Em contraste, P450 + ACAB explicou uma proporção

menor da variância (68,25%), porém apresentou a maior concordância com o ranking (ρ = 0,722). Portanto, o mesmo padrão observado nos machos se repetiu nas fêmeas: a combinação que melhor sintetizou a variabilidade das características não foi necessariamente a que melhor reproduziu a decisão expressa pelo índice de referência.

A diferença entre machos e fêmeas merece cautela. Embora P450 + ACAB tenha sido a melhor combinação de duas características nos dois grupos, não é adequado atribuir a maior concordância dos machos exclusivamente a diferenças biológicas entre os sexos. Os índices possuem estruturas distintas: nos machos, P450 e ACAB representam conjuntamente 65% do índice de referência, enquanto nas fêmeas representam 75%. Além disso, os grupos diferem quanto ao número de características disponíveis, estrutura das correlações e população avaliada. Dessa forma, os resultados demonstram que a capacidade de redução deve ser analisada dentro de cada estrutura de avaliação, e não generalizada diretamente entre os sexos.

A Figura 3 sintetiza o processo de redução e destaca a combinação que apresentou maior concordância em cada sexo.

Figura 3. Síntese da redução de características e identificação da combinação com maior concordância com a classificação de referência em machos e fêmeas da raça Nelore.



Fonte: Elaborada Pelos Autores (2026)

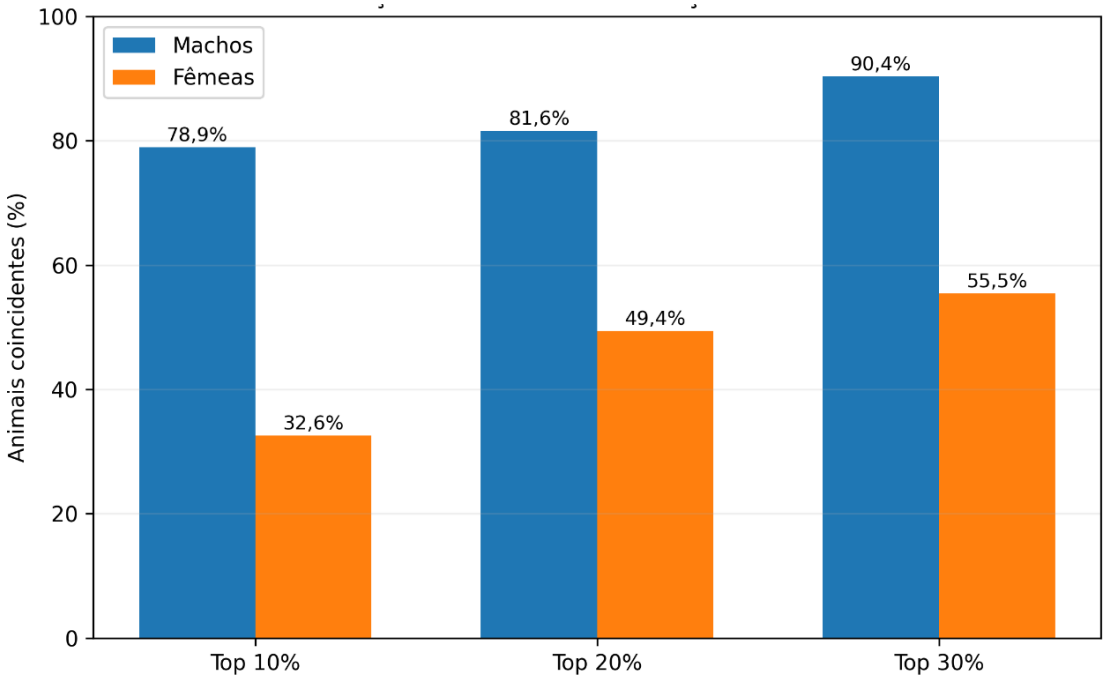
Em conjunto, esses resultados reforçam que reduzir dimensionalidade e preservar uma decisão de seleção são objetivos relacionados, mas não equivalentes. A combinação P450 + ACAB destacou-se nos dois grupos não por apresentar a maior proporção de variância explicada, mas por produzir a classificação mais próxima daquela estabelecida

pelos respectivos índices de referência. Entretanto, uma elevada correlação entre rankings não garante que exatamente os mesmos animais estejam presentes entre os indivíduos prioritários para seleção. Por essa razão, a etapa seguinte avaliou a coincidência entre os animais pertencentes aos estratos superiores de 10%, 20% e 30% das classificações.

4.4 PRESERVAÇÃO DOS ANIMAIS NOS DIFERENTES ESTRATOS DE SELEÇÃO

A correlação de Spearman utilizada na seção anterior permite avaliar a concordância considerando a classificação dos animais como um todo. Entretanto, em programas de seleção, é igualmente importante verificar se os indivíduos posicionados nas melhores colocações permanecem no grupo selecionado após a redução do número de características. Por esse motivo, a classificação obtida pela combinação P450 + ACAB foi comparada ao índice de referência nos estratos Top 10%, Top 20% e Top 30% (Figura 4).

Figura 4. Percentual de animais coincidentes entre o índice de referência e a classificação obtida pela combinação P450 + ACAB nos estratos Top 10%, Top 20% e Top 30%, em machos e fêmeas da raça Nelore.



Fonte: Elaborada Pelos Autores (2026)

Nos machos, a combinação P450 + ACAB apresentou elevada preservação dos animais pertencentes aos estratos superiores. No Top 10%, 78,95% dos animais classificados pelo índice de referência também permaneceram entre os 10% superiores na

classificação reduzida. A coincidência foi de 81,58% no Top 20% e atingiu 90,35% no Top 30%. Considerando os números absolutos, esses percentuais correspondem à permanência de 30 dos 38 animais no Top 10%, 62 dos 76 no Top 20% e 103 dos 114 no Top 30%. Dessa forma, especialmente quando considerada a seleção de 30% dos machos, aproximadamente nove em cada dez animais indicados pelo índice de referência também seriam selecionados utilizando apenas P450 e ACAB.

Esse resultado complementa a elevada concordância global encontrada para os machos na seção anterior ($\rho = 0,972$). Embora a classificação produzida por P450 + ACAB não seja idêntica àquela estabelecida pelo índice de referência, a redução manteve grande parte dos indivíduos pertencentes aos grupos prioritários. A diferença entre 78,95% no Top 10% e 90,35% no Top 30% também demonstra que a intensidade de seleção influencia a concordância entre os métodos: quando o grupo selecionado é mais restrito, mudanças relativamente pequenas de posição podem determinar a entrada ou saída de um animal do estrato considerado.

Nas fêmeas, a redução para P450 + ACAB apresentou comportamento diferente. Foram preservados 32,56% dos animais no Top 10%, 49,41% no Top 20% e 55,47% no Top 30%. Em valores absolutos, isso representa a coincidência de 14 dos 43 animais considerados no Top 10%, 42 dos 85 no Top 20% e 71 dos 128 no Top 30%. Assim, embora a proporção de coincidência tenha aumentado com a ampliação do grupo selecionado, a classificação baseada nas duas características promoveu maior substituição de animais em relação ao índice de referência do que aquela observada nos machos.

A diferença entre os grupos é evidente quando a mesma combinação é considerada. No Top 10%, a coincidência foi de 78,95% nos machos e 32,56% nas fêmeas; no Top 20%, de 81,58% e 49,41%; e, no Top 30%, de 90,35% e 55,47%, respectivamente. Portanto, o fato de P450 + ACAB constituir uma combinação reduzida de interesse nos dois grupos não significa que sua utilização produza o mesmo efeito sobre a escolha dos animais. Nos machos, a redução preservou a maior parte dos indivíduos selecionados pelo índice de referência, enquanto nas fêmeas as alterações na composição dos grupos superiores foram mais expressivas.

A avaliação direta dos grupos selecionados é importante porque coeficientes de correlação entre classificações não informam, isoladamente, quantos indivíduos seriam mantidos quando se estabelece um ponto de corte para seleção. Pedrosa *et al*. (2014) demonstraram essa questão em avaliações genéticas de bovinos Nelore ao comparar modelos multicaracterísticos com abordagens simplificadas. Os autores avaliaram a

classificação dos animais em diferentes proporções de seleção, incluindo grupos superiores de 1%, 10% e 30%, e observaram que alterações no modelo de avaliação poderiam provocar reordenamento dos animais e perdas na seleção (PEDROSA *et al*., 2014). Embora o estudo tenha utilizado valores genéticos e modelos diferentes daqueles empregados no presente trabalho, seus resultados reforçam a necessidade de examinar a composição dos grupos superiores quando se avaliam estratégias de simplificação.

Os resultados também mostram por que a variância explicada pelo CP1, a correlação de Spearman e a coincidência nos estratos de seleção devem ser interpretadas conjuntamente. Nos machos, P450 + ACAB explicou 69,55% da variância, apresentou $\rho = 0,972$ e preservou entre 78,95% e 90,35% dos animais nos três estratos avaliados. Nas fêmeas, a mesma combinação explicou proporção semelhante da variância (68,25%), mas apresentou menor concordância com o índice de referência ($\rho = 0,645$) e preservou somente 32,56% a 55,47% dos animais dos grupos superiores. Portanto, proporções semelhantes de variância explicada pela ACP resultaram em capacidades bastante diferentes de reproduzir a decisão estabelecida pelos índices de referência.

Essa diferença constitui um dos principais resultados do trabalho. A redução dimensional mostrou-se mais promissora para preservar a decisão de seleção nos machos do que nas fêmeas, considerando especificamente a população, as características e os índices utilizados neste estudo. Nas fêmeas, apesar de o CP1 do conjunto completo ter concentrado maior proporção da variância, como demonstrado na seção 4.2, essa concentração não se traduziu em maior preservação dos animais selecionados quando o conjunto foi reduzido para P450 + ACAB. Dessa forma, os resultados confirmam que sintetizar a variabilidade dos dados e preservar uma decisão de seleção são propriedades distintas, sendo necessário avaliar ambas antes de propor qualquer simplificação do conjunto de características.

4.5 IMPLICAÇÕES, LIMITAÇÕES E APLICABILIDADE DA ABORDAGEM

Os resultados deste estudo demonstram que a análise multivariada pode contribuir para identificar estruturas mais simples dentro de avaliações que envolvem múltiplas características. A principal contribuição da abordagem não está em substituir os índices de seleção existentes, mas em verificar quanto da informação utilizada para classificar os animais pode ser mantida quando o número de características é reduzido. No presente conjunto de dados, essa possibilidade foi mais evidente nos machos, para os quais P450

+ ACAB apresentou elevada concordância com o índice de referência (ρ = 0,972) e preservou 90,35% dos animais no estrato Top 30%.

Do ponto de vista aplicado, a redução do número de características pode ser relevante quando as variáveis envolvem diferentes exigências de mensuração, equipamentos, mão de obra ou custos de obtenção. Entretanto, os resultados deste estudo não permitem realizar uma análise econômica desses benefícios, uma vez que não foram avaliados os custos individuais de mensuração das características. Assim, a identificação de subconjuntos mais parcimoniosos deve ser entendida inicialmente como uma simplificação estatística e informacional. Estudos posteriores poderão associar a perda de concordância provocada pela retirada de uma característica ao seu custo de obtenção, permitindo avaliar se determinada simplificação também apresenta vantagem operacional ou econômica.

Outra implicação importante é que a proporção de variância explicada pela ACP não deve ser utilizada isoladamente como critério para reduzir características. Nos machos, P450 + AOL explicou 78,03% da variância, mas apresentou correlação de apenas ρ = 0,725 com a classificação de referência, enquanto P450 + ACAB explicou 69,55% e alcançou ρ = 0,972. Nas fêmeas, comportamento semelhante foi observado: AOL + ACAB explicou 77,04%, mas apresentou ρ = 0,598, enquanto P450 + ACAB explicou 68,25% e apresentou maior concordância. Esses resultados mostram, dentro da própria população estudada, que capacidade de síntese da variabilidade e capacidade de reproduzir uma classificação são propriedades diferentes.

A interpretação dos resultados também deve considerar que a ACP foi aplicada aos registros padronizados das características, e não aos valores genéticos estimados dos animais. Essa distinção limita qualquer inferência sobre a possibilidade de retirar características de avaliações genéticas ou sobre a resposta genética esperada à seleção. Estudos como os de Vargas *et al*. (2018) e Viana *et al*. (2020) realizaram redução dimensional sobre estruturas relacionadas à variância genética e mostraram, respectivamente, que três componentes explicaram 87,11% da variância genética aditiva e que dois componentes concentraram mais de 96% da variância genética analisada. O presente trabalho responde a uma questão diferente: avaliar se a informação disponível nos registros pode ser sintetizada de forma a preservar uma classificação previamente estabelecida.

Os resultados também são condicionados pela população estudada. Foram avaliados animais provenientes de um mesmo rebanho, com 392 machos nascidos em

2022 e 2023 e 430 fêmeas nascidas em 2020 e 2021, sendo utilizadas 380 e 424 observações completas, respectivamente, nas análises multivariadas. Além disso, machos e fêmeas apresentaram diferentes conjuntos de características e diferentes índices de referência. Dessa forma, a combinação P450 + ACAB identificada neste estudo não deve ser generalizada como um conjunto mínimo de características para a raça Nelore. Sua estabilidade precisa ser investigada em outras populações, safras, rebanhos e sistemas de produção antes de qualquer recomendação mais ampla.

A dependência em relação ao próprio índice de referência constitui outra limitação importante. A concordância encontrada indica a capacidade dos subconjuntos de reproduzir aquele critério específico de classificação, com suas respectivas ponderações. Portanto, elevada correlação com o índice não demonstra necessariamente maior mérito genético ou econômico dos animais classificados. Souza *et al*. (2022) demonstraram que modificações nos objetivos econômicos e na consideração do risco podem alterar a classificação de reprodutores Nelore, inclusive com mudanças de até quatro posições no ranking de touros. Esse resultado reforça que a utilidade de uma simplificação depende do objetivo de seleção que se pretende preservar.

Nesse contexto, a abordagem proposta deve ser compreendida como complementar às ferramentas de melhoramento genético, e não como substituta de avaliações baseadas em BLUP, GBLUP, ssGBLUP ou de índices de seleção construídos a partir de objetivos econômicos. A teoria dos índices de seleção busca combinar informações de maneira a maximizar a resposta em relação a um objetivo de melhoramento definido, enquanto a ACP organiza a variabilidade existente nos dados sem utilizar, por si mesma, valores econômicos ou objetivos genéticos. Portanto, os escores dos componentes principais empregados neste estudo constituem instrumentos para investigar redução e concordância, e não novos valores genéticos ou índices econômicos de seleção.

Apesar dessas limitações, a estratégia apresenta uma aplicação prática importante como ferramenta de diagnóstico da estrutura de avaliações multicaracterísticas. A utilização conjunta da ACP, da correlação de Spearman e da coincidência nos estratos de seleção permite responder a três perguntas diferentes: quanto da variabilidade pode ser sintetizada, quanto da ordenação dos animais é preservada e quantos dos indivíduos prioritários continuam sendo selecionados. Essa sequência evita que uma proposta de redução seja fundamentada exclusivamente em um percentual elevado de variância explicada.

Como continuidade, a abordagem pode ser validada em outras populações Nelore e aplicada a informações genéticas ou genômicas, além de incorporar análises de custo de mensuração das características. A utilização de procedimentos de validação por reamostragem também pode permitir avaliar a estabilidade dos subconjuntos identificados em diferentes amostras da mesma população. Dessa forma, a principal aplicabilidade do método está em fornecer uma estrutura quantitativa para investigar até que ponto uma avaliação pode ser simplificada sem comprometer a decisão que se pretende preservar, mantendo explícitos tanto os benefícios quanto os limites da redução.

5 CONCLUSÃO

A análise multivariada permitiu identificar diferenças na estrutura das características avaliadas e demonstrou que a redução dimensional não implica, necessariamente, preservação da classificação dos animais. A proporção de variância explicada pelo primeiro componente principal, quando considerada isoladamente, não foi suficiente para identificar os subconjuntos que melhor reproduziram os índices de referência.

Entre as combinações avaliadas, P450 + ACAB apresentou a maior concordância com a classificação de referência nos machos, com correlação de Spearman de 0,972. Essa combinação preservou 78,95%, 81,58% e 90,35% dos animais nos estratos Top 10%, Top 20% e Top 30%, respectivamente, indicando potencial para simplificação da classificação nessa população.

Nas fêmeas, a redução para P450 + ACAB apresentou menor capacidade de reproduzir o índice de referência, com $\rho = 0,645$ e preservação de 32,56%, 49,41% e 55,47% nos mesmos estratos. Assim, uma combinação semelhante de características pode apresentar diferentes níveis de eficiência na preservação da decisão de seleção, dependendo da estrutura dos dados e do índice utilizado como referência.

Conclui-se que a ACP, associada à avaliação da concordância dos rankings e da preservação dos animais selecionados, constitui uma abordagem útil para investigar a redução de características em avaliações multicaracterísticas. Entretanto, os resultados são específicos à população e aos índices estudados e não indicam que as características excluídas sejam biologicamente ou geneticamente dispensáveis. A aplicação da abordagem em programas de melhoramento requer validação em outras populações e deve ser considerada complementar, e não substitutiva, às avaliações genéticas e aos

índices de seleção . Para trabalhos futuros, recomenda-se a validação dessa abordagem em outras populações e raças, a avaliação de métodos alternativos de redução dimensional e aprendizado de máquina, a investigação aprofundada dos fatores associados ao dimorfismo sexual na preservação dos rankings, bem como a análise do impacto genético e econômico de longo prazo decorrente da adoção de índices reduzidos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte de força e resiliência, por me guiar e sustentar ao longo de todos estes anos de graduação. À minha mãe, Zenilda da Rocha, meu agradecimento mais profundo e eterno. Seu amor inabalável, seu apoio incondicional e os incontáveis sacrifícios que fez foram o verdadeiro alicerce que me sustentou até aqui, garantindo que nada me faltasse nesta caminhada. Esta conquista é, sem dúvida, nossa. Agradeço profundamente também à equipe do Nelore Jaburi, especialmente a Celso Garcia, Mara Garcia e Guilherme Garcia. A confiança depositada, a cessão dos dados e a valiosa transmissão de conhecimento prático foram imprescindíveis para a execução e o sucesso deste estudo.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. A. *et al*. Feed efficiency negatively associated with reproductive traits in Nellore cattle. **Genetics and Molecular Research**, v. 23, n. 1, gmr19177, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE (ABIEC). **Beef Report: Perfil da Pecuária de Corte no Brasil**. São Paulo: ABIEC, 2026.

ASSOCIAÇÃO DOS CRIADORES DE NELORE DO BRASIL (ACNB). **A raça Nelore no cenário nacional**. São Paulo: ACNB, 2026.

BOLIGON, A. A.; SILVEIRA, F. A.; SILVEIRA, D. D.; DIONELLO, N. J. L.; SANTANA JÚNIOR, M. L.; BIGNARDI, A. B.; SOUZA, F. R. P. Reduced-rank models of growth and reproductive traits in Nelore cattle. **Theriogenology**, v. 83, n. 8, p. 1338-1343, 2015. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2015.01.025.

COLE, J. B. Are there too many traits in our selection indices? **Journal of Dairy Science**, v. 108, n. 11, p. 12483-12505, 2025. DOI: 10.3168/jds.2024-25833.

COSTA, E. V. *et al*. Estimated genetic associations among reproductive traits in Nellore cattle using Bayesian analysis. **Animal Reproduction Science**, v. 214, art. 106305, 2020. DOI: 10.1016/j.anireprosci.2020.106305.

FERRAZ, J. B. S.; FELÍCIO, P. E. Production systems: an example from Brazil. **Meat Science**, v. 84, n. 2, p. 238-243, 2010. DOI: 10.1016/j.meatsci.2009.06.006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2025.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 6. ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2007.

JOLLIFFE, I. T. **Principal component analysis**. 2. ed. New York: Springer, 2002.

KLUSKA, S.; 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.; 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. DOI: 10.1016/j.livsci.2018.08.015.

LOPES, F. B.; SILVA, M. C.; MAGNABOSCO, C. U.; NARCISO, M. G.; 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, e0147180, 2016. DOI: 10.1371/journal.pone.0147180.

MARESTONE, B. S. *et al*. Genetic parameters for traditional and novel ultrasound carcass traits in Nellore cattle. **Tropical Animal Health and Production**, v. 54, art. 34, 2022. DOI: 10.1007/s11250-021-03028-z.

MOTA, L. F. M. *et al*. Variable selection strategies for genomic prediction of growth and carcass related traits in experimental Nellore cattle herds under different selection criteria. **Scientific Reports**, v. 15, art. 22266, 2025. DOI: 10.1038/s41598-025-06949-z.

NEGREIROS, M. P.; PERIPOLLI, E.; ESPIGOLAN, R.; LONDOÑO-GIL, M.; RODRIGUEZ, J. D.; BRUNES, L.; MAGNABOSCO, C. U.; GUIMARÃES, N. C.; SAINZ, R. D.; PEREIRA, A. S. C.; LOBO, R. B.; BALDI, F. Selection criteria for frame score and its association with growth-, reproductive-, feed efficiency- and carcass-related traits in Nellore cattle. **Animal Production Science**, v. 62, n. 16, p. 1551-1562, 2022. DOI: 10.1071/AN22054.

PEDROSA, V. B.; GROENEVELD, E.; ELER, J. P.; FERRAZ, J. B. S. Comparison of bivariate and multivariate joint analyses on the selection loss of beef cattle. **Genetics and Molecular Research**, v. 13, n. 2, p. 4036-4045, 2014. DOI: 10.4238/2014.May.23.14.

PORTES, J. V.; MENEZES, G. R. O.; MACNEIL, M. D.; SILVA, L. O. C.; GONDO, A.; BRACCINI NETO, J. Selection indices for Nellore production systems in the Brazilian Cerrado. **Livestock Science**, v. 242, art. 104309, 2020. DOI: 10.1016/j.livsci.2020.104309.

PORTES, J. V. *et al*. Selection indexes for Nellore production system in the Brazilian Pantanal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 50, e20200264, 2021. DOI: 10.37496/rbz5020200264.

SANTOS, A. de O. *et al*. Viabilidade econômica e produtiva na criação de bezerros puro Nelore e cruzamento Nelore x Angus no município de Nova Andradina - MS. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba, v. 7, n. 2, e70706, p. 1-15, 2024. DOI: https://doi.org/10.34188/bjaerv7n2-103.

SOUZA, F. M.; LOPES, F. B.; ROSA, G. J. M.; FERNANDES, R. S.; MAGNABOSCO, V. S.; MAGNABOSCO, C. U. Genetic selection of Nellore cattle raised in tropical areas: economic indexes and breeding decisions risks. **Livestock Science**, v. 265, art. 105098, 2022. DOI: 10.1016/j.livsci.2022.105098.

VARGAS, G.; SCHENKEL, F. S.; BRITO, L. F.; NEVES, H. H. R.; MUNARI, D. P.; BOLIGON, A. A.; CARVALHEIRO, R. Unravelling biological biotypes for growth, visual score and reproductive traits in Nellore cattle via principal component analysis. **Livestock Science**, v. 217, p. 37-43, 2018. DOI: 10.1016/j.livsci.2018.09.010.

VIANA, A. F. P. *et al*. Principal component analysis of breeding values for growth, reproductive and visual score traits of Nellore cattle. **Livestock Science**, v. 241, art. 104262, 2020. DOI: 10.1016/j.livsci.2020.104262.