

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ANÁLISE MULTIVARIADA DE CARACTERÍSTICAS DE
EFICIÊNCIA ALIMENTAR, CRESCIMENTO E CARÇAÇA EM
TOUROS NELORE EM TESTE DE DESEMPENHO**

Matheus Rodrigues Lopes

Médico Veterinário

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ANÁLISE MULTIVARIADA DE CARACTERÍSTICAS DE
EFICIÊNCIA ALIMENTAR, CRESCIMENTO E CARÇAÇA EM
TOUROS NELORE EM TESTE DE DESEMPENHO**

Matheus Rodrigues Lopes

Orientador: Prof. Dr. Josineudson Augusto II de Vasconcelos Silva

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento Animal

L864a Lopes, Matheus Rodrigues
Análise multivariada de características de eficiência alimentar, crescimento e carcaça em touros nelore em teste de desempenho / Matheus Rodrigues Lopes. -- Jaboticabal, 2022
43 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Josineudson Augusto II de Vasconcelos Silva

1. Eficiência alimentar. 2. Correlação. 3. Análise multivariada.
I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ANÁLISE MULTIVARIADA DE CARACTERÍSTICAS DE EFICIÊNCIA ALIMENTAR, CRESCIMENTO E CARÇAÇA EM TOUROS NELORE EM TESTE DE DESEMPENHO


AUTOR: MATHEUS RODRIGUES LOPES

ORIENTADOR: JOSINEUDSON AUGUSTO II DE VASCONCELLOS SILVA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em GENÉTICA E MELHORAMENTO ANIMAL, pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JOSINEUDSON AUGUSTO II DE VASCONCELLOS SILVA (Participação Virtual)
Departamento de Melhoramento e Nutrição Animal / FMVZ/UNESP - Botucatu/SP


Prof. Dr. HENRIQUE NUNES DE OLIVEIRA (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia / FCAV/Unesp - Jaboticabal


Pós-Doutoranda JESSICA MORAES MALHEIROS (Participação Virtual)
EMBRAPA Pecuária Sudeste / São Carlos-SP

Jaboticabal, 22 de novembro de 2021

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Matheus Rodrigues Lopes - filho de Mizael Lopes e Therezinha do Carmo Rodrigues, nasceu em Botucatu – São Paulo em 04 de janeiro de 1994. Iniciou a graduação em Medicina Veterinária na Universidade Estadual de Londrina (UEL) em fevereiro de 2013, obtendo o título de Médico Veterinário em dezembro de 2018. Em outubro de 2019 iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento Animal da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV/UNESP), campus Jaboticabal, sob orientação do Prof. Dr. Josineudson Augusto II de Vasconcelos Silva. Foi bolsista CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) durante a realização do curso de Mestrado.

AGRADECIMENTOS

A Deus, autor da vida, por todo sustento sempre.

Aos meus pais Mizael Lopes e Therezinha do Carmo Rodrigues (*in memorian*) por todo apoio e cuidado sempre, meus irmãos Lucas Lopes, Gabriel Lopes e toda minha família.

À minha esposa, Ana Gabriela Candido C. Lopes e minha filha Giovana Gabriela C. Lopes por vivenciarem comigo este trabalho, me auxiliando em muitos momentos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Josineudson Augusto II de Vasconcelos Silva, pela orientação, ensino, paciência e amizade nestes anos de trabalho.

Aos amigos do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento Animal (FCAV/UNESP) e amigos do Confinamento da Fazenda Lageado pela amizade, apoio e acolhimento durante a execução deste trabalho.

Ao Programa de Melhoramento Nelore Qualitas pela concessão do banco de dados utilizados neste estudo.

Aos membros da Banca Examinadora do Exame Geral de Qualificação e Defesa, pelas correções e sugestões que contribuíram para o trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

SUMÁRIO

1. Introdução	1
2. Revisão de Literatura	2
2.1. Características de eficiência alimentar	2
2.2. Correlações de características de eficiência alimentar com características de crescimento	4
2.3. Correlações de características de eficiência alimentar com características de carcaça	5
2.4. Análise de componentes principais.....	6
3. Objetivo	8
4. Material e Métodos	8
4.1. Descrição local e animais	8
4.2. Características avaliadas.....	9
4.2.1. Características de eficiência alimentar.....	9
4.2.2. Características de carcaça.....	10
4.2.3. Características morfométricas	10
4.3. Análise dos dados	10
5. Resultados	11
5.1. Características morfométricas	14
5.2. Características de carcaça	16
5.3. Características de crescimento	19
5.4. Correlações entres as principais características	22
6. Conclusão	24
7. Referências	25
Apêndice	32

ANÁLISE MULTIVARIADA DE CARACTERÍSTICAS DE EFICIÊNCIA ALIMENTAR, CRESCIMENTO E CARÇAÇA EM TOUROS NELORE EM TESTE DE DESEMPENHO

RESUMO - O objetivo do trabalho foi aplicar análises multivariadas em características de eficiência alimentar, crescimento e carcaça de touros Nelore em teste de desempenho, com intuito de compreender a associação das características e como incluí-las em programas de melhoramento animal. Foram utilizadas informações de 1294 touros Nelore oriundos de fazendas participantes do Programa de Melhoramento Nelore Qualitas e submetidos ao teste de eficiência alimentar entre os anos de 2010 a 2020, selecionados em cada safra com base no índice de seleção. As características avaliadas foram separadas em três grupos: características morfométricas, que consistia em altura de garupa (AG), altura de cernelha (AC), comprimento corporal (COMP), perímetro torácico (PT) e circunferência escrotal (CE); características de carcaça, que considerou área de olho de lombo (AOL), espessura de gordura subcutânea no lombo (EGS), espessura de gordura subcutânea na garupa (EGS8) e marmoreio (MARM); características de crescimento, com o peso vivo final (PESOF), peso vivo metabólico (PMET), consumo (CONS), conversão (CONV), consumo alimentar residual (CAR) e ganho médio diário residual (GMDR). A estrutura de associação das características foi verificada utilizando o método Análise de Componentes Principais (ACP) para extrair novas variáveis por meio do software estatístico SAS®. Na correlação entre as características morfométricas AG e AC se mostraram fortemente associadas. O Componente Principal 1 (CP₁) das características de carcaça reteve 50,28% da variância total e mostrou associação entre AOL, EGS e EGS8, o CP₂ mostrou contraste da característica MARM em relação a EGS, EGS8 e AOL. No CP₁ das características de crescimento PESOF, PMET e CONS mostraram altos valores de ponderação o que indicou relação entre estas características e o CP1. Através da matriz de correlação das características de crescimento três CPs explicaram 89,34% da variância total. Valores próximo a zero entre CAR e GMDR com PESOF, PMET, AOL, EGS, EGS8 e PT foram estimados. As características de eficiência alimentar devem ser priorizadas pois não apresentaram correlação com as demais e são importantes na produção animal. Os resultados obtidos com análise de componentes principais, a viabilidade da aplicação e diminuição das variáveis em análise, mostraram a possibilidade de incorporação das características para critério de seleção.

Palavras-chave: eficiência alimentar, correlação, análise multivariada.

MULTIVARIATE ANALYSES FOR FEED EFFICIENCY, GROWTH AND CARCASS TRAITS IN NELLORE CATTLE IN PERFORMANCE TEST.

ABSTRACT – The aim of the study was multivariate analyses for feed efficiency, growth and carcass traits in nellore cattle in performance test, to understand the association of characteristics and how include them in animal breeding programs. Records of 1294 Nellore cattle sires from the Nelore Qualitas® animal breeding Program and submitted to the food efficiency test between the years 2010 to 2020, selected in each harvest based on the selection index. The evaluated characteristics were separated into three groups: morphometric trait, which consisted of rump height (RH), withers height (WH), body length (BL), girth circumference (GC) and scrotal circumference (SC); carcass traits with loin eye area (LEA), backfat (BFT) and rump fat thickness (RFT) and marbling (MARB); growth traits, with final weight (FW), metabolic body weight (BW), feed intake (FI), feed conversion (FC), residual feed intake (RFI), residual average daily gain (RG). The association structure of the traits was verified using the Principal Component Analysis (PCA) method to extract new variables by using the SAS® statistical software. In correlation between the morphometric traits RH and WH are associated. The Principal Component 1 (PC₁) of the carcass trait retained 50.28% of the total variance and showed an association between LEA, BFT and RFT, the PC₂ evidenced contrast of the MARB in relation to LEA, BFT and RFT. PC₁ of growth traits FW, BW and FI showed high weighting values. Through the correlation matrix of growth characteristics, three PCs explained 89.34% of the total variance. Values close to zero between RFI and RG with FW, BW, LEA, BFT, RFT and GC were estimated. Feed efficiency characteristics should be prioritized as they did not present correlation with the others and are important in animal production. The results obtained with analysis of principal components, the feasibility of the application and reduction of the variables under analysis, show the possibility of incorporating the characteristics for selection.

Keywords: feed efficiency, correlation, multivariate analyses.

1. INTRODUÇÃO

A Organização das Nações Unidas estima necessidade de aumentar em 70% a produção de alimentos para suprir a população de 9 bilhões de pessoas prevista para o ano de 2050 (FAO, 2016). Aumentar a produção de alimentos é um grande desafio frente a disponibilidade de recursos, incluindo água e solo para atividades agropecuárias, portanto é necessário produzir mais por unidade de recurso utilizado, de forma eficiente e sustentável, com a utilização de animais mais eficientes, aumenta-se a produtividade na pecuária de corte, uma vez que o mesmo nível de produção seria alcançado com menos insumos e menor impacto no ambiente (Arthur e Herd, 2008; Lima et al. , 2014).

O Brasil possui expressividade na cadeia produtiva de bovinos de corte, oscilando anualmente entre os primeiros em produção, exportação e consumo de carne bovina e, segundo a Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne, a pecuária de corte representou 10% do PIB total brasileiro em 2020 (ABIEC, 2020).

A raça Nelore representa grande parte da produção de corte no Brasil (Cônsole et al., 2015) principalmente por apresentar adaptação ao clima tropical, rusticidade e produtividade sob condições de pastejo. Neste cenário, o melhoramento genético pode proporcionar incremento produtivo em características de importância econômica, com uso das tecnologias de monitoramento de características de consumo e eficiência alimentar, e seleção genética auxiliando na identificação precoce e acurada dos reprodutores (Lowe et al., 2009).

A alimentação representa a maior despesa na produção de bovinos de corte, portanto, avaliar custos com insumos da dieta e simultaneamente características zootécnicas importantes é fundamental para maior lucratividade na produção (Basarab et al., 2003). A seleção de animais deve buscar equilíbrio entre diversas características importantes para o sistema de produção, possibilitando os resultados serem utilizados como indicadores do poder de seleção e potencial de ganho genético do rebanho de corte (Razook & Mercadante, 2007).

Em programas de melhoramento genético de bovinos de corte no Brasil, a escolha de características de eficiência alimentar para serem implementadas como critério de seleção é considerada um desafio, análise multivariada entre características de eficiência alimentar e outras características de interesse econômico, como características de crescimento e carcaça, devem ser bem conhecidas para dar suporte na definição nos critérios de seleção, melhor exatidão da avaliação e conseqüentemente a resposta à seleção são alcançadas principalmente quando existe interdependência entre as características (Henderson e Quaas, 1976)

O método de componentes principais é um dos métodos de análise multivariada mais utilizado para exploração de dados, consiste na aplicação de conjuntos estatísticos em situações nas quais diferentes variáveis ou características são medidas, simultaneamente, em cada elemento amostral (Bro e Smilde, 2014). Uma das finalidades desta técnica é simplificar ou facilitar a interpretação dos dados apresentados por meio da construção de variáveis que sintetizem a informação original (Mingoti, 2005).

O objetivo do trabalho foi aplicar análises multivariada em características de eficiência alimentar, crescimento e carcaça de touros Nelore em teste de desempenho com intuito de compreender a associação das características e como incluí-las em programas de melhoramento animal.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Características de Eficiência Alimentar

Eficiência alimentar geralmente é calculada em função do consumo individual e do ganho de peso corporal em determinado tempo, pois corresponde a conversão do consumo em ganho de peso (Grion et al., 2014). A eficiência na conversão de alimentos contribui com diminuição de custos na alimentação, menor impacto ambiental com a diminuição de dejetos, emissão de gás metano e taxa de ocupação de animais por hectare (Nkrumah et al., 2006). Deste modo o sistema se torna mais produtivo, econômico e sustentável (Moore et al., 2008; Salleh et al., 2017).

A eficiência alimentar pode ser mensurada por meio da conversão alimentar (CA), eficiência alimentar bruta (EAB) e consumo alimentar residual (CAR), características calculadas com as informações do consumo de matéria seca (CMS), ganho médio diário (GMD) e peso vivo metabólico (Rolfe et al., 2011; Grion et al., 2014). A EAB é calculada pela razão entre o ganho de peso e consumo de matéria seca, portanto animais com maiores valores são considerados mais eficientes e melhor classificados. Este índice prioriza seleção de animais pesados, que não necessariamente consumam menos matéria seca, pode ocorrer seleção de animais de crescimento lento com baixo consumo alimentar, que não é interessante para o produtor (Arthur et al., 2001).

O consumo alimentar residual (CAR) foi proposto para selecionar animais eficientes na conversão alimentar sem alterar o peso à idade adulta (Koch et al., 1963, Paulino et al., 2004), com base no consumo alimentar e sem relação com os padrões de crescimento e maturidade (Richardson e Herd, 2004, Herd e Arthur, 2009). O CAR é calculado por regressão do consumo de matéria seca em função do peso vivo metabólico e do ganho de peso médio diário, definido como o resíduo da diferença do consumo alimentar observado e o consumo alimentar predito (Koch et al., 1963). A interpretação consiste em animais eficientes classificados com CAR negativo, pois o consumo observado foi menor que o predito, e animais CAR positivo são menos eficientes (Basarab et al., 2003).

Semelhante ao CAR tem sido proposto o ganho de peso ajustado para o consumo, conhecido como ganho médio diário residual (GMDR), calculado como o resíduo da regressão linear do GMD em função do peso vivo metabólico e do consumo de matéria seca (Crowley et al., 2010). Neste índice, animais com GMDR positivos são desejáveis, ou seja, aqueles que ganham mais peso que o esperado para o peso vivo metabólico e o CMS observados, assim são mais eficientes que seus contemporâneos (Berry e Crowley, 2013).

Existem alterações nas exigências de manutenção, composição do ganho e consumo alimentar do animal de acordo com diferentes idades, intervalos de tempo e pesos e estas alterações influenciam as características de eficiência alimentar dificultando as comparações entre os animais (Castilho et al., 2011).

O monitoramento do consumo individual é necessário para cálculo do CAR, porém os custos envolvidos com os equipamentos para coleta de dados e mão de obra especializada para utilização são fatores a ser considerados, por isso muitos programas de melhoramento genético bovinos não incluem a eficiência alimentar como critério de seleção (Cameron, 1998).

2.2 Correlações de características de eficiência alimentar com características de crescimento

O melhoramento animal é ferramenta que envolve os processos de criação, seleção e reprodução com objetivo de alterar as características da progênie em sintonia com o ambiente e mercado a ser atendido. A seleção busca equilíbrio entre as características de interesse na produção animal, por isso a inclusão do consumo alimentar residual (CAR) em programas de seleção depende da relação com outras características e de sua herdabilidade (Lancaster et al., 2009).

Herdabilidade moderada para CAR em animais de raças taurinas foram obtidas com valores de 0,39 e 0,45 relatados por Arthur et al. (2001) e Lancaster et al. (2009) respectivamente. Santana et al. (2014) em experimento com animais da raça Nelore estimaram herdabilidade de 0,37.

Muitos estudos demonstram que o CAR e ganho de peso possuem correlações próximas de zero, em estudo envolvendo 13 trabalhos com animais taurinos, Berry e Crowley (2013) obtiveram correlação 0,02 para CAR e ganho de peso médio diário. Bouquet et al. (2010) estimaram correlação genética entre CAR e peso ajustado aos 450 dias de idade de -0,40 para animais da raça Blonde d'Aquitaine, demonstrando que o CAR é independente geneticamente de ganho de peso.

A seleção de animais mais eficientes na conversão de alimentos pode implicar em alterações genéticas baixa ou nula para crescimento. No estudo de Ceacero et al., (2016) foram observadas correlações com valores próximo a zero entre características de eficiência alimentar com altura de garupa e perímetro torácico sendo consideradas baixas e favoráveis. Alguns estudos mostraram que o CAR independe geneticamente da altura de garupa (Basarab et al. 2003, Nkrumah et al. 2006, e Smith et al. 2010).

Alta correlação genética entre características de eficiência alimentar e consumo de matéria seca foi relatada por Berry e Crowley (2013), com valor de 0,72 obtido por meio da metanálise de 18 trabalhos científicos. Correlação genética igual a -0,12 entre ganho médio diário residual e CMS foi obtida em estudo de Santana et al. (2014) com animais Nelore, onde os autores descreveram que a seleção de animais com base em consumo ou ganho residual não compromete o tamanho adulto do rebanho e diminui a quantidade de alimento consumida, possibilitando maior lucratividade da produção.

2.3 Correlações de características de eficiência alimentar com características de carcaça

A gordura subcutânea e intramuscular tem grande influência na qualidade da carcaça, a quantidade de espessura da gordura subcutânea (EGS) é fundamental no processo pós-abate, protegendo a carcaça durante o resfriamento (Chardulo et al., 2013).

Reis (2009) utilizando novilhas mestiças *Bos indicus* padronizadas no abate em 6 mm de EGS, classificou os animais com base nos valores obtidos para CAR em três grupos, ineficiente (CAR médio = + 0,7 kg/dia), intermediário (CAR médio = - 0,01 kg/dia) e eficiente (CAR médio = -0,62 kg/dia), os resultados obtidos em relação à qualidade de carne não diferiram entre os grupos de CAR.

As correlações entre os valores de CAR e características de carcaça obtidas por ultrassom, como área de olho de lombo (AOL), espessura de gordura subcutânea no lombo (EGS) e espessura de gordura subcutânea na garupa (EGS8), sugerem que a seleção com base somente no CAR implica em mudanças na composição corporal dos animais (Richardson et al., 2001). Oliveira Júnior et al. (2013) estimaram correlação entre CAR e EGS8 de 0,39 para animais *Bos indicus*. Estudos com *Bos taurus* indicaram que o CAR é positivamente correlacionado com deposição de gordura na carcaça, animais mais eficientes na utilização de alimentos depositam menos gordura na carcaça (Lancaster et al., 2009; Mao et al., 2013).

Ceacero et al. (2016) em experimento com animais Nelore em teste de desempenho obtiveram correlações entre medidas de eficiência alimentar e

espessura de gordura com valores negativos (-0,22 a -0,45), ou seja, selecionar animais quanto ao desempenho em CAR pode implicar negativamente para espessura de gordura subcutânea. Crowley et al. (2011) em estudo com raças taurinas estimaram alta correlação genética entre CAR, Ganho médio diário residual (GMDR) com EGS (0,39 e -0,44), e correlação nula de GMDR e AOL, sugerindo que a seleção para CAR e GMDR resulta em animais com carcaça mais magra.

Alguns estudos incluíram características de carcaça no modelo de predição do CAR. Quando estas variáveis são incluídas, diminuem as associações fenotípicas e genéticas do CAR com composição de carcaça (Basarab et al., 2003; Schenkel et al., 2004). Evidências de associação genética desfavorável do CAR e as características AOL e EGS foram observadas em teste de desempenho com animais Nelore e implicam em ganhos genéticos negativos, portanto, o modelo de predição do CAR deve considerar as características de composição de carcaça para obter independência em relação a AOL e EGS. Segundo Oliveira (2019) deve ser priorizado modelos de cálculo do CAR que inclui EGS e AOL como critério de seleção na avaliação dos touros.

2.1 Análises de Componentes Principais

A análise multivariada exerce papel fundamental dentro da estatística e tem aplicações em diversas áreas do conhecimento e em situações onde é necessário compreender o comportamento simultâneo das variáveis e não o estudo isolado de cada uma delas. O método de componentes principais descrito primeiramente por Pearson (1901) e modificado por Hotelling (1935) tornou possível o uso da técnica em diversas áreas. Consiste em transformar variáveis correlacionadas em um novo grupo de variáveis não correlacionadas, além de ser ferramenta para análise exploratória e redução da dimensão dos dados com menor perda possível de informação (Morrison, 1976).

As novas variáveis não correlacionadas são chamadas componentes principais (CP) e são ordenadas em forma decrescente conforme seu autovalor, os dois maiores autovalores geram os dois primeiros componentes principais, que agregam maior

quantidade de variabilidade em relação aos demais componentes (Kirkpatrick e Meyer, 2005). Os componentes principais com maiores autovalores retêm a maior quantidade de informação e explicam a maior parte da variação, com relação aos demais componentes, que possuem autovalores próximos a zero, contribuem com poucas informações e podem ser desconsiderados (Meyer, 2007).

O CP é definido como transformação linear ortogonal dos dados para novo sistema de coordenadas de forma que a maior variância por qualquer projeção dos dados fica ao longo da primeira coordenada, eixo X (chamado CP1), a segunda maior variância fica ao longo da segunda coordenada, eixo Y (CP2) e assim por diante (Jolliffe, 2002).

Um subconjunto de componentes principais pode reter maior parte da variação genética e demonstrar a possibilidade de estimar componentes principais genéticos por meio da criação de novos parâmetros no modelo linear misto. Dependendo da magnitude da correlação genética um pequeno grupo de componentes principais é suficiente para capturar a maior parte da variação genética, e assim permite aplicação de análises multivariadas onde os efeitos genéticos estão correlacionados (Kirkpatrick e Meyer, 2005).

A análise de componentes principais utiliza o modelo em notação matricial, representado pela expressão:

$$y = Xb + Z^* u^* + e$$

onde $Z^* = Z(E \otimes I)$, $u^* = (E \otimes I)$, $\text{Var}(u^*) = (I \otimes A)$ e $\Sigma = E \wedge E'$. E correspondem a matriz dos autovetores (v) e \wedge a matriz diagonal dos autovalores λ_i . A matriz de (co) variâncias genética (Σ) pode ser decomposta em termos de E e \wedge , assim $EE' = I$. quando se tem m CPs, a matriz E é substituída por E_m , que representa as m primeiras colunas (v_1, \dots, v_m) de E , portanto, E_m é utilizado para compreender Z^* e u^* (Kirkpatrick e Meyer, 2005).

Segundo Khattree e Naik (2000) a seleção dos componentes principais em pesquisas é com base na acumulação proporcional mínima de 90% da variação total, considerado o critério mais utilizado. Kaiser (1958) tem por base a magnitude das variâncias dos componentes principais obtidas da matriz de correlação, descarta-se

os componentes principais com autovalor menor que 1, pois possuem pouca relevância na variação total. Jolliffe (1973) considera retirar componentes com autovalor menor que 0,7. Outro método para seleção de componentes principais faz uso de diagrama gráfico onde os autovalores são *plotados*, os componentes de maior relevância são interrompidos, então CP de menor importância passam a descrever a variação. Na análise de componentes principais o primeiro componente é geralmente associado com a maior quantidade de variância em comparado aos componentes sucessivos (Jombart; Pontier; Dufour, 2009).

O modelo multicaracterística considera inter-relações das variáveis, apresentando melhores resultados em avaliações genéticas. Estes modelos possibilitam expressão da fisiologia animal, pois muitas características são interdependentes e possuem genes em comum, e não devem ser consideradas a parte (Pedrosa et al., 2014). Segundo Henderson e Quaas (1976) melhor exatidão na avaliação, e conseqüentemente melhor resposta à seleção, principalmente quando existe interdependência entre as características são vantagens na aplicação de modelos multicaracterísticas.

3 OBJETIVO

O presente estudo teve como objetivo aplicar análises multivariadas em características de eficiência alimentar, crescimento e carcaça de touros Nelore em teste de desempenho, com intuito de compreender a associação das características e como incluí-las em programas de melhoramento animal.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrição Local e Animais

Foram utilizados 1294 touros Nelore oriundos de fazendas participantes do Programa de Melhoramento Nelore Qualitas. Os animais foram submetidos ao teste de eficiência alimentar entre os anos de 2010 a 2020, e selecionados dentro de cada safra com base no índice de seleção: 20% da diferença esperada na progênie (DEP)

para peso à desmama, 40% da DEP para ganho de peso aos 450 dias, 20% da DEP para perímetro escrotal e 20% da DEP para musculosidade.

Os animais com idade média no início do teste de $643,91 \pm 43,76$ dias foram submetidos ao período de adaptação à dieta e instalações por 21 dias e ao teste propriamente dito, por 56 dias, com acesso *ad libitum* à dieta e água.

O Programa Nelore Qualitas foi criado em 2001 com propriedades participantes dos Estados de Rondônia, Mato Grosso, Tocantins, Goiás, Distrito Federal, São Paulo e Minas Gerais. Os testes de eficiência alimentar iniciados em 2010 foram realizados no Confinamento Experimental de Bovinos de Corte na Escola de Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Goiás (EVZ/UFG), campus Samambaia, GO, em sistema de baias individuais. A partir de 2016 os testes de eficiência alimentar foram realizados no Centro de Inovação em Genética e Nutrição Animal (CIGNA), localizado na Fazenda Experimental Lageado da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus Botucatu, SP, em sistema de baias coletivas equipadas com cochos eletrônicos da empresa Intergado® (Intergado Ltd., Contagem, Minas Gerais, Brasil).

4.2 Características Avaliadas

4.2.1 Características de Eficiência Alimentar

O consumo de matéria seca (CMS, kg/dia) foi obtido multiplicando-se o consumo individual pela porcentagem de matéria seca da dieta total, com registro automático do consumo alimentar diário individual. O ganho de peso diário (GPD, kg/dia) foi calculado utilizando a diferença entre peso vivo final (PESOF) e peso vivo inicial em razão dos dias de observação do teste.

O consumo alimentar residual (CAR) foi calculado por meio da regressão do ganho de peso diário (GPD) e peso vivo metabólico (PVM) no consumo de matéria seca (CMS), conforme Crews (2005). O ganho médio diário residual (GMDR) foi estimado como o resíduo da equação de regressão do GMD sobre CMS e $PV^{0,75}$ (Koch et al., 1963).

4.2.2 Características de Carcaça

As características de carcaça *in vivo*, área de olho de lombo (AOL, cm²), espessura de gordura subcutânea no lombo (EGS, mm) e espessura de gordura subcutânea na garupa (EGS8, mm) foram mensuradas ao final do teste por meio de imagem de ultrassonografia (Aloka SSD500, equipado com transdutor linear de 3,5 MHz e 178 mm de comprimento acoplado a uma guia acústica para melhor adaptação à anatomia do animal), as imagens foram coletadas na posição transversal à coluna vertebral do animal, sobre o músculo *Longissimus thoracis*, entre a 12^a e 13^a costelas, do lado esquerdo do animal para obtenção das imagens de EGS e AOL e para obtenção da imagem da EGS8, o transdutor foi colocado na intersecção dos músculos *Gluteus medius* e *Biceps femoris*, localizados entre o ílio e ísquio.

4.2.3 Características Morfométricas

As características morfométricas analisadas foram altura na cernelha (AC), medida do comprimento da cernelha ao solo; altura de garupa (AG), comprimento do osso sacro ao solo, ambas mensuradas por hipometro; perímetro torácico (PTOR), medida do contorno do tórax passando pelo cilhadoiro e voltando perpendicular à linha do dorso; comprimento corporal (COMP), medida da articulação escapulo umeral à articulação coxofemoral, ambas mensuradas por meio de fita métrica e mensuração da circunferência escrotal (CE), realizada com fita milimétrica específica; a unidade das medidas foi dada em centímetros.

4.3 Análise dos dados

A estruturação do banco de dados e análises estatísticas descritivas das variáveis foram realizadas por meio do programa Statistical Analysis System, versão 9.3 (SAS, 2011).

Devido diferentes unidades de medida das características presentes, a padronização das variáveis foi necessária, assumindo média igual a zero e variância igual a um. Assim, a base para extrair variáveis latentes

tornou-se a matriz de correlação. A Análise de Componentes Principais (ACP) foi realizada utilizando o Pacote PROC PRINCOMP do programa SAS.

A informação contida no conjunto de dados original, consistente de n variáveis correlacionadas foi sintetizada formando novo conjunto de dados p ($p < n$) de variáveis não correlacionadas, denominados componentes principais, estes são reportados de maneira decrescente pela sua variância. O método utilizando matriz de correlação consiste em transformar um conjunto de p variáveis X_1, X_2, \dots, X_n em um novo conjunto Y_1 (CP1), Y_2 (CP2), ..., Y_p (CP p). Cada componente principal (Y_i) é representado pela combinação linear das variáveis padronizadas (X_j):

$$Y_i = a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \dots + a_{in}X_n,$$

onde a_{ij} são os autovetores da matriz de correlação das variáveis.

Para selecionar os componentes principais o critério utilizado foi o proposto por Kaiser (1958), este estabelece considerar variáveis latentes com variância (autovalor) superior a 1,0, pois geram CPs relevante de informação com base nas variáveis originais. A quantidade de informação retida por CP com autovalor abaixo de 1,0 não é relevante na descrição dos dados.

As correlações de Pearson entre as variáveis estudadas foram realizadas pelo procedimento COR do SAS, considerando significância de 5%.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estatística descritiva das características avaliadas nos testes de eficiência alimentar do Programa Nelore Qualitas é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Estatística descritiva de características de crescimento, carcaça e morfométricas em bovinos Nelore

	N	Média ± DP	Min	Max
Características de Crescimento				
PESOF (kg)	1294	565,68 ± 70,09	386	772
PMET (kg)	1294	108,06 ± 10,90	79,73	140,73
CONS (kg/dia)	1294	10,90 ± 1,41	6,87	17,10
CONV (kg MS/kg ganho)	1294	7,11 ± 2,31	3,16	32,63
CAR (kg MS/dia)	1294	0,001 ± 0,79	-3,71	4,10
GMDR (kg ganho/dia)	1294	3.9e-06 ± 0,27	-1,23	1,12
Características de Carcaça				
AOL (cm ²)	1280	80,60 ± 10,38	51,42	116,45
EGS (mm)	1161	5,41 ± 1,95	1,20	14,99
EGS8 (mm)	1041	7,05 ± 2,21	1,78	21,40
MARM	862	2,43 ± 0,71	1,40	5,79
Características Morfométricas				
AC (cm)	1162	138,8 ± 4,75	123	166
AG (cm)	1162	147,2 ± 4,40	129	162
PT (cm)	1160	197,7 ± 9,34	153,7	247
COMPR (cm)	924	149,1 ± 11,21	122	199,4
CE (cm)	1290	29,18 ± 3,29	20	42

Características: PESOF, peso final; PMET, peso metabólico; CONS, consumo; CONV, conversão; CAR, consumo de alimento residual; GMDR, ganho médio diário residual; AOL, área de olho de lombo; EGS, espessura de gordura subcutânea; EGS8, espessura de gordura na garupa; MARM, marmoreio; AC, altura na cernelha; AG, altura na garupa; PT, perímetro torácico; COMPR, comprimento; CE, circunferência escrotal;

Os valores fenotípicos médios e desvios-padrão obtidos para as características de crescimento avaliadas (Tabela 1) foram próximos a valores de estudos utilizando bovinos Nelore em condições nacionais. Santana et al. (2014) com touros da raça Nelore obtiveram valor para CONS de $8,76 \pm 1,96$ kg, Ceacero et al. (2016) em experimento com touros e fêmeas da raça Nelore pertencentes ao programa Instituto de Zootecnia, encontraram valores para CONS de $6,83 \pm 1,33$ kg e PMET de $68,2 \pm 10,1$ kg. Grigoletto et al. (2016) com animais jovens da raça Nelore obtiveram para CMS $8,47 \pm 1,54$ kg. É importante ressaltar que nos dados dos três trabalhos apresentados os animais eram mais jovens comparado a este trabalho. Eles apresentavam média de 517, 287, 452 dias de idade em Santana et al. (2014), Ceacero et al. (2016) e Grigoletto et al. (2016) respectivamente. Visto que a curva de crescimento animal é em função da idade, o crescimento é formado pelos

componentes ósseo, muscular e adiposo, estes depositados em diferentes fases da vida exercem influência nas características avaliadas (Berg e Butterfield, 1976).

A CONV média observada no presente estudo foi de 7.11 ± 2.31 kg MS/kg ganho, mensuração de eficiência comumente aplicada em sistemas de produção. Santana et al. (2014) em estudo com animais Nelore obtiveram CONV média de 6,65 kg MS/kg ganho. Lancaster et al. (2009), avaliando animais da raça Brangus, obtiveram CONV de $10,26 \pm 1,54$. Dias et al. (2016) em estudo com novilhos Nelore, comparando animais castrados e não castrados estimaram CONV de 5,90 e 5,31 respectivamente.

O CAR estimado no presente estudo apresentou valores entre -3,71 a 4,10 Kg MS/dia para animais mais e menos eficientes e desvio padrão de 0,79 Kg/dia, valor similar a experimentos com animais Nelore, os valores obtidos corroboram ao estudo de Santana et al. (2014) que obteve desvio padrão de 0,89 kg/dia. Arthur et al. (2001) com animais da raça Angus relataram satisfatória variabilidade fenotípica para CAR com desvio-padrão de 0,74 kg/dia, apesar do desvio padrão para CAR variar entre raças e ambiente, a variação fenotípica para as raças demonstraram valores próximos. Ceacero et al. (2014) e Grigoletto et al. (2016) obtiveram valores de 0,60 e 0,85 kg MS/dia de desvio padrão para CAR.

A variabilidade é um fator importante a ser analisado para características a serem implementadas como critérios de seleção, para obter maiores respostas correlacionadas nas características de maior valor econômico. A CONV é correlacionada com peso à idade adulta, quando utilizada como critério de seleção em programas de melhoramento genético pode resultar em aumento significativo do tamanho dos animais e levar ao aumento da exigência de manutenção desses animais (Herd et al., 2003).

No entanto se torna importante compreender o objetivo de seleção específico dentro do rebanho, frente ao mercado a ser atendido e as variáveis que se deseja melhorar. O CAR deve ser considerado no objetivo de seleção quando a intenção é aprimorar eficiência alimentar sem ter aumento na exigência de manutenção desses animais.

Os valores médios obtidos no presente estudo para as características de carcaça AOL e EGS foram 80.60 ± 10.38 e 5.41 ± 1.95 respectivamente. Em trabalhos com animais Nelore foram estimados valores de $48,16 \text{ cm}^2$ e $2,14 \text{ mm}$ (Paula et al., 2015); $52,47 \text{ cm}^2$ e $2,42 \text{ mm}$ (Buzanskas et al., 2017); $51,4 \text{ cm}^2$ e $1,75 \text{ mm}$ (Ceacero et al., 2014) para AOL e EGS respectivamente. As diferenças observadas podem ser explicadas por diferenças genéticas entre as populações estudadas e condições ambientais que os animais foram expostos.

5.1 Características morfométricas

Os resultados obtidos a partir da correlação entre as características morfométricas (Tabela 2), mostraram coeficientes positivos e significativos ($p < 0,01$), variando de 0,13 a 0,64. Verificou-se que as características AG e AC estão fortemente associadas assim como COMP e PT. As características PT e COMP estão moderadamente associadas com AC, AG e CE, em contrapartida CE mostrou correlação positiva e baixa com as características AC e AG, indicando baixa associação entre estas características.

Tabela 2. Coeficiente de correlação de Pearson (acima da diagonal) e número de observações utilizadas para estimar cada correlação (abaixo da diagonal) entre características morfométricas em bovinos Nelore

	AC	AG	PT	COMPR	CE
AC	1.00	0.64	0.35	0.36	0.15
AG	1162	1.00	0.34	0.30	0.13
PT	1162	1160	1.00	0.58	0.34
COMPR	924	924	924	1.00	0.31
CE	1158	1158	1156	921	1.00

Características: AC, altura na cernelha; AG, altura na garupa; PT, perímetro torácico; COMPR, comprimento; CE, circunferência escrotal. Todas as correlações foram significativas ao nível de $p < 0.001$

Os resultados obtidos a partir da matriz de correlação das características morfométricas para os dois primeiros componentes principais (CP) com seus

respectivos autovalores e porcentagens da variância explicadas por cada um e os coeficientes de ponderação entre os CPs e as características são apresentados na Tabela 3, CPs com autovalor maior a 1,00 foram selecionados segundo o critério de Kaiser.

Por meio dos CP₁ e CP₂ foi possível redução na dimensão dos dados e explicar 71,19% da variabilidade total (Tabela 3). As características AC, AG, PT e COMPR estão fortemente associadas ao CP₁ que retem 50,29% da variância total dos dados e possui autovalor 1,59, com maior ponderação para a característica PT (0,79). No CP₂ a característica CE foi a que apresentou maior ponderação.

Tabela 3. Coeficientes de ponderação de características morfométricas em bovinos Nelore com os componentes principais (CP) gerados a partir da matriz de correlação

Características	Componentes principais	
	CP ₁	CP ₂
AC	0.77	-0.45
AG	0.72	-0.54
PT	0.79	0.25
COMPR	0.73	0.32
CE	0.49	0.62
Autovalor	1.59	1.02
%Variância	50.29	20.90

AC, altura na cernelha; AG, altura na garupa; PT, perímetro torácico; COMPR, comprimento; CE, circunferência escrotal; %Variância: porcentagem de variância explicada por cada componente principal. Nota: valores em negrito indicam característica mais associada a cada componente principal

A distribuição bidimensional dos vetores das características é apresentada na Figura 1. O CP₁ representado no eixo X e CP₂ no eixo Y, no CP₂ as variáveis AC e AG apresentam coeficientes de ponderação negativos e proximidade quanto ao posicionamento destas características no espaço formado pelos dois primeiros CPs sugerindo relação entre estas características. É importante ressaltar que quanto mais

à esquerda ou à direita na horizontal, e mais acima ou mais abaixo na vertical, maiores propriedades específicas possuem as características.

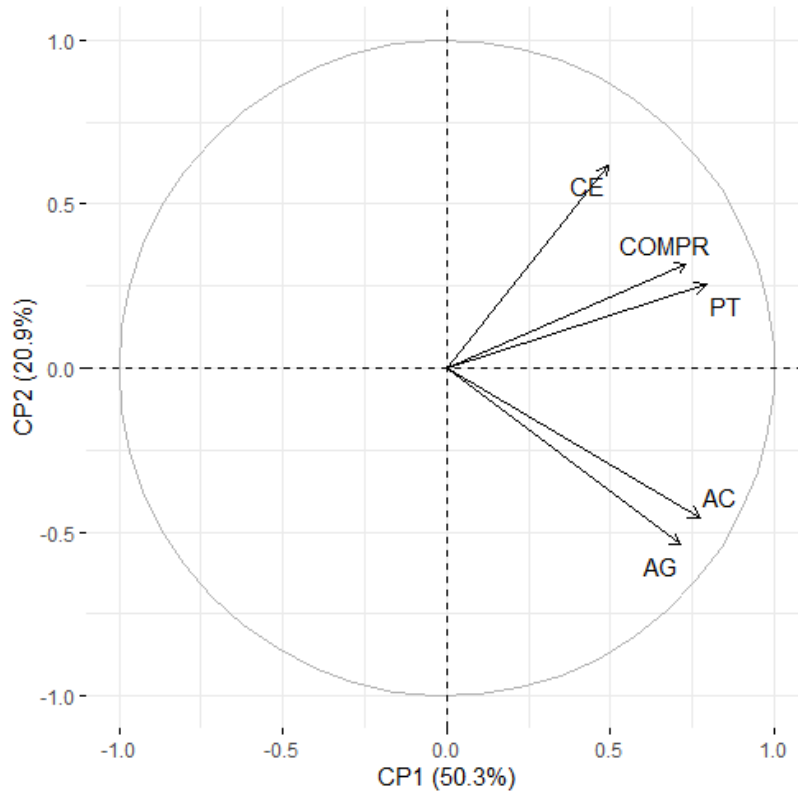


Figura 1. Distribuição das características morfométricas nos primeiros dois componentes principais (CP₁ e CP₂)

5.2 Características de carcaça

As correlações entre as características de carcaça, AOL, EGS, EGS8 e MARM são apresentadas na Tabela 4, os valores mostraram coeficientes significativos ($p < 0,01$ e $p < 0,001$), variando de -0,30 a 0,60. As EGS e EGS8 mostraram forte correlação (0,60). O processo de deposição de gordura subcutânea no acabamento inicia-se no sentido das extremidades para o centro do corpo, os valores de EGS8 serão superiores ao EGS, estas medidas se relacionam à precocidade de crescimento, sexual e de acabamento. A característica MARM apresentou correlação negativa com AOL, EGS e EGS8 (-0,30, -0,16 e -0,12 respectivamente), indicando que animais com bom índice de marmoreio pode apresentar baixos valores nas outras características de carcaça avaliadas.

A maior ou menor deposição de gordura intramuscular está ligada a diferentes fatores, sendo a genética do animal o fator mais influente, o que pode explicar estas correlações. A deposição da gordura ocorre primeiramente a deposição interna e perirenal, seguida da deposição entre os diferentes grupos musculares (intermuscular), depois a subcutânea e, finalmente, a gordura intramuscular (Berg e Butterfield, 1976).

A diferença de deposição dos tecidos é um fator determinante no rendimento de carcaça, à medida que aumenta a deposição de tecido adiposo na carcaça, a proporção de carne diminui. Animais com alto potencial de MARM apresentaram níveis elevados de mRNA associados à adipogênese e níveis reduzidos de mRNA ligados à miogênese (Nguyen et al. 2021). Isso pode explicar por que a correlação entre MARM e AOL. Portanto, na seleção de touros é muito importante considerar MARM (Park et al., 2018).

Tabela 4. Coeficiente de correlação de Pearson (acima da diagonal) e número de observações utilizadas para estimar cada correlação (abaixo da diagonal) entre características de carcaça em bovinos Nelore

	AOL	EGS	EGS8	MARM
AOL	1.00	0.29***	0.27***	-0.30***
EGS	1161	1.00	0.60***	-0.16***
EGS8	1041	1041	1.00	-0.12**
MARM	862	744	631	1.00

Características: AOL, área de olho de lombo; EGS, espessura de gordura subcutânea no lombo; EGS8, espessura de gordura na garupa; MARM, marmoreio. Nível de significância (**p<0.01, ***p<0.001)

A Tabela 5 apresenta os coeficientes de ponderação dos componentes principais 1 e 2 gerados das características de carcaça, o CP₁ reteve 50,28% da variância total dos dados e mostrou associação entre as características AOL, EGS e EGS8 ao CP₁. O CP₂ reteve 25,92% da variância (76,20% somado ao CP₁) e evidenciou forte contraste entre MARM e AOL com valor negativo, ou seja, nos dados apresentados animais bem classificados quanto ao MARM tendem a ter uma menor

área de AOL, resultado que deve-se ter atenção pois AOL está ligada ao potencial do animal para musculosidade, crescimento, ganho de peso e relação músculo/osso nos cortes de maior interesse na carcaça (Luchiari Filho, 2000).

Tabela 5. Coeficientes de ponderação de características de carcaça em bovinos Nelore com os componentes principais (CP) gerados a partir da matriz de correlação

Característica	Componentes principais	
	CP ₁	CP ₂
AOL	-0.72	-0.37
EGS	-0.82	0.35
EGS8	-0.76	0.46
MARM	0.49	0.76
Autovalor	2.01	1.04
% Variância	50.28	25.92

AOL, área de olho de lombo; EGS, espessura de gordura subcutânea; EGS8, espessura de gordura na garupa; MARM, marmoreio; %Variância: porcentagem de variância explicada por cada componente principal. Nota: valores em negrito indicam característica mais associada a cada componente principal

Na Figura 2 são apresentados os vetores das características de carcaça distribuídos nos dois componentes principais (CP₁ e CP₂), a figura destaca o contraste entre as características de carcaça MARM e AOL no espaço formado pelos CP₁ e CP₂, e forte relação entre EGS e EGS8.

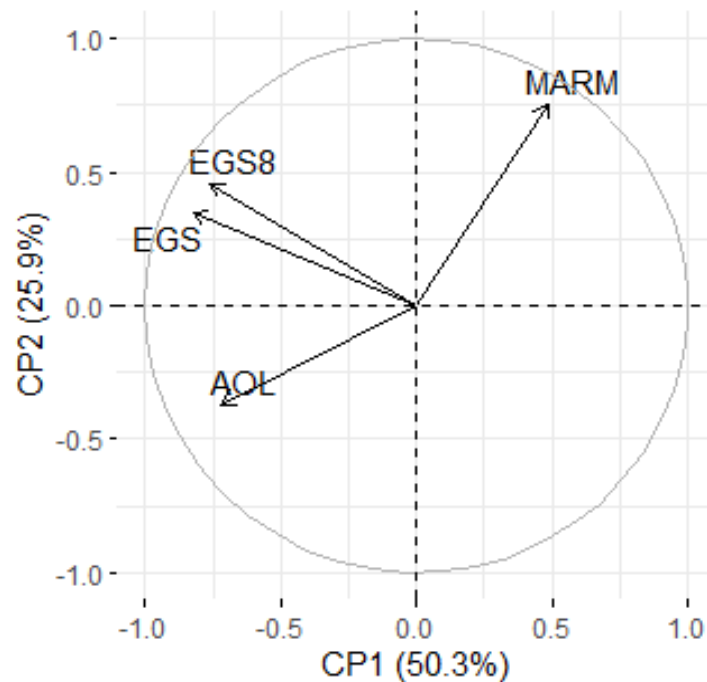


Figura 2. Distribuição das características de carcaça nos primeiros dois componentes principais (CP₁ e CP₂)

5.3 Característica de crescimento

Na tabela 6 as correlações entre as características de crescimento mostraram coeficientes significativos ($p < 0,01$) com valores obtidos entre -0,56 e 0,97 e outros próximo a zero, o que indicou baixa correlação. As características PESOF e PMET foram fortemente correlacionadas entre si (0,97), isto evidenciou que animais com alto PESOF também obtiveram alto PMET. A correlação de CAR foi próxima a zero com estas características. Assim a seleção para animais quanto a classificação em CAR não implicou em mudanças no PESOF e PMET. A escolha de CAR como critério de seleção para eficiência alimentar em bovinos de corte se deve ao fato desta característica ser menos correlacionada com peso adulto, ao contrário do que acontece com CONV (Lancaster et al. 2009). O GMDR apresentou baixa associação ao PESOF, PVM e CONS, e correlação negativa com CAR e CONV.

Tabela 6. Coeficiente de correlação de Pearson (acima da diagonal) e número de observações utilizadas para estimar cada correlação (abaixo da diagonal) entre características de crescimento em bovinos Nelore

	PESOF	PMET	CONS	CONV	CAR	GMDR
PESOF	1.00	0.97***	0.50***	0.03	-0.01	0.10**
PMET	1294	1.00	0.47***	0.18***	0.00	0.00
CONS	1294	1294	1.00	0.04	0.54***	0.00
CONV	1294	1294	1294	1.00	0.23***	-0.56***
CAR	1294	1294	1294	1294	1.00	-0.49***
GMDR	1294	1294	1294	1294	1294	1.00

Características: PESOF, peso final; PMET, peso metabólico; CONS, consumo; CONV, conversão; CAR, consumo de alimento residual; GMDR, ganho médio diário residual. Nível de significância (**p<0.01, ***p<0.001)

Através da matriz de correlação das características de crescimento três CPs explicaram 89,34% da variância total. Por isso foi possível reduzir significativamente a dimensão dos dados através da ACP, apenas 10,66% da variância não foi explicada por estes CPs (Tabela 7). O PESOF, PMET e CONS tiveram alto coeficientes de ponderação no CP₁, isto mostrou associação destas características ao componente. Através de CP₂ foi possível observar contraste entre CONV, CAR com GMDR. É importante considerar que no índice CAR animais classificados negativos são desejáveis pois representa que o consumo observado foi menor que o predito, diferente da característica GMDR onde animais positivos é o que se busca, diante disto este contraste entre CAR e GMDR era esperado. Em estudo com animais Nelore e cruzados Muniz et al. (2014) avaliaram características de peso em diferentes idades e de ganhos de peso dos animais cruzados, a maior parte da variância total (92,5 e 80,1%) foi explicada pelos dois primeiros componentes dos pesos e ganhos de pesos, respectivamente.

Tabela 7. Coeficientes de ponderação de características de crescimento em bovinos Nelore com os componentes principais (CP) gerados a partir da matriz de correlação

Característica	Componentes principais		
	CP ₁	CP ₂	CP ₃
PESOF	0.87	0.42	-0.18
PMET	0.89	0.32	-0.30
CONS	0.76	-0.04	0.54
CONV	0.29	-0.65	-0.54
CAR	0.40	-0.67	0.55
GMDR	-0.19	0.84	0.24
Autovalor	2.42	1.86	1.08
%Variância	40.27	31.01	18.06

PESOF, peso final; PMET, peso metabólico; CONS, consumo; CONV, conversão; CAR, consumo de alimento residual; GMDR, ganho médio diário residual; %Variância: porcentagem de variância explicada por cada componente principal. Nota: valores em negrito indicam característica mais associada a cada componente principal

Na figura 3 são apresentados graficamente os dois componentes principais das características de crescimento, o GMDR mostra propriedades específicas pois seu vetor está bem isolado quanto ao eixo de CP1.

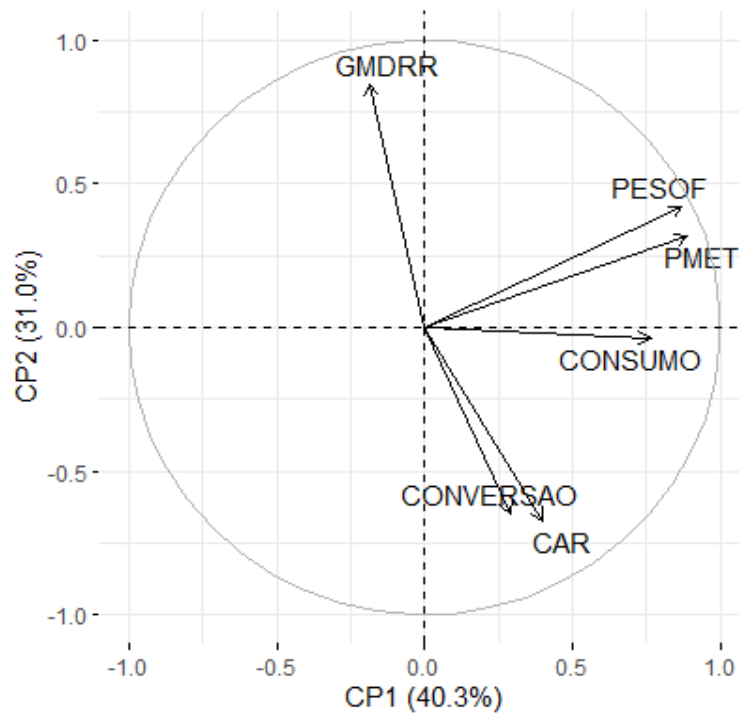


Figura 3. Distribuição das características de crescimento nos primeiros dois componentes principais (CP₁ e CP₂).

5.4 Correlação entre as principais características

Na Tabela 8 o coeficiente de correlação entre as características com maior ponderação nos primeiros CPs das características morfométricas, carcaça e crescimento são apresentados, além do CAR e GMDR. Através da ACP entre os grupos foi possível reduzir a dimensão dos dados, obtendo a correlação entre nove variáveis. As características de eficiência alimentar, CAR e GMDR apresentaram baixa correlação, valores próximos a zero, com AOL, EGS, EGS8 e PT. Isto mostra a importância de selecionar quanto ao desempenho para CAR pois a mesma não teve resposta correlacionada a nenhuma outra característica.

Tabela 8. Coeficiente de correlação de Pearson (acima da diagonal) e número de observações utilizadas para estimar cada correlação (abaixo da diagonal)

	PESOF	PMET	CONS	CAR	AOL	EGS	EGS8	PT	GMDR
PESOF	1.00	0.97	0.50	-0.01	0.66	0.38	0.39	0.81	0.10
PMET	1294	1.00	0.47	0.00	0.65	0.33	0.36	0.80	0.00
CONS	1294	1294	1.00	0.54	0.28	0.28	0.27	0.41	0.00
CAR	1294	1294	1294	1.00	-0.02	0.09	0.09	0.00	-0.49
AOL	1280	1280	1280	1280	1.00	0.29	0.27	0.52	0.06
EGS	1161	1161	1161	1161	1161	1.00	0.6	0.30	0.01
EGS8	1041	1041	1041	1041	1041	1041	1.00	0.34	0.02
PT	1160	1160	1160	1160	1157	1040	921	1.00	0.09
GMDR	1294	1294	1294	1294	1280	1161	1041	1160	1.00

Características: PT, perímetro torácico; AOL, área de olho de lombo; EGS, espessura de gordura subcutânea no lombo; EGS8, espessura de gordura na garupa; PESOF, peso final; PMET, peso metabólico; CONS, consumo; CAR, consumo de alimento residual; GMDR, ganho médio diário residual. ■ Correlação entre características de carcaça e crescimento; ■ Correlação entre características de crescimento e morfométrica; ■ Correlação entre características de carcaça e morfométrica. Em negrito a correlação entre características de eficiência alimentar e as demais.

A escolha da característica de eficiência alimentar a ser implementada como critério de seleção deve ser com base nas associações com outras características relevantes. No presente estudo com animais Nelore, foi possível observar baixa correlação, valores próximo a zero entre CAR e GMDR com PESOF, PMET, AOL, EGS, EGS8 e PT. As características de eficiência alimentar devem ser priorizadas pois não apresentaram correlação com as demais e são importantes na produção animal.

Crowley et al. (2011) estimaram correlação genética baixa, (-0,11) entre CAR e PT. Em experimento com animais da raça Nelore, correlações genéticas baixas (0,02 e 0,17) de CAR com EGS e EGS8 foram obtidas respectivamente (Santana et al. 2014). Para as características de crescimento PESOF, PMET e CONS foram obtidas correlações de moderada (0,27) a alta (0,66) magnitude com AOL, EGS e EGS8. Isto indicou que bovinos com maior peso ao final dos testes tendem a ser animais com maior acabamento de carcaça e musculosidade.

6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos com análise de componentes principais, a viabilidade da aplicação e diminuição das variáveis em análise, mostraram a possibilidade de diminuir o conjunto de dados e trabalhar com as características de crescimento, carcaça e eficiência alimentar como critério de seleção.

Características de eficiência alimentar como o CAR devem ser priorizadas pois não apresentaram correlação com as demais e são importantes na produção animal.

Análises considerando os resultados obtidos poderão futuramente ser utilizadas como parâmetros em critérios de seleção, não somente genotipagem como os fenótipos.

7 REFERÊNCIAS

ABIEC. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE. Disponível em: <http://abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2021/> Acesso em 18 de agosto de 2021.

Arthur JPF, Herd RM (2008) Residual feed intake in beef cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia** 37:269-279.

Arthur PF, Archer JA, Johnston DJ, Herd RM, Richardson EC, Parnell PF (2001) Genetic and phenotypic variance and covariance components for feed intake, feed efficiency, and other postweaning traits in Angus cattle. **Journal of Animal Science** 79:2805-2811.

Basarab JA, Price MA, Aalhus JL, Okine EK, Snelling WM, Lyle KL (2003) Residual feed intake and body composition in young growing cattle. **Canadian Journal of Animal Science** 83:189-204.

Berg RT, Butterfield RM (1976) **New concepts of cattle growth**. Austrália: Sydney University Press, 240p.

Berry DP, Crowley JJ (2013) Genetics of feed efficiency in dairy and beef cattle. **Journal of Animal Science** 91:1594-613

Bouquet A, Fouilloux MN, Renand G, Phocas F (2010) Genetic parameters for growth, muscularity, feed efficiency and carcass traits of young bulls. **Livestock Science** 129:38-48.

Bro R, Smilde AK (2014) Principal component analysis: a tutorial review. **Analytical Methods** 6:2812-2831.

Buzanskas ME, Pires PS, Chud TCS, Bernardes PA, Rola LD, Savegnago RP, Lôbo RB, Munari DP (2017) Parameter estimates for reproductive and carcass traits in Nelore beef cattle. **Theriogenology** 92:204–209.

Cameron ND (1998) Across species comparison in selection for efficiency. In: WORLD CONGRESS ON GENETICS APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION, **Proceedings**... Armidale: WCGALP 73-78.

Castilhos AM, Branco RH, Razook AG, Bonilha SFM, Mercadante MEZ, Figueiredo LA (2011) Test post-weaning duration for performance, feed intake and feed efficiency in Nelore cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia** 40:301-307.

Ceacero TM, Mercadante MEZ, Cyrillo JNdSG, Canesin RC, Bonilha SFM, de Albuquerque LG (2016) Phenotypic and Genetic Correlations of Feed Efficiency Traits with Growth and Carcass Traits in Nelore Cattle Selected for Postweaning Weight. **PLoS ONE** 11(8):e0161366.

Chardulo LAL, Silveira AC, Vianello F (2013) **Analytical Aspects for Tropical Meat Quality Assessment**. Food Quality, Safety and Technology. Vienna: Springer Vienna, p.53–62.

Cônsolo NRB, Gardinal R, Gandra JR, Freitas Júnior JE, Rennó FP, Santana MHA, Pflanzler JSB, Pereira ASC (2015) High levels of whole raw soybean in diets for Nelore bulls in feedlot: effect on growth performance, carcass traits and meat quality. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition** 99:201-209.

Crews DH (2005) Genetics of efficient feed utilization and national cattle evaluation: A review. **Genetics and Molecular Research** 4:152–165.

Crowley JJ, Mcgee M, Kenny DA, Crews DHJr, Evans RD, Berry DP (2010) Phenotypic and genetic parameters for different measures of feed efficiency in different breeds of Irish performance-tested beef bulls. **Journal of Animal Science** 88:885-894.

Crowley JJ, Evans RD, Mc Hugh N, Pabiou T, Kenny DA, Mcgee Jr M, Crews DHJ, Berry DP (2011) Genetic associations between feed efficiency measured in a performance test station and performance of growing cattle in commercial beef herds. **Journal of Animal Science** 89:3382-3393.

Dias AM, Oliveira LBD, Ítavo LCV, Mateus RG, Gomes ENO, Coca FODCG, Mateus RG (2016) Terminação de novilhos Nelore, castrados e não castrados, em confinamento com dieta alto grão. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador 17:45-54.

FAO. Food and Agriculture Organization. (2016) Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. FAO no Brasil. Disponível em: <http://www.fao.org/brasil/pt/> Acesso em: 02 ago. 2021.

Grion AL, Mercandante MEZ, Cyrillo JNSG, Bonilha SFM, Magnani E, Branco RH. (2014) Selection for feed efficiency traits and correlated genetic responses in feed intake and weight gain of Nellore cattle. **Journal of Animal Science** 92:955-965.

Grigoletto L, Perez BC, Santana MHA, Baldi F, Ferraz JBS (2016) Genetic contribution of cytoplasmic lineage effect on feed efficiency in Nellore cattle. **Livestock Science** 198:52-57.

Henderson CR, Quaas RL (1976) Multiple trait evaluation using relatives records. **Journal of Animal Science** 43:1188-1197.

Herd RM, Archer JA, Arthur PF (2003) Reducing the cost of beef production through genetic improvement in residual feed intake: opportunity and challenges to application. **Journal of Animal Science** 81:E9-E17.

Herd RM, Arthur PF (2009) Physiological basis for residual feed intake. **Journal of Animal Science** 87:64-71.

Hotelling H (1935) The most predictable criterion. **Journal of Educational Psychology** 26:139-142.

Jolliffe, IT (1973) Discarding variables in a principal component analysis. II. Real data. **Applied Statistics** 22:21-31.

Jolliffe IT (2002) Principal Component Analysis, Series: **Springer Series in Statistics**, 2nd ed., Springer, NY, 2002, XXIX, 487 p. 28 illus. ISBN 978-0-387-95442-4

Jombart T, Pontier D, Dufour A (2009) Genetic markers in the playground of multivariate analysis. **Heredity** 102:330–341.

Kaiser HF (1958) The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika** 23:187-200.

Kattree R, Naik DN (2000) **Multivariate data reduction and discrimination with SAS® Software**. Cary, NC: SAS Institute Inc., p.558

Kirkpatrick M, Meyer K (2005) Restricted maximum likelihood estimation of genetic principal components and smoothed covariance matrices. **Genetics Selection Evolution** 21:1-30.

Koch RM, Swiger LA, Chambers D, Gregory KE (1963) Efficiency of feed use in beef cattle. **Journal of Animal Science** 22:486-494.

Lancaster PA, Carstens GE, Ribeiro FRB, Tedeschi LO, Crews Jr. DH (2009) Characterization of feed efficiency traits and relationships with feeding behavior and ultrasound carcass traits in growing bulls. **Journal of Animal Science** 87:1528-15528-1539.

Lima NLL, Pereira IG, Ribeiro JS (2014) Consumo alimentar residual como critério de seleção para eficiência alimentar. **Acta Veterinaria Brasilica** 7:255-260.

Lowe M, Gereffi G, Ayee G, Denniston R, Fernandez-Stark K, Kim J, Sang N (2009) **A Value Chain Analysis of the U.S. Beef and Dairy Industries**. Center on Globalization, Governance e Competitiveness: Duke University Research, 55 p.

Luchiari Filho A, Mourão GB (2006) **Melhoramento, Raças e seus Cruzamentos na Pecuária de Corte Brasileira**. Pirassununga 142p.

Mao F, Chen L, Vinsky M, Okine E, Wang Z, Basarab J, Crews DHJr, Li C (2013) Phenotypic and genetic relationships of feed efficiency with growth performance, ultrasound, and carcass merit traits in Angus and Charolais steers. **Journal of Animal Science** 91:2067-2076.

Meyer K (2007) Multivariate analyses of carcass traits for Angus cattle fitting reduced rank and factor analytic models. **Journal of Animal Breeding and Genetics** 124:50-64.

Mingoti SA (2005) **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Editora UFMG

Moore SS, Mujibi, FD, Sherman EL (2008) Molecular basis for residual feed intake in beef cattle. **Journal of Animal Science** 87:41-47.

Morrison DF (1976) **Multivariate statistical methods**. 2nd ed., USA: McGraw-Hill Book Company, 415p.

Muniz CASD, Sandra AQ, Arthur SM e Lenira EFZ (2014) Análise de componentes principais para características de crescimento em bovinos de corte. **Semina: Ciências Agrárias** 35:1676-546X

Nguyen DV, Nguyen OC, Malau-Aduli AEO (2021) Main regulatory factors of marbling level in beef cattle **Vet Anim Sci.** 20;14:100219. doi: 10.1016/j.vas.2021.100219. PMID: 34877434; PMCID: PMC8633366.

Nkrumah JD, Okine EK, Mathinson GW, Schmid K, Li C, Basarab JA, Price MA, Wang Z, Moore SS (2006) Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. **Journal of Animal Science** 84:145-153.

Oliveira MHV (2019) **Associação do consumo alimentar residual e composição corporal em bovinos da raça Nelore**. 53p. Dissertação (Mestrado) – - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Oliveira Junior GA, Santana MHA, Gomes RC, Leme PR, Mattos EC, Ferraz JBS (2013) Parâmetros genéticos e correlações da ingestão e eficiência alimentar em bovinos da raça Nelore. In: SIMPÓSIO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE MELHORAMENTO ANIMAL, 5., 2013. Uberaba. **Anais...** Uberaba: SBMA.

Park SJ, Kang HJ, Na S, Lee SH, Baik M (2018) Differential expression of extracellular matrix and integrin genes in the longissimus thoracis between bulls and steers and their association with intramuscular fat contents. **Meat Science** 136:35–43.

Paula EJH, Martins EN, Oliveira CAL, Magnabosco CU, Sainz RD, Geron LJV, Souza Neto EL, Porto EP, Miguel GZ (2015) Associations between reproductive and carcass traits in Nellore. **Semina: Ciências Agrárias** 36:4423-4434.

Paulino PVR, Castro FC, Magnabosco ACS, Sainz RD (2004) Performance and residual feed intake differences between steers housed in individual or group pens. **Journal of Animal Science** 82:43-43.

Pearson K (1901) On lines and planes of closest fit to systems of points in space. **Philosophical Magazine**, Series 6, 2:559-572.

Pedrosa VP, Eler JP, Ferraz JBS, Pinto LFB (2014) Utilização de modelos unicaracterística e multicaracterística na estimação de parâmetros genéticos na raça Nelore. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia** 66:1802-1812.

Polizel GHG, Grigoletto L, Carvalho ME, Júnior PR, Ferraz JBS, Santana MHA (2018) Genetic correlations and heritability estimates for dry matter intake, weight gain and feed efficiency of Nellore cattle in feedlot. **Livestock Science** 214:209-210.

Razook AG, Mercadante MEZ (2007) Requisitos de qualidade na bovinocultura de corte. In: SIMPÓSIO SOBRE BOVINOCULTURA DE CORTE, 6., 2007, Piracicaba. **Anais ... Piracicaba** p.93-144

Reis SF (2009) **Características de crescimento e qualidade de carne de novilhas de corte de diferentes classes de consumo alimentar residual** 69p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

Richardson EC, Herd RM, Oddy VH, Thompsom JM, Archer JÁ, Arthur PF (2001) Body composition and implications for heat production of Angus steer progeny of parents selected for and against residual feed intake. **Australian Journal of Experimental Agriculture** 41:1065-1072.

Richardson EC, Herd RM (2004) Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 2. Synthesis of results following divergent selection. **Australian Journal of Experimental Agriculture** 44:431-440.

Rolfe KM, Snelling WM, Nielsen MK, Freetly HC, Ferrell CL, Jenkins TG (2011) Genetic and phenotypic parameter estimates for feed intake and other traits in growing beef cattle, and opportunities for selection. **Journal of Animal Science** 89:3452-3459.

Salleh MS, Mazzoni G, Höglund JK, Olijhoek DW, Lund P, Lovendahl P, Kadarmideen HN (2017) RNA-Seq transcriptomics and pathway analyses reveal potential regulatory genes and molecular mechanisms in high- and low-residual feed intake in Nordic dairy cattle. **BMC Genomics** 18:258-275

Santana MHA, Oliveira Junior GA, Gomes RC, Silva SL, Leme PR, Stella TR, Mattos EC, Rossi Junior P, Baldi FS, Eler JP, Ferraz JBS (2014) Genetic parameter estimates for feed efficiency and dry matter intake and their association with growth and carcass traits in Nelore cattle. **Livestock Science** 167:80-85.

Schenkel FS, Miller SP, Wilton JW (2004) Genetic parameters and breed differences for feed efficiency, growth, and body composition traits of young beef bulls. **Canadian Journal of Animal Science** 84:177-185.

Smith SN, Davis ME, Loerch SC (2010) Residual feed intake of Angus beef cattle divergently selected for feed conversion ratio. **Livestock Science** 132:41–47.

APÊNDICE

APÊNDICE A. Coeficiente de correlação de Pearson (acima da diagonal) e número de observações utilizadas para estimar cada correlação (abaixo da diagonal)

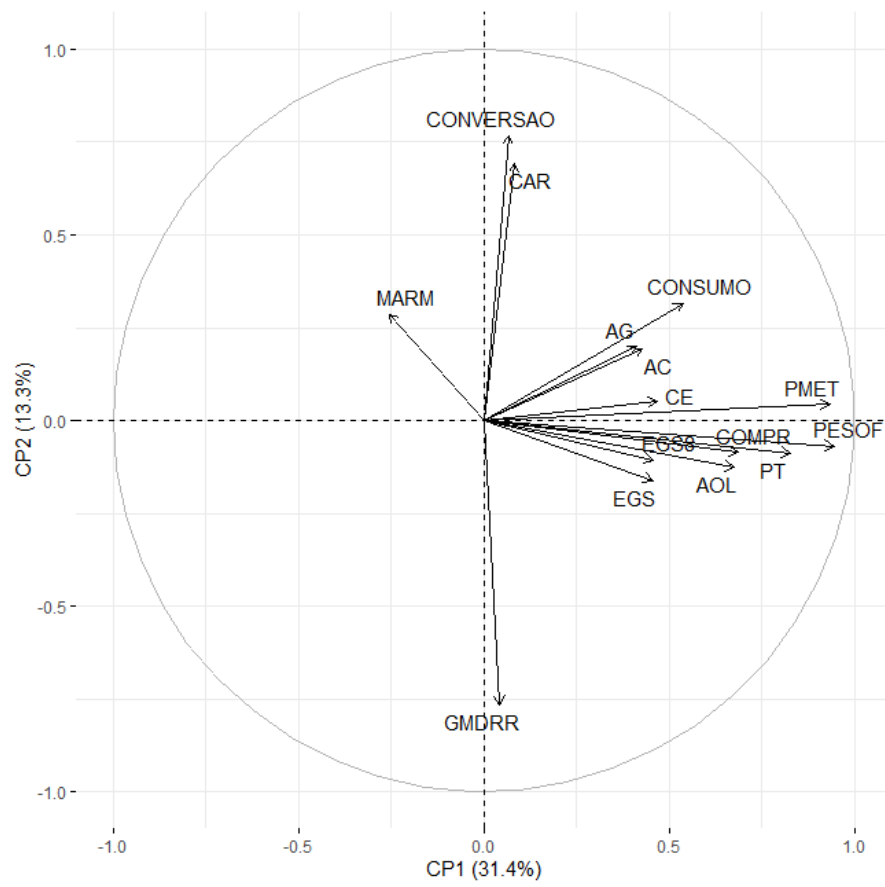
	PESOF	PMET	CONS	CONV	CAR	AOL	EGS	EGS8	MARM	AC	AG	PT	COMPR	GMDR	CE
PESOF	1.00	0.97	0.50	0.03	-0.01	0.66	0.38	0.39	-0.28	0.36	0.34	0.81	0.66	0.10	0.40
PMET	1294	1.00	0.47	0.18	0.00	0.65	0.33	0.36	-0.24	0.38	0.36	0.80	0.65	0.00	0.43
CONS	1294	1294	1.00	0.04	0.54	0.28	0.28	0.27	0.11	0.06	0.20	0.41	0.36	0.00	0.13
CONV	1294	1294	1294	1.00	0.23	0.03	-0.13	-0.04	0.22	0.23	0.21	-0.04	-0.10	-0.56	0.11
CAR	1294	1294	1294	1294	1.00	-0.02	0.09	0.09	0.03	-0.04	-0.06	0.00	0.02	-0.49	-0.01
AOL	1280	1280	1280	1280	1280	1.00	0.29	0.27	-0.30	0.11	0.10	0.52	0.38	0.06	0.27
EGS	1161	1161	1161	1161	1161	1161	1.00	0.6	-0.16	-0.05	-0.06	0.30	0.33	0.01	0.13
EGS8	1041	1041	1041	1041	1041	1041	1041	1.00	-0.12	0.03	0.01	0.34	0.33	0.02	0.11
MARM	862	862	862	862	862	862	744	631	1.00	0.05	0.14	-0.27	-0.29	0.02	-0.16
AC	1162	1162	1162	1162	1162	1159	1042	922	749	1.00	0.64	0.35	0.36	0.04	0.15
AG	1162	1162	1162	1162	1162	1159	1042	922	749	1162	1.00	0.34	0.30	0.08	0.13
PT	1160	1160	1160	1160	1160	1157	1040	921	747	1160	1160	1.00	0.58	0.09	0.34
COMPR	924	924	924	924	924	921	921	802	629	924	924	924	1.00	0.00	0.31
GMDR	1294	1294	1294	1294	1294	1280	1161	1041	862	1162	1162	1160	924	1.00	-0.06
CE	1290	1290	1290	1290	1290	1276	1158	1038	859	1158	1158	1156	921	1290	1.00

Características: AC, altura na cernelha; AG, altura na garupa; PT, perímetro torácico; COMPR, comprimento; CE, circunferência escrotal; AOL, área de olho de lombo; EGS, espessura de gordura subcutânea no lombo; EGS8, espessura de gordura na garupa; MARM, marmoreio; PESOF, peso final; PMET, peso metabólico; CONS, consumo; CONV, conversão; CAR, consumo de alimento residual; GMDR, ganho médio diário residual.

APÊNDICE B. Coeficientes de correlação de Person das características com os primeiros cinco componentes principais (CP)

Característica	Componentes principais				
	CP ₁	CP ₂	CP ₃	CP ₄	CP ₅
PESOF	0.94	-0.07	0.02	-0.03	-0.10
PMET	0.93	0.04	0.06	-0.10	-0.05
CONS	0.54	0.32	-0.30	0.48	-0.42
CONV	0.07	0.77	0.17	-0.26	0.28
CAR	0.08	0.69	-0.45	0.20	-0.30
AOL	0.67	-0.13	-0.13	-0.24	-0.14
EGS	0.45	-0.16	-0.54	0.19	0.46
EGS8	0.46	-0.11	-0.45	0.23	0.56
MARM	-0.26	0.29	0.19	0.60	0.13
AC	0.43	0.19	0.67	0.14	0.20
AG	0.41	0.20	0.67	0.28	0.11
PT	0.83	-0.09	0.10	-0.01	-0.10
COMPR	0.68	-0.09	0.03	-0.05	0.01
GMDR	0.04	-0.77	0.24	0.39	-0.18
CE	0.47	0.05	0.06	-0.38	-0.03
Autovalor	4.71	1.99	1.83	1.25	1.01
%Variância	31.43	13.29	12.17	8.31	6.76

Características: AC, altura na cernelha; AG, altura na garupa; PT, perímetro torácico; COMPR, comprimento; CE, circunferência escrotal; AOL, área de olho de lombo; EGS, espessura de gordura subcutânea no lombo; EGS8, espessura de gordura na garupa; MARM, marmoreio; PESOF, peso final; PMET, peso metabólico; CONS, consumo; CONV, conversão; CAR, consumo de alimento residual; GMDR, ganho médio diário residual. %Variância: porcentagem de variância explicada por cada componente principal. Nota: valores em negrito indicam característica mais associada a cada componente principal.



APÊNDICE C. Distribuição das características nos primeiros dois componentes principais (CP1 e CP2)