

Planaltina, DF / Março, 2025

Análise multivariada da produção de leite e características reprodutivas, de qualidade e econômicas avaliadas em fêmeas Gir Leiteiro submetidas a provas de produção de leite a pasto

Ludmilla Costa Brunet⁽¹⁾, Claudio de Ulhoa Magnabosco⁽²⁾, Isabel Cristina Ferreira⁽²⁾, Adriano Queiroz de Mesquita⁽³⁾, Marcelo Ricardo de Toledo⁽⁴⁾, Carlos Frederico Martins⁽²⁾

⁽¹⁾Bolsista (Rhae – CNPq, Avaltech) da Embrapa Cerrados, Goiânia, GO. ⁽²⁾Pesquisadores da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ⁽³⁾Analista da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. ⁽⁴⁾Zootecnista, superintendente técnico da Associação de Criadores de Zebu do Planalto, Brasília, DF.

Embrapa Cerrados
BR 020, Km 18, Rod. Brasília /
Fortaleza
Caixa Postal 08223
CEP 73310-970, Planaltina, DF
www.embrapa.br/cerrados
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
Presidente
Eduardo Alano Vieira

Secretária-executiva
Lidiamar Barbosa de Albuquerque

Membros
Alessandra de Jesus Boari
Alessandra Silva G. Faleiro
Angelo Aparecido Barbosa Sussel
Fábio Gelape Faleiro
Fabiola de Azevedo Araujo
Giuliano Marchi
Jussara Flores de Oliveira Arbues
Karina Pulrolnik
Maria Emília Borges Alves
Natália Bortoleto Athayde Maciel

Edição executiva e
revisão de texto
Jussara Flores de O. Arbues

Normalização bibliográfica
Marilaine Shaun Pelufe
(CRB-1/2045)

Projeto gráfico
Leandro Sousa Fazio

Diagramação
Jussara Flores de O. Arbues

Publicação digital: PDF

Todos os direitos
reservados à Embrapa.

Resumo – A produção de leite no Brasil constitui um pilar do agronegócio nacional. Elucidar a relação entre as variáveis presentes no sistema, por meio de abordagens multivariadas, é essencial para atingir a maior eficiência nos locais de produção leiteira. Este estudo avaliou a relação entre características produtivas, reprodutivas, de conformação, de saúde e econômicas mensuradas em 73 fêmeas da raça Gir Leiteiro (*Bos taurus indicus*), bem como informações genéticas e índices de seleção obtidos em provas de produção de leite, utilizando abordagens multivariadas. Foram realizadas duas análises de componentes principais (ACP): a primeira incluiu todas as características avaliadas nas provas; a segunda, os índices de classificação. Em ambas análises, o primeiro e o segundo componente principal (CP) estiveram associados, respectivamente, a características de conformação corporal e do úbere, e a características econômicas, de produção de leite, persistência (PERS) e idade ao primeiro parto (IPP). O índice fenotípico 4 permitiu a identificação de matrizes mais harmônicas, com melhor desempenho em termos de PERS e IPP. A ACP possibilitou identificar grupos de variáveis com maior contribuição à variabilidade fenotípica total. Os dois primeiros CP foram interpretados como indicadores de conformação e de produtividade e rentabilidade do sistema. Características de conformação, de saúde, de qualidade do leite e o intervalo entre o parto e a concepção apresentam maior potencial de seleção. O índice 4 foi o mais eficiente na captura da variância total e é recomendado para seleção de animais mais harmônicos e produtivos.

Termos para indexação: análise exploratória, bovinos leiteiros, componentes principais, testes de desempenho.

Multivariate analysis of milk production, quality, reproductive, and economic traits evaluated in Gir Leiteiro cows undergoing milk production tests on pasture

Abstract – Milk production in Brazil is a cornerstone of the national agribusiness sector. Clarifying the relationships among the variables in the system, using multivariate approaches, is crucial for improving efficiency at dairy production sites. This study evaluated the relationships between productive, reproductive, conformation, health, and economic traits measured in 73 Gir Leiteiro (*Bos taurus indicus*) females, along with genetic information and selection indices obtained from milk production tests, using multivariate analyses. Two principal component analyses (PCA) were conducted: the first included all traits evaluated in the performance tests, and the second focused on selection indices. In both analyses, the first and second principal components (PCs) were associated with body and udder conformation traits, and with economic indicators, milk yield, lactation persistence (PERS), and age at first calving (AFC), respectively. Phenotypic index 4 enabled the identification of more harmonic females, with superior performance in PERS and AFC. The PCA allowed the identification of trait clusters contributing most to total phenotypic variability. The first two PCs were interpreted as indicators of conformation and of productivity and profitability. Traits related to conformation, health, milk quality, and the calving-to-conception interval showed the greatest selection potential. Index 4 captured the largest proportion of total variance and is recommended for selecting more harmonious and productive animals.

Index terms: dairy cattle, exploratory analysis, performance tests, principal components.

Introdução

A produção de leite tem se destacado no agronegócio nacional e mundial, desempenhando papel fundamental no fornecimento de alimentos para a população, na geração de emprego e renda, além de contribuir significativamente para o produto interno bruto (PIB) de diversos países. O Brasil foi o quinto maior produtor de leite em 2024, com cerca de 27,99 bilhões de litros (Estados Unidos, 2025). Além de sua relevância econômica, o leite é um

alimento de alto valor nutricional (San Julián et al., 2025).

Apesar de sua posição de destaque na produção global, o Brasil ainda possui grande potencial para expandir e tornar sua pecuária leiteira mais eficiente. A raça Gir Leiteiro (*Bos taurus indicus*) representa a principal raça zebuína utilizada para a produção de leite nos trópicos e constitui importante fonte genética para sistemas de produção a pasto em ambiente tropical, devido ao seu potencial adaptativo, rusticidade e alta produção (Hortolani et al., 2022). Trata-se, portanto, de uma das raças zebuínas com maior potencial para promover melhorias genéticas em características de importância econômica (Vieira; Mota, 2018).

Os sistemas de produção de bovinos leiteiros são altamente complexos, compostos por múltiplos fatores inter-relacionados, dinâmicos e influenciados por variáveis ambientais (Bang et al., 2022). Para lidar com essa complexidade, a adoção de tecnologias avançadas de escrituração zootécnica e coleta de dados tem se tornado cada vez mais essencial. Essas ferramentas possibilitam o monitoramento detalhado não apenas da produção leiteira, mas também da qualidade do leite, dos índices reprodutivos, da saúde do rebanho e de indicadores econômicos (Defante et al., 2019; Forsbäck et al., 2009; Rezende et al., 2020).

As informações fenotípicas, juntamente com os dados de pedigree e, mais recentemente, os dados genômicos, alimentam programas de avaliação genética, os quais, por sua vez, retroalimentam os criatórios e produtores com valores genéticos e parâmetros de seleção dos animais. No entanto, para que esses dados sejam efetivamente aproveitados no planejamento produtivo e econômico, é essencial realizar uma seleção e análise criteriosa das informações que de fato subsidiam a tomada de decisão. Essa análise deve considerar a inter-relação entre as variáveis e possibilitar uma gestão mais eficiente, fundamentada em evidências.

Considerando que a produção e a composição do leite, assim como o desempenho dos animais, são influenciadas por uma série de fatores, torna-se crucial adotar uma abordagem sistemática para a interpretação do vasto volume de dados disponíveis (Haygert-Velho et al., 2018). Essa abordagem pode ter aplicação prática imediata, permitindo que os produtores tomem decisões mais precisas e fundamentadas, otimizando a eficiência do sistema.

Nesse contexto, as análises multivariadas destacam-se como ferramentas eficazes para simplificar e organizar o grande e diversificado volume de informações disponíveis sobre os rebanhos leiteiros, permitindo a identificação dos fatores mais relevantes. Além disso, essas técnicas têm a capacidade de revelar relações entre variáveis que seriam difíceis de detectar por meio de abordagens univariadas (Bolormaa et al., 2010). Assim, os métodos multivariados, por se basearem nas correlações entre as variáveis e possibilitarem análises simultâneas, oferecem interpretações mais robustas e práticas para lidar com informações inter-relacionadas (Sena et al., 2020; Vasconcelos et al., 2020).

Um exemplo de abordagem estatística multivariada é a técnica de redução de dados, como a análise de componentes principais (ACP), a qual é útil para detalhar a estrutura de associação entre as características avaliadas e extrair variáveis que expliquem a maior parte da variação do conjunto de dados (Macciotta et al., 2004). A ACP também pode ser empregada para construir agrupamentos de animais com características produtivas semelhantes (Mello et al., 2020). Outra aplicação importante da ACP é a redução da redundância das informações em estudos que envolvem grande número de variáveis fenotípicas, genéticas e ambientais, facilitando a interpretação dos dados e a identificação de fatores-chave que influenciam a produtividade, a qualidade do leite e a eficiência reprodutiva (Paiva et al., 2010). Uma vez identificados, os grupos de animais com características desejáveis podem ser selecionados e utilizados em programas de melhoramento genético (Mello et al., 2020), a fim de atender aos objetivos produtivos. Dessa forma, essa abordagem estatística auxilia na tomada de decisão ao permitir a seleção de variáveis mais informativas, otimizando modelos preditivos e estratégias de manejo voltadas para a sustentabilidade e o aumento da eficiência dos sistemas de produção leiteira.

Diante do exposto, objetivou-se, com o presente estudo, avaliar a relação entre características produtivas, reprodutivas, de conformação, de saúde e econômicas mensuradas em fêmeas da raça Gir Leiteiro, bem como informações genéticas e índices de seleção obtidos em provas de produção de leite, utilizando abordagens multivariadas, de forma a permitir a identificação e classificação de fatores potenciais que afetam a eficiência do sistema,

direcionando, assim, a avaliação dos animais e a tomada de decisão.

A utilização de metodologias de análise multivariada permite a identificação de fêmeas zebuínas leiteiras geneticamente superiores quanto à produção de leite a pasto, características reprodutivas, qualidade do leite e atributos econômicos. Essa abordagem fortalece os programas de melhoramento genético das raças zebuínas leiteiras, possibilita a tomada de decisões mais precisas nos processos de seleção e manejo, além de fornecer ferramentas para o aumento da produtividade dos animais e da eficiência dos sistemas, promovendo a produção de leite a baixo custo e com maior valor agregado, especialmente para pequenos e médios produtores.

Como resultado, cria-se um ambiente mais propício ao desenvolvimento rural sustentável, com impacto positivo direto na segurança alimentar das populações mais vulneráveis. Ao estimular a produção de leite com qualidade e menor custo, este trabalho favorece o acesso da população a alimentos seguros, nutritivos e suficientes durante todo o ano, reforçando a segurança alimentar e nutricional.

Dessa forma, os resultados obtidos contribuem diretamente para a segurança alimentar, o aumento da produção de alimentos em sistemas sustentáveis e a geração de renda no meio rural, com foco em ambientes tropicais. Ao apoiar práticas de seleção que valorizam a produtividade de animais com genética adaptada ao clima tropical, este trabalho também contribui para a preservação dos recursos naturais e para a estabilidade dos ecossistemas produtivos frente às mudanças climáticas.

Este trabalho contribui para o cumprimento do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) número 2, que visa garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, dobrar a produtividade agrícola e a renda dos pequenos produtores e assegurar o acesso de todas as pessoas a alimentos seguros, nutritivos e suficientes durante todo o ano. Os 17 ODS foram estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015 e compõem uma agenda mundial para a construção e implementação de políticas públicas que visam orientar a humanidade até 2030. Essas ações contam com o apoio da Embrapa para que sejam alcançadas (Braga et al., 2022).

Material e métodos

Foram utilizados dados de 73 fêmeas bovinas da raça Gir que participaram de cinco edições da Prova Brasileira de Produção de Leite a Pasto do Zebu Leiteiro, realizadas pelo Centro de Tecnologia para Raças Zebuínas Leiteiras (CTZL) da Embrapa Cerrados, no período de 2015 a 2020. As diretrizes para a realização das provas, bem como informações sobre manejo, avaliações fenotípicas de desempenho, reprodução, sanidade e conformação, estão detalhadas em Martins et al. (2016; 2018; 2020; 2021; 2023). O controle leiteiro foi efetuado mensalmente, seguindo as normas do Programa de Melhoramento Genético de Zebuínos (PMGZ Leite), da Associação Brasileira de Criadores de Zebu (ABCZ) (Associação dos Criadores de Zebu, 2019).

Foram avaliadas as seguintes características lineares: produção de leite em 305 dias (PL305, kg/lactação), idade ao primeiro parto (IPP, meses), intervalo entre o parto e a concepção (IEPC, dias), teor de gordura (GORD, %), teor de proteína (PROT, %), teor de lactose (LAC, %), teor de sólidos totais (SOL, %) e persistência de lactação (PERS, %). Também foram avaliadas as seguintes características categóricas: escore da contagem de células somáticas (ECCS), aparência geral (AG), forma do úbere (FU), volume do úbere (VU), tetos (TE), total do úbere (TU), garupa (GAR), tórax (TX), aprumos (AP), aspectos raciais (AR) e total da conformação (TC). Como indicadores econômicos, foram considerados a receita pela produção de leite somada à bonificação por qualidade (RB, R\$) e o preço por litro (PPL, R\$). Para todas as edições das provas, foram utilizados valores de comercialização e bonificação ajustados para junho de 2021, praticados na região do Distrito Federal. Também foram utilizadas informações da habilidade mais provável de transmissão (PTA) para produção de leite (PTAPL), gordura (PTAGORD) e proteína (PTAPROT), fornecidas pela Associação Brasileira de Criadores de Gir Leiteiro e pela Embrapa Gado de Leite.

Ao final das provas, as fêmeas foram classificadas com base em índices fenotípicos, os quais variaram entre as edições (Martins et al., 2023). Contudo, após validação (Martins et al., 2023), adotou-se o índice 4 (Tabela 1).

Foi realizada análise de controle de qualidade dos dados fenotípicos, com o objetivo de excluir possíveis discrepâncias resultantes de inconsistências

na coleta ou no registro das informações. Para isso, foram removidos os registros que excediam 3,5 desvios-padrão acima ou abaixo da média de cada característica dentro de cada prova. O uso de 3,5 desvios-padrão como critério para controle de qualidade e detecção de dados discrepantes é prática comum em análises estatísticas, pois esse intervalo abrange 99,95% dos dados, reduzindo a probabilidade de falsos positivos sem comprometer a capacidade de identificar desvios reais.

Tabela 1. Composição dos índices finais de classificação utilizados nas edições da Prova Brasileira de Produção de Leite a Pasto do Zebu Leiteiro no Centro de Tecnologia para raças Zebuínas leiteiras (CTZL).

Índice	Composição ⁽¹⁾
Índice 1	$(PL305*0,40) + (0,15*IEPC) + (0,05*GORD) + (0,05*ECCS) + (0,10*PROT) + (0,10*TC) + (0,15*PERS)$
Índice 2	$(PL305*0,40) + (0,15*IEPC) + (0,05*GORD) + (0,05*ECCS) + (0,10*PROT) + (0,10*TC) + (0,15*PERS)$
Índice 3	$(PL305*0,40) + (0,15*IEPC) + (0,05*IPP) + (0,05*GORD) + (0,05*ECCS) + (0,05*PROT) + (0,10*TC) + (0,15*PERS)$
Índice 4	$(PL305*0,35) + (0,15*IEPC) + (0,10*IPP) + (0,05*GORD) + (0,05*ECCS) + (0,05*PROT) + (0,10*TC) + (0,15*PERS)$

⁽¹⁾ PL305: produção de leite corrigida para 305 dias; IPP: idade ao primeiro parto; IEPC: intervalo entre o parto e a concepção; GORD: teor de gordura; PROT: teor de proteína; ECCS: escore para contagem de células somáticas; PERS: persistência; TC: escore total para conformação.

A estatística descritiva, que inclui o número de animais avaliados, bem como os valores médio, mínimo e máximo, desvio-padrão e coeficiente de variação, está apresentada na Tabela 2.

Foram realizadas duas análises de componentes principais (ACP). A primeira ACP incluiu todas as características avaliadas durante a prova de produção de leite a pasto, além dos indicadores econômicos, com o objetivo de identificar quais variáveis explicavam a maior variabilidade dos dados e, assim, quais deveriam ser mantidas no índice final para a classificação das matrizes. A segunda ACP foi conduzida considerando também os índices calculados com base nas quatro equações (Tabela 2), visando verificar quais variáveis explicavam a maior variabilidade dos dados e como estavam agrupadas entre si, com os indicadores econômicos e com os índices de classificação.

Tabela 2. Estatística descritiva para características produtivas, reprodutivas, funcionais e de qualidade do leite de animais participantes da Prova Brasileira de Produção de Leite a Pasto do Zebu Leiteiro no Centro de Tecnologia para raças Zebuínas leiteiras (CTZL).

Característica ⁽¹⁾	Número de observações	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	DP ⁽²⁾	CV ⁽³⁾ (%)
PL305 (kg/lactação)	73	610,00	4.233,40	2.537,05	2.465,53	792,11	32,13
IPP (meses)	75	26,43	69,57	40,03	41,95	8,98	21,42
IEPC (dias)	70	43,00	305,00	122,00	139,89	66,84	47,78
GORD (%)	72	2,57	5,69	4,25	4,20	0,61	14,60
PROT (%)	71	3,12	4,05	3,58	3,59	0,21	5,97
LAC (%)	59	3,42	4,89	4,65	4,58	0,26	5,73
SOL (%)	59	11,47	15,24	13,43	13,48	0,65	4,81
ECCS	71	2,00	7,00	4,00	4,51	1,23	27,27
PERS (%)	73	12,50	100,26	76,14	70,80	21,73	30,69
AG	72	10,00	20,00	15,50	14,99	2,55	17,00
FU	72	3,00	10,00	6,00	6,21	1,50	24,17
VU	72	3,00	10,00	6,00	6,10	1,64	26,85
TE	72	3,00	10,00	6,00	6,57	1,51	22,97
TU	72	9,00	28,00	18,50	18,88	3,90	20,66
GAR	72	6,00	15,00	12,00	11,44	2,14	18,72
TX	72	6,00	15,00	12,00	11,49	2,11	18,37
AP	72	4,00	10,00	7,00	7,14	0,98	13,77
AR	72	4,00	10,00	8,00	7,83	1,49	19,04
TC	72	54,00	93,00	73,00	71,76	8,33	11,61

⁽¹⁾ PL305: produção de leite corrigida para 305 dias; IPP: idade ao primeiro parto; IEPC: intervalo entre o parto e a concepção; GORD: teor de gordura; PROT: teor de proteína; LAC: teor de lactose; SOL: teor de sólidos totais; ECCS: escore para contagem de células somáticas; PERS: persistência; AG: aparência geral; FU: forma do úbere; VU: volume do úbere; TE: tetos; TU: escore total para o úbere; GAR: garupa; TX: tórax; AP: aprumos; AR: aspectos raciais; TC: escore total para conformação.

⁽²⁾ DP: desvio-padrão.

⁽³⁾ CV: coeficiente de variação.

Para a realização da ACP, as características foram inicialmente ajustadas por meio de modelo linear misto, considerando o efeito da prova/grupo de avaliação como efeito fixo e a idade como covariável linear, com o intuito de corrigir os efeitos ambientais. Esses efeitos foram identificados por meio de análise de variância. Conforme Morrison (1976), como os coeficientes dos componentes principais são influenciados pela escala das variáveis, recomenda-se utilizar variáveis padronizadas com variância igual a um. Dessa forma, padronizaram-se as

variáveis originais para uma distribuição normal com média zero e variância igual a um, colocando-as na mesma escala. Essa padronização foi realizada com a função *scale* do programa R, evitando que variáveis com valores numéricos maiores fossem indevidamente interpretadas como mais significativas. Em seguida, os dados foram analisados com os pacotes Factoextra e FactoMineR, do programa R (2024). Todas as análises estatísticas aqui mencionadas foram realizadas no programa R (2024).

Resultados e discussão

Os autovalores, a variância explicada pelos componentes principais (VCP) e a variância acumulada (VCPA) por componente, considerando todas as variáveis coletadas nas provas de produção de leite a pasto e os indicadores econômicos, estão apresentados na Tabela 3.

Dos 21 componentes principais (CP) obtidos, observou-se que os cinco primeiros explicaram 75,45% da variação total dos dados, sendo esses componentes associados aos maiores autovalores e, portanto, retendo a maior parte da variância e sendo os mais relevantes para interpretação. Conforme destacado por Regazzi (2002), componentes que acumulam mais de 70% da variância total são

ideais para determinar aqueles com maior influência sobre a variabilidade dos dados. Esse resultado evidencia a eficácia da ACP na redução da complexidade do conjunto de variáveis (Santos et al., 2019), destacando aquelas responsáveis pela variabilidade no desempenho de fêmeas da raça Gir avaliadas em provas de leite a pasto.

Tabela 3. Componentes principais, autovalores, porcentagem da variância explicada pelos componentes e porcentagem da variância explicada acumulada das características avaliadas⁽¹⁾ na prova Brasileira de Produção de Leite a Pasto do Zebu Leiteiro no Centro de Tecnologia para raças Zebuínas leiteiras.

CP ⁽²⁾	Autovalor	VCP ⁽³⁾ (%)	VCPA ⁽⁴⁾ (%)
1	5,44	25,89	25,89
2	4,03	19,19	45,07
3	2,83	13,48	58,55
4	2,17	10,34	68,90
5	1,38	6,56	75,45
6	1,26	5,99	81,44
7	0,98	4,65	86,09
8	0,81	3,87	89,96
9	0,55	2,64	92,60
10	0,51	2,41	95,01
11	0,31	1,49	96,50
12	0,22	1,06	97,56
13	0,18	0,87	98,43
14	0,12	0,57	99,00
15	0,10	0,46	99,46
16	0,06	0,26	99,72
17	0,04	0,18	99,91
18	0,02	0,09	99,99
19	0,01 ⁻²	0,01	100,00
20	0,01 ⁻⁷	0,00	100,00
21	0,08 ⁻⁹	0,00	100,00

⁽¹⁾ Foram consideradas as seguintes variáveis: produção de leite corrigida para 305 dias (PL305), idade ao primeiro parto (IPP), intervalo entre parto e concepção (IEPC), teor de gordura (GORD), teor de proteína (PROT), teor de lactose (LAC), teor de sólidos totais (SOL), persistência (PERS), escore para contagem de células somáticas (ECCS), aparência geral (AG), forma do úbere (FU), volume do úbere (VU), tetos (TE), escore total para úbere (TU), garupa (GAR), tórax (TX), aprumos (AP), aspectos raciais (AR), escore para conformação (TC), receita com bonificação (RB) e preço por litro (PPL). ⁽²⁾ CP: Componentes principais.

⁽³⁾ VCP: porcentagem da variância explicada pelos componentes.

⁽⁴⁾ VCPA: porcentagem da variância explicada acumulada.

Ao reter apenas os primeiros componentes, é possível reduzir a dimensionalidade dos dados sem perda substancial de informação (Santos et al., 2019). A ACP viabiliza essa redução ao transformar um grande conjunto de variáveis em um número menor de componentes linearmente independentes, representando uma proporção significativa da covariância total (Santos et al., 2019). Dessa forma, a técnica permite revelar padrões que não seriam evidentes em análises univariadas ou bivariadas (Ribeiro et al., 2018).

Nesta primeira ACP, as variáveis que mais explicaram a variância foram: TX, TU, VU, TE, AP, IEPC, ECCS, GORD, SOL, GAR, AG e TC. Esses componentes podem ser utilizados em análises subsequentes, como agrupamentos ou regressões, simplificando a interpretação das variáveis originais ou de grandes conjuntos de dados. Além disso, os resultados podem ser aplicados para definir critérios de seleção direcionados às características mais relacionadas à variabilidade dos animais.

Avaliando a formação de grupos produtivos de fêmeas Girolando (*Bos taurus indicus*), por meio de análises de componentes principais, Santos et al. (2010) selecionaram três componentes que explicaram 82,84% da variância dos dados de oito características. Ao avaliarem o IPP, o intervalo de parto, a eficiência reprodutiva, a produção de leite e o período de lactação em fêmeas da raça Sindi (*Bos taurus indicus*), também por meio da ACP, Mello et al. (2020) identificaram três componentes responsáveis por 90,79% da variância dos dados. Esses resultados demonstram que o número de componentes principais selecionados, de acordo com a proporção da variância explicada, depende do número de características avaliadas. Esse fato justifica o maior número de componentes necessários para explicar uma proporção significativa da variância neste estudo, em comparação aos apresentados na literatura.

Além disso, a base de dados utilizada no presente estudo inclui animais oriundos de diferentes criatórios, submetidos a distintos processos de seleção antes da entrada na prova de produção de leite, o que resultou em maior heterogeneidade entre os animais e, conseqüentemente, entre as características avaliadas. Ainda assim, a análise de componentes principais mostrou-se uma estratégia eficaz para a discriminação de características, indicando as mais e menos relevantes, além daquelas passíveis de descarte em programas de melhoramento, especialmente quando se trabalha com um grande número

de variáveis. Isso porque variáveis altamente correlacionadas com componentes de menor variância também representam uma variância quase nula (Silva et al., 2020).

Os resultados das análises de componentes principais, apresentados por meio de um gráfico de projeção considerando todas as variáveis coletadas nas provas de produção de leite a pasto e os indicadores econômicos (Figura 1), mostram a contribuição das variáveis nos dois primeiros componentes principais (Dim1 e Dim2). Esse gráfico permite avaliar o comportamento de cada variável de acordo com as correlações inerentes à distribuição dos componentes, com base no ângulo formado entre os vetores. O comprimento das setas (vetores) indica o quanto cada variável contribui para a variação explicada pelos CP, sendo que vetores mais longos representam maior influência na separação dos componentes (Cosma, 2024). As cores, por sua vez, refletem a contribuição relativa das variáveis.

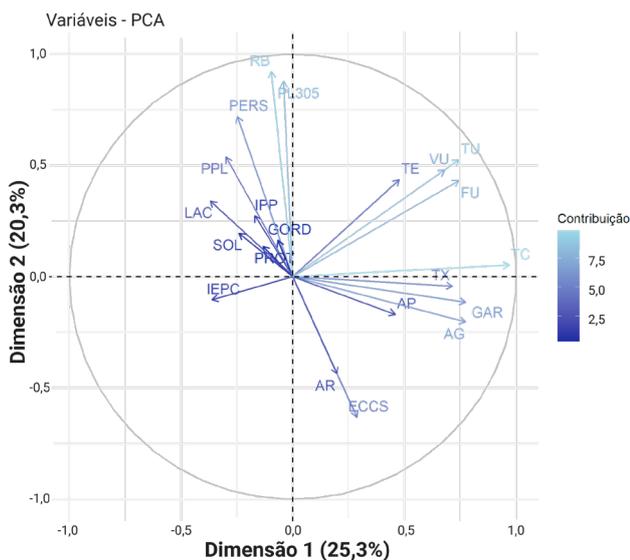


Figura 1. Projeção do escore para produção de leite corrigida para 305 dias (PL305), idade ao primeiro parto (IPP), intervalo entre parto e concepção (IEPC), teor de gordura (GORD), teor de proteína (PROT), teor de lactose (LAC), teor de sólidos totais (SOL), persistência (PERS), escore para contagem de células somáticas (ECCS), aparência geral (AG), forma do úbere (FU), volume do úbere (VU), tetos (TE), escore total para úbere (TU), garupa (GAR), tórax (TX), aprumos (AP), aspectos raciais (AR), escore para conformação (TC), receita com bonificação (RB) e preço por litro (PPL) avaliados na Prova Brasileira de Produção de Leite a Pasto do Zebu Leiteiro no Centro de Tecnologia para raças Zebuínas leiteiras (CTZL) nos dois primeiros componentes principais (Dim1 e Dim2, respectivamente).

Adicionalmente, quando o ângulo entre os vetores que representam as variáveis é próximo de zero, a correlação entre elas é altamente positiva, e os pontos estarão mais próximos. Por outro lado,

se o ângulo for próximo de 180° , a correlação será alta e negativa, resultando em maior separação entre os pontos. Já quando o ângulo estiver em torno de 90° , a correlação entre as variáveis será fraca ou inexistente (Bodenmüller Filho et al., 2010). Dessa forma, o gráfico de projeção não apenas resume a estrutura de correlação dos dados, como também facilita a identificação de grupos de variáveis associadas, reforçando a utilidade da ACP na interpretação de relações complexas em conjuntos de dados multivariados.

No presente estudo, o primeiro componente (Dim1) representou 25,3% da variância total e incluiu as variáveis com maiores coeficientes de ponderação e contribuições, representadas (positivamente, lado direito do eixo) pelos escores TU, VU, TX, TE, GAR e AG; e (negativamente, lado esquerdo do eixo) por IEPC, SOL e LAC. O segundo componente (Dim2) explicou 20,3% da variação e incluiu RB, PL305, PERS, PPL e IPP, sendo essas as variáveis mais importantes na explicação da variação ao longo desse eixo. O primeiro e o segundo componentes podem ser definidos, respectivamente, como índices que determinam a conformação e aspectos morfológicos (CP1) e a produtividade e rentabilidade do sistema (CP2). Esses agrupamentos indicam que o desempenho produtivo está intimamente ligado tanto à qualidade morfológica quanto à eficiência reprodutiva e produtiva dos animais.

A maior variabilidade das características de escores visuais pode ser atribuída à influência genética, além da baixa padronização das vacas Gir de aptidão leiteira quanto a características de conformação e aspectos raciais.

A ACP também pode ser empregada para identificar e elucidar padrões de associação entre as variáveis, sendo consideradas associadas aquelas que apresentarem vetores semelhantes e orientados na mesma direção. A associação entre os escores AG, GAR, TX, AP e TC foi observada no quadrante inferior direito. Esse comportamento era previsível, pois a conformação da garupa, do tórax e a aparência geral influenciam diretamente a pontuação total de conformação, estabelecendo uma correlação fenotípica entre essas variáveis (Martins et al., 2023). Além disso, a aparência geral e a conformação de uma matriz bovina são influenciadas diretamente por sua estrutura corporal e equilíbrio morfológico, os quais incluem a conformação da garupa e do tórax.

As características PL305, PERS e os indicadores econômicos (RB e PPL) se agruparam no quadrante superior esquerdo, indicando correlação entre si. Esses resultados demonstram que uma maior produção de leite está associada a maior bonificação financeira e ao preço do litro praticado no sistema. A relação entre PL305 e PERS também era esperada, pois um período de lactação mais longo possibilita maior produção total de leite. A proximidade entre

PL305, PERS e os indicadores econômicos (RB e PPL) sugere que animais mais persistentes também geram maiores receitas, o que reforça a importância de incluir PERS como critério de seleção.

Avaliando bovinos Sindi (*Bos taurus indicus*) com aptidão leiteira, Mello et al. (2020) relataram alta correlação entre produção de leite e período de lactação (0,69), o que respalda a associação observada no presente estudo. De fato, utilizando a mesma base de dados aqui empregada, Martins et al. (2023) relataram correlações de 0,83 e 0,49 entre PL305 com RB e PERS, respectivamente, e de 0,71 entre RB e PERS. Contudo, as associações entre PL305 e PERS com PPL, relatadas pelos autores, foram baixas. Isso pode indicar que inter-relações mais expressivas podem ser capturadas por meio de análises multivariadas do que por correlações bivariadas.

Características relacionadas à composição do leite, como LAC, SOL, GORD e PROT, apresentaram proximidade, indicando possível correlação entre elas. Uma forte associação vetorial entre sólidos totais, proteínas e gordura também foi relatada para novilhas da raça Holandesa, por meio de análise de componentes principais (Abreu et al., 2020).

A direção oposta de IEPC e ECCS em relação às demais variáveis produtivas sugere correlação negativa entre elas. Correlação negativa entre ECCS e produção de leite (-0,08) foi relatada por Abreu et al. (2020), o que indica que a produção de leite pode ser reduzida com o aumento do escore de células somáticas, corroborando os achados do presente estudo. O aumento na contagem de células somáticas decorre de processos inflamatórios nas glândulas mamárias, os quais levam à redução na produção de leite (Cinar et al., 2015). Assim, animais com menor IEPC e ECCS tendem a apresentar melhor desempenho produtivo, o que é desejável e favorável ao sistema. Fêmeas com maior duração da lactação e menor intervalo entre partos apresentam maior duração do período produtivo, menor período ocioso e, conseqüentemente, maior produção de leite, resultando em maior receita para o sistema e contribuindo para a eficiência produtiva.

Para fins de comparação e identificação das relações entre as diferentes equações utilizadas como índice fenotípico nas provas de produção de leite a pasto, realizou-se uma segunda análise de componentes principais (ACP), considerando também os índices e as PTAs para produção de leite, gordura e proteína. Mesmo com a inclusão dessas variáveis, os cinco primeiros componentes principais foram suficientes para explicar 74,45% da variabilidade dos dados, confirmando a viabilidade do uso desse tipo de análise para reduzir a dimensionalidade dos dados (Tabela 4). Assim, é possível descartar variáveis com baixa contribuição para a discriminação dos dados (Mello et al., 2020).

Tabela 4. Componentes principais, autovalores, porcentagem da variância explicada pelos componentes e porcentagem da variância explicada acumulada das características avaliadas⁽¹⁾ na prova Brasileira de Produção de Leite a Pasto do Zebu Leiteiro no Centro de Tecnologia para Raças Zebuínas leiteiras.

CP ⁽²⁾	Autovalor	VCP ⁽³⁾ (%)	VCPA ⁽⁴⁾ (%)
1	7,83	27,96	27,96
2	5,22	18,65	46,61
3	3,07	10,95	57,55
4	3,03	10,82	68,37
5	1,70	6,08	74,46
6	1,32	4,71	79,17
7	1,23	4,40	83,57
8	1,00	3,56	87,13
9	0,93	3,33	90,46
10	0,60	2,14	92,61
11	0,58	2,08	94,69
12	0,37	1,33	96,01
13	0,25	0,88	96,89
14	0,20	0,72	97,61
15	0,17	0,60	98,21
16	0,13	0,46	98,67
17	0,12	0,43	99,11
18	0,09	0,33	99,44
19	0,07	0,26	99,70
20	0,04	0,13	99,83
21	0,02	0,08	99,91
22	0,02	0,06	99,97
23	0,01	0,02	100,00

⁽¹⁾ Foram consideradas as seguintes variáveis: produção de leite corrigida para 305 dias (PL305), idade ao primeiro parto (IPP), intervalo entre parto e concepção (IEPC), teor de gordura (GORD), teor de proteína (PROT), teor de lactose (LAC), teor de sólidos totais (SOL), persistência (PERS), escore para contagem de células somáticas (ECCS), aparência geral (AG), forma do úbere (FU), volume do úbere (VU), tetos (TE), escore total para úbere (TU), garupa (GAR), tórax (TX), aprumos (AP), aspectos raciais (AR), escore para conformação (TC), receita com bonificação (RB) e preço por litro (PPL), Índices 1 (INDICE1), 2 (INDICE2), 3 (INDICE3), 4 (INDICE4), além, de habilidade mais provável de produção para produção de leite (PTAPL), gordura (PTAGORD) e proteína (PTAPROT).

⁽²⁾ CP: Componentes principais.

⁽³⁾ VCP: porcentagem da variância explicada pelos componentes.

⁽⁴⁾ VCPA: porcentagem da variância explicada acumulada.

Com base nos resultados da segunda ACP (Tabela 4 e Figura 2), as principais variáveis que explicam a variabilidade dos dados foram AP, AG, GAR, TX e TC (Dim1), e IEPC, ECCS, GORD, SOL e PROT (Dim2), comportamento similar ao da primeira ACP (Figura 1), além dos Índices 2, 3 e 4. Por outro lado, variáveis como PPL, LAC e IPP

apresentaram menor variabilidade entre as matrizes avaliadas. Dessa forma, as fêmeas podem ser selecionadas com base nos escores numéricos gerados pelo CP1, visando à melhoria da conformação corporal, ou pelo CP2, com foco na melhoria da eficiência reprodutiva, da saúde e da qualidade do leite. Conforme mencionado, essa abordagem permite reduzir o número de variáveis analisadas, simplificando a avaliação sem perda de informação. Além disso, demonstra que o desempenho para características de conformação, saúde, qualidade do leite e IEPC apresenta maior potencial de seleção, em função da maior variabilidade.

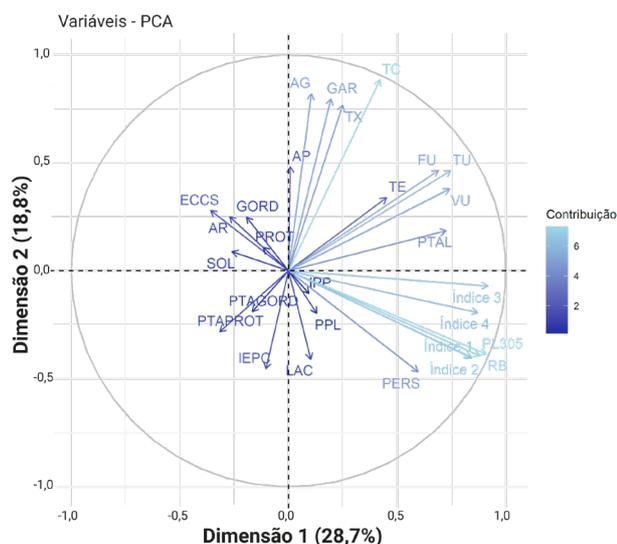


Figura 2. Projeção do escore para produção de leite corrigida para 305 dias (PL305), idade ao primeiro parto (IPP), intervalo entre parto e concepção (IEPC), teor de gordura (GORD), teor de proteína (PROT), teor de lactose (LAC), teor de sólidos totais (SOL), persistência (PERS), escore para contagem de células somáticas (ECCS), aparência geral (AG), forma do úbere (FU), volume do úbere (VU), tetos (TE), escore total para úbere (TU), garupa (GAR), tórax (TX), aprumos (AP), aspectos raciais (AR), escore para conformação (TC), receita com bonificação (RB), preço por litro (PPL), Índices 1, 2, 3 e 4 e habilidade mais provável de produção para produção de leite (PTAPL), gordura (PTAGORD) e proteína (PTAPROT) avaliados na Prova Brasileira de Produção de Leite a Pasto do Zebu Leiteiro no Centro de Tecnologia para raças Zebuínas leiteiras (CTZL) nos dois primeiros componentes principais (Dim1 e Dim2, respectivamente).

Assim como na primeira ACP (Figura 1), os escores de características relacionadas ao úbere (FU, TU, VU e, em menor magnitude, TE) apresentaram alta correlação (Figura 2). Pelo método de avaliação, o total do úbere reflete a qualidade geral da estrutura do úbere, incluindo forma e volume do úbere e inserção dos tetos (Martins et al., 2023). Esse resultado demonstra que a avaliação e seleção do escore para total do úbere, por exemplo, pode

resultar em melhorias nas demais variáveis relacionadas. Estratégia similar pode ser aplicada a TC, com efeitos sobre AG, GAR e TX, ou a PL305, com reflexo na receita do sistema, conforme observado nas duas ACPs.

É importante ressaltar a proximidade entre variáveis relacionadas à composição do leite, como SOL, GORD e PROT, com ECCS e PPL, na segunda ACP (Figura 2). Esses resultados refletem a correlação entre essas características (Martins et al., 2023) e também a associação do conteúdo de sólidos totais com o preço pago pelo litro de leite em mercados que bonificam pela qualidade, como ocorreu no sistema avaliado no presente estudo. Os sistemas de pagamento baseados em qualidade priorizam, como indicadores, altos níveis de gordura e proteína e baixo ECCS, o que justifica também a relação dos sólidos com o PPL. A composição do leite está diretamente relacionada à qualidade para a indústria, pois, quanto maior o teor de sólidos, maior o rendimento dos derivados lácteos (Abreu et al., 2020).

Ainda que os índices 1 e 2 tenham apresentado maior associação com PL305, o mapa fatorial demonstra que os índices 3 e 4 são capazes de capturar uma maior parte da variância ou de se associar a um número mais amplo de variáveis analisadas e de interesse para a obtenção de animais mais equilibrados quanto aos objetivos produtivos. Assim, mostraram-se mais eficientes na identificação de matrizes mais harmônicas, sem perder a associação com PL305 e RB. Utilizando análise de sensibilidade, Martins et al. (2023) relataram que a variação na ponderação e nas características que compõem os índices de seleção fenotípicos pode resultar em mudanças na classificação dos animais. Além disso, os autores relataram que, apesar de o índice 4 apresentar menor ponderação para a produção de leite, essa equação foi a mais equilibrada, ou a menos influenciada de maneira extrema por alguma das variáveis que a compõem, com resposta mais eficaz em termos de persistência de lactação e idade ao primeiro parto, em comparação às demais equações – o que corrobora os resultados obtidos no presente estudo. A associação antagonica entre algumas características de interesse nos sistemas de produção de leite dificulta a definição de estratégias de seleção (Santos et al., 2019; Silva et al., 2020). Assim, índices harmônicos, como o da equação 4, podem representar uma abordagem mais eficiente para a seleção equilibrada dos melhores indivíduos.

A ACP demonstrou ser uma ferramenta eficaz para reduzir a complexidade e a dimensionalidade dos dados, agrupando variáveis correlacionadas

em componentes que facilitam a interpretação do desempenho produtivo e reprodutivo do rebanho e a avaliação dos animais. Esses resultados facilitam a seleção de animais superiores, permitindo a identificação de características-chave para o desempenho produtivo e reprodutivo. Além disso, possibilitam a construção de índices de seleção mais eficientes, a otimização da coleta de dados – com foco apenas nas variáveis mais relevantes – e a tomada de decisões mais precisas e fundamentadas em programas de melhoramento genético e manejo reprodutivo. Os resultados indicam que características de conformação, saúde, qualidade do leite e intervalo entre partos (IEPC) apresentam maior variabilidade e, portanto, maior potencial de resposta à seleção. No presente estudo, os padrões de associação e oposição entre as variáveis evidenciaram a capacidade da ACP em revelar relações complexas, oferecendo subsídios diretos para a tomada de decisão na seleção de animais. A associação positiva entre características produtivas e econômicas aponta para a viabilidade de construção de índices de seleção mais eficientes, enquanto a identificação de correlações negativas – como observado para IEPC e ECCS – permite a seleção de animais mais produtivos sem comprometer a saúde reprodutiva. Assim, a ACP se mostra uma estratégia prática para direcionar programas de melhoramento genético, otimizando a escolha de variáveis-chave e aumentando a eficiência dos processos seletivos.

Conclusões

1. A análise de componentes principais permitiu identificar grupos de variáveis com maior influência sobre a variabilidade fenotípica de novilhas Gir Leiteiro, reduzindo a dimensionalidade dos dados sem perda de informações. As características TX, TU, VU, TE, AP, IEPC, ECCS, GORD, SOL, GAR, AG e TC foram as que mais influenciaram a variabilidade dos dados, destacando-se como critérios mais relevantes na seleção de matrizes leiteiras, retendo 75,45% da variação total. Com a inclusão dos índices fenotípicos, as características de maior influência sobre a variabilidade dos dados foram AP, AG, GAR, TX, TC, IEPC, ECCS, GOR, SOL, PROT, além dos índices 2, 3 e 4, retendo 74,45% da variação total. Com ou sem a inclusão dos índices fenotípicos e variáveis genéticas, o primeiro e o segundo componente puderam ser caracterizados como indicadores que determinam a conformação e os aspectos morfológicos e, também, a produtividade e a rentabilidade do sistema, respectivamente.
2. Foram identificadas associações positivas entre escores de conformação (AG, GAR, TX e TC), características de úbere (FU, TU, VU e TE), produção e indicadores econômicos (PL305, PERS, RB e PPL) e composição do leite (SOL, GORD e PROT). Em contraste, IEPC e ECCS apresentaram correlações negativas com as principais variáveis produtivas.
3. Os índices 3 e 4 foram capazes de capturar uma maior parte da variância total, estando associados a um maior número de variáveis analisadas, sendo indicados para uso com vistas à seleção de animais equilibrados quanto aos objetivos produtivos. Dessa forma, esses índices se mostram promissores para a seleção de indivíduos mais harmônicos, permitindo uma abordagem mais estratégica e eficiente para atingir os objetivos produtivos do sistema.

Referências

- ASSOCIAÇÃO DOS CRIADORES DE ZEBU. **Regulamento do controle leiteiro**. Uberaba, 2019. Disponível em: https://www.abcz.org.br/common/uploads/controle_leiteiro/3239.pdf. Acesso em: 12 mar. 2025.
- ABREU, B. da S.; BARBOSA, S. B. P.; SILVA, E. C. da; SANTORO, K. R.; BATISTA, A. M. V.; MARTINEZ, R. L. V. Análise de agrupamento e componentes principais para avaliar características de produção e qualidade do leite. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, n. 3, e20196977, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200060>
- BANG, N. N.; CHANH, N. V.; TRACH, N. X.; KHANG, D. N.; HAYES, B. J.; GAUGHAN, J. B.; LYONS, R. E.; MCNEILL, D. M. Multivariate analysis identifying the main factors associated with cow productivity and welfare in tropical smallholder dairy farms in Vietnam. **Tropical Animal and Health Production**, v. 54, n. 313, p.1-17, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-022-03303-7>
- BRAGA, M.; DAMASO, M. C. T.; SANTOS, A. C. dos. **A experiência da Embrapa Agroenergia com métodos prospectivos para inteligência estratégica: estudo de caso da plataforma industrial de açúcares C5 e C6**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2022. (Embrapa Agroenergia. Documentos, 44). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1142727/1/DOC44.pdf>. Acesso em: 11 set. 2025.
- BODENMÜLLER FILHO, A.; DAMASCENO, J. C.; PREVIDELLI, I. T. S.; SANTANA, R. G.; RAMOS, C. E. C. de O.; SANTOS, G. T. dos. Tipologia de sistemas de produção baseadas nas características de leite. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 8, p. 1832-1839, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-3598201000800028>

- BOLORMAA, S.; PRYCE, J. E.; HAYES, B. J.; GODDARD, M. E. Multivariate analysis of a genome-wide association study in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 93, p. 3818–3833, 2010. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2980>
- CINAR, M.; SERBESTER, U.; CEYHAN, A.; GORGULU, M. Effect of somatic cell count on milk yield and composition of first and second lactation dairy cows. **Italian Journal of Animal Science**, v. 14, n. 1, p. 105-108, 2015. DOI: <https://doi.org/10.4081/ijas.2015.3646>
- COSMA, S. **Principal component analysis** - the lecture at Carnegie Mellon University. 2024. Disponível em: <https://www.stat.cmu.edu/~cshalizi/uADA/12/lectures/ch18.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2025.
- DEFANTE, L.; DAMASCENO, J. C.; BÁNKUTI, F. I.; RAMOS, C. E. C. de O. Typology of dairy production systems that meet Brazilian standards for milk quality. **Revista Brasileira Zootecnia**, v. 48, p e20180023, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/rbz4820180023>
- ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. **Production**: fluid milk. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/production/commodity/0223000>. Acesso em: 12 mar. 2025.
- FORSBÄCK, L.; LINDMARK-MÅNSSON, H.; ANDRÉN, A.; ÅKERSTEDT, M.; SVENNERSTEN-SJAUNJA, K. Udder quarter milk composition at different levels of somatic cell count in cow composite milk. **Animal**, v. 3, n. 5, p. 710-717, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1017/s1751731109004042>
- HAYGERT-VELHO, I. M. P.; CONCEIÇÃO, G. M. da; COSMAN, L. C.; ALESSIO, D. R. M.; BUSANELLO, M.; SIPPERT, M. R.; BAMIANI, C.; ALMEIDA, A. P. A.; VELHO, J. P. Multivariate analysis relating milk production, milk composition, and seasons of the year. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 4, p. 3839–3852, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820180345>
- HORTOLANI, B.; BERNARDES, P. A.; FILHO, A. E. V.; PANETTO, J. C. do C.; EL FARO, L. Genetic parameters for body weight and milk production of dairy Gyr herds. **Tropical Animal and Health Production**, v. 54, n. 1, p. 84, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-022-03088-9>
- MACCIOTTA, N. P. P.; VICARIO, D.; DIMAURO, C.; CAPPIO-BORLINO, A. A multivariate approach to modelling shapes of individual lactation curves in cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 87, p. 1092-1098, 2004. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73255-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73255-5)
- MARTINS, C. F.; FERREIRA, I. C.; TOLEDO, M. R. de; MACHADO, C. H. C.; FONSECA NETO, A. M. da; BALBINO, L. C.; GODOY, S. D.; PACHECO, G. R.; CUMPA, H. C. B. **Primeira prova brasileira de produção de leite a pasto do Zebu leiteiro no Centro de Tecnologias para Raças Zebuínas Leiteiras (CTZL) da Embrapa Cerrados**: caderno de resultados para novilhas da raça Gir Leiteiro. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2016. 41 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 336). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1068161/1/Doc336.pdf>. Acesso em: 11 set. 2025.
- MARTINS, C. F.; FERREIRA, I. C.; FONSECA NETO, A. M. da; TOLEDO, M. R. de; OJEDA, D. B.; GODOY, S. D.; PACHECO, G. R.; CUMPA, H. C. B.; BORGES, J. R. J.; BALBINO, L. C. **Segunda prova brasileira de produção de leite a pasto do zebu leiteiro no Centro de Tecnologias para Raças Zebuínas Leiteiras da Embrapa Cerrados**: caderno de resultados para vacas e novilhas da raça Gir Leiteiro e para novilhas Sindi. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2018. 55 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 345). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1088893/1/Doc345CarlosFredericoFINAL.pdf>. Acesso em: 11 set. 2025.
- MARTINS, C. F.; FERREIRA, I. C.; FONSECA NETO, A. M. da; TOLEDO, M. R. de; MIZIARA, F.; BALBINO, L. C.; GODOY, S. D. **Quarta prova brasileira de produção de leite a pasto do zebu leiteiro no Centro de Tecnologias para Raças Zebuínas Leiteiras da Embrapa Cerrados**: caderno de resultados para novilhas da raça Gir Leiteiro. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2020. 39 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 358). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1124351/1/Doc-358.pdf>. Acesso em: 11 set. 2025.
- MARTINS, C. F.; FERREIRA, I. C.; FONSECA NETO, A. M. da; GODOY, S. D.; TOLEDO, M. R. de; MIZIARA, F.; REIS, N. S. **Quinta prova brasileira de produção de leite a pasto do zebu leiteiro no Centro de Tecnologia para Raças Zebuínas Leiteiras da Embrapa Cerrados**: caderno de resultados para novilhas da raça Gir Leiteiro. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2021. 28 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 380). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1140541/1/Doc-380.pdf>. Acesso em: 11 set. 2025.
- MARTINS, C. F.; BRUNES, L. C.; PEREIRA, M. A.; TOLEDO, M. R. DE; MAGNABOSCO, C. U.; FERREIRA, I. C. **Classificação fenotípica para fêmeas Gir Leiteiro em provas de produção de leite a pasto**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2023. 31 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 403). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1155651/1/Bolpd-403-Carlos-Frederico.pdf>. Acesso em: 11 set. 2025.
- MELLO, R. R. C.; SINEDINO, L. D. P.; FERREIRA, J. E.; SOUZA, S. L. G. de; MELLO, M. R. B. de. Principal component and cluster analyses of production and fertility

traits in Red Sindhi dairy cattle breed in Brazil. **Tropical Animal and Health Production**, v. 52, p. 273-281, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-019-02009-7>

MORRISON, D. F. **Multivariate statistical methods**. 2. ed. Singapore: McGraw Hill, 1976. 415 p.

PAIVA, A. L. da C.; TEIXEIRA, R. B.; YAMAKI, M.; MENEZES, G. R. de O.; LEITE, C. D. S.; TORRES, R. de A. Análise de componentes principais em características de produção de aves de postura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 2, o. 285-288, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000200009>

R Core Team (2024). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 12 mar. 2025.

REGAZZI, A. J. Análise multivariada: notas de aula. Viçosa, MG: UFV, 2002.

REZENDE, L. P.; LOPES, G. da S.; LIMA, S. de S. S.; CHAVES, E. P. Implantação de escrituração zootécnica em pequenas propriedades rurais no município de Grajaú – MA. **Revista Electronica de Veterinária e Zootecnia**, v. 27, p. 1-16, 2020. DOI: <https://doi.org/10.35172/rvz.2020.v27.221>

RIBEIRO, M. J. B.; PINTO, L. F. B.; BARBOSA, A. C. B.; SANTOS, G. R. A.; PINTO, A. P. G.; NASCIMENTO, C. S.; BARBOSA, L. T. Principal components for the in vivo and carcass conformations of Anglo-Nubian crossbred goats. **Ciência Rural**, v. 48, n. 6, e20170771, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170771>

SANJULIÁN, L.; FERNANDEZ-RICO, S.; GONZÁLEZ-RODRIGUEZ, N.; CEPEDA, A.; MIRANDA, J. M.; FENTE, C.; LAMAS, A.; REGAL, P. The Role of Dairy in Human Nutrition: Myths and Realities. **Nutrients**, v. 17, n. 4, p. 646, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu17040646>

SANTOS, E. F. N.; SANTORO, K. R.; FERREIRA, R. L. C.; SANTOS, E. S. AND SANTOS, G. R. Formation of productive genetic groups in dairy cows through principal components. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 28, p. 15–22, 2010.

SANTOS, R. O.; GORGULHO, B. M.; CASTRO, M. A. de; FISBERG, R. M.; MARCHONI, D. M.; BALTAR, V. T. Principal Component Analysis and Factor Analysis: differences and similarities in Nutritional Epidemiology application. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 22, e190041, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1980-549720190041>

SENA, T. L.; LEITE, S. C. B.; VASCONCELOS, A. M. de; BEZERRA, M. M. R.; ABREU, C. G. de; FARIAS, M. R. S. de; SILVEIRA, R. M. F. Does dietary supplementation with phytases affect the thermoregulatory and behavioral responses of pullets in a tropical environment? **Journal of Thermal Biology**, v. 88, p. 102499, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.102499>

SILVA, R. A. B. da; PANDORFI, H.; ALMEIDA, G. L. P. de; SILVA, M. V. da. Exploratory data inference for detecting mastitis in dairy cattle. **Acta Scientiarum**, v. 42, p. e46394, 2020. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v42i1.46394>

VASCONCELOS, M. de; CARVALHO, J. F. de; ALBUQUERQUE, C. C. de; FAÇANHA, D. A. E.; VEGAS, W. H. O.; SILVEIRA, R. M. F.; FERREIRA, J. Development of an animal adaptability index: application for dairy cows. **Journal of Thermal Biology**, v. 88, p. 102543, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102543>

VIEIRA, P. W. B.; MOTA, K. C. das N. Aplicação de índices econômicos em touros gir leiteiro e a suas correlações com os parâmetros genéticos. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 26, n. 3, p. 207–216, 2018. DOI: <https://doi.org/10.13083/reveng.v26i3.922>