

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

MARIANA MUNDIM ALVES GOMES

Aplicabilidade da eficiência alimentar no melhoramento animal de bovinos de
corte

Uberlândia

2025

MARIANA MUNDIM ALVES GOMES

Aplicabilidade da eficiência alimentar no melhoramento animal de bovinos de
corte

Tese apresentada ao Programa de Pós
Graduação em Ciências Veterinárias da
Faculdade de Medicina Veterinária,
Universidade Federal de Uberlândia, como
requisito parcial à obtenção do título de
Doutora em Ciências Veterinárias.

Área de concentração: Produção Animal

Orientadora: Profa. Dra. Ricarda Maria dos
Santos.

Coorientadora: Profa. Dra. Carina Ubirajara
de Faria.

Uberlândia

2025



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Ciências Veterinárias				
Defesa de:	Doutorado Acadêmico PPGCVET Nº 01/2025				
Data:	28 de fevereiro de 2025	Hora de início:	08:00	Hora de encerramento:	12:25
Matrícula do Discente:	12113VET006				
Nome do Discente:	Mariana Mundim Alves Gomes				
Título do Trabalho:	Aplicabilidade da eficiência alimentar no melhoramento animal de bovinos de corte				
Área de concentração:	Produção Animal				
Linha de pesquisa:	Forragicultura, manejo e eficiência na produção dos animais e de seus derivados				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Avaliação do desempenho produtivo e reprodutivo do sistema de produção				

Reuniu-se por videoconferência da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Ciências Veterinárias, assim composta: Professores Doutores: Dra. Natascha Almeida Marques da Silva - (FMVZ/UFU); Dr. Robson Carlos Antunes - (FMVZ/UFU); Dra. Giovanna Faria de Moraes - (PONTA AGRO); Dra. Juliana Jorge Paschoal (FAZU) e Dra. Ricarda Maria dos Santos - (FMVZ/UFU), orientadora da candidata.

Iniciando os trabalhos a presidente da mesa, Dr(a). Ricarda Maria do Santos, apresentou a Comissão Examinadora e a candidata, agradeceu a presença do público, e concedeu à Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir a senhora presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir a candidata. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando a candidata:

Aprovada

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutora.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Juliana Jorge Paschoal, Usuário Externo**, em 28/02/2025, às 14:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ricarda Maria dos Santos, Professor(a) do Magistério Superior**, em 28/02/2025, às 14:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Giovanna Faria de Moraes, Usuário Externo**, em 28/02/2025, às 14:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Natascha Almeida Marques da Silva, Professor(a) do Magistério Superior**, em 28/02/2025, às 15:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Robson Carlos Antunes, Professor(a) do Magistério Superior**, em 28/02/2025, às 22:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6104761** e o código CRC **7C3799C0**.

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

G633
2025

Gomes, Mariana Mundim Alves, 1995-
Aplicabilidade da eficiência alimentar no melhoramento
animal de bovinos de corte [recurso eletrônico] /
Mariana Mundim Alves Gomes. - 2025.

Orientadora: Ricarda Maria dos Santos.
Coorientadora: Carina Ubirajara de Faria.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Pós-graduação em Ciências Veterinárias.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2025.222>
Inclui bibliografia.
Inclui ilustrações.

1. Veterinária. I. Santos, Ricarda Maria dos, 1972-,
(Orient.). II. Faria, Carina Ubirajara de, 1980-,
(Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia.
Pós-graduação em Ciências Veterinárias. IV. Título.

CDU: 619

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

Dedico este trabalho, primeiramente, a Deus, sem ele nada seria possível; À minha mãe, pilar da minha formação como ser humano, por sempre acreditar em mim e me ajudar sempre que preciso; Aos meus avós, pelo apoio prestado durante toda minha vida; Aos meus irmãos, pelo companheirismo e Ao meu noivo, por toda paciência e apoio diário.

Agradecimentos

A jornada até a conclusão deste doutorado foi repleta de desafios, aprendizado e crescimento, mas também de apoio incondicional de pessoas especiais, sem as quais este momento não seria possível. A cada um que, de alguma forma, fez parte dessa caminhada, expresso minha mais profunda gratidão.

A Deus, minha eterna reverência e reconhecimento, pois foi Ele quem me guiou, fortaleceu e iluminou meu caminho em cada etapa, concedendo-me força e sabedoria para superar os desafios e seguir sempre em frente.

Aos meus pais, Giselle e Gilson, minha base e meu maior exemplo de amor, dedicação e incentivo. Obrigada por cada palavra de apoio, por cada gesto de carinho e por sempre acreditarem em mim, mesmo nos momentos em que eu mesma duvidei. Tudo que sou e conquistei devo a vocês.

Aos meus avós, Lourdes e Odilon, cuja sabedoria e resiliência sempre foram uma fonte inesgotável de inspiração. O amor e os valores que me transmitiram são um legado que levarei para toda a vida.

Às minhas orientadoras, Dra. Ricarda Maria dos Santos e Dra. Carina Ubirajara de Faria, minha mais profunda admiração e reconhecimento. Obrigada por serem mais do que mentoras, mas verdadeiros exemplos de profissionalismo, competência e generosidade. O conhecimento, a paciência e o incentivo de vocês foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

Ao meu noivo, Jader, meu companheiro em todas as horas, que esteve ao meu lado em cada momento desta caminhada, oferecendo amor, apoio e compreensão inabaláveis. Obrigada por acreditar em mim, por celebrar cada conquista e por ser meu porto seguro nos momentos mais difíceis.

Aos criadores e à ANCP, pelo suporte essencial à realização desta pesquisa. À CAPES, pelo financiamento e pela oportunidade de me dedicar integralmente a este estudo.

À minha banca examinadora, meu sincero agradecimento pelo tempo, dedicação e valiosas contribuições para este trabalho. A experiência e o olhar crítico de cada um de vocês foram essenciais para o aprimoramento desta pesquisa. Suas observações e sugestões não apenas enriqueceram este estudo, mas também contribuíram para meu crescimento acadêmico e profissional.

Por fim, a cada amigo, colega de trabalho e professor que, de alguma forma, contribuiu para essa jornada, meu mais sincero agradecimento. Este doutorado não é apenas uma conquista pessoal, mas o reflexo do apoio, do incentivo e da parceria de todos que fizeram parte desse caminho.

RESUMO

A eficiência alimentar na produção de carne bovina é essencial para a sustentabilidade do setor, especialmente no Brasil, terceiro maior produtor e segundo maior exportador mundial de carne bovina. O Consumo Alimentar Residual (CAR) é uma característica robusta para avaliar essa eficiência, pois permite identificar animais que consomem menos alimento sem comprometer o crescimento e a qualidade da carcaça. Dessa forma, a eficiência alimentar, avaliada pelo CAR, é um dos principais fatores de competitividade da pecuária de corte brasileira. No entanto, aprimorar os métodos de obtenção dessa característica para gerar fenótipos de alta qualidade e investigar o CAR como ferramenta de seleção são estratégias fundamentais para aumentar a precisão na identificação de animais mais eficientes. O primeiro artigo desta tese teve como objetivo avaliar a influência do período de teste na medição do ganho médio diário (GMD), utilizado na predição do CAR, com foco na avaliação genética da eficiência alimentar em bovinos Nelore. No segundo artigo, foram estimados componentes de variância, covariâncias e tendências genéticas para CAR e ingestão de matéria seca (IMS) em animais da raça Nelore. No primeiro estudo, 27 machos Nelore (média de idade inicial de $18 \pm 0,91$ meses) foram avaliados na Fazenda Experimental Capim Branco da Universidade Federal de Uberlândia. A média diária de ganho (GMD) foi estimada por regressão linear dos pesos ao longo do período de teste, e o CAR foi calculado como a diferença entre a ingestão observada e a esperada de matéria seca. Foram analisados sete cenários com diferentes durações e frequências de pesagem, comparando a confiabilidade dos rankeamentos dos animais em relação ao cenário padrão (REF). Os resultados indicaram que o cenário de 70 dias, com pesagens a cada 14 dias (cenário E), foi o mais confiável para a avaliação da eficiência alimentar, apresentando uma correlação de 0,95 entre os rankings dos animais. No entanto, o período de teste pode ser reduzido para 56 dias, caso as pesagens sejam realizadas semanalmente. No segundo artigo, foram analisados dados de 7.808 animais avaliados em 142 provas de eficiência alimentar realizadas entre 2011 e 2019, provenientes de fazendas participantes do programa Nelore Brasil, coordenado pela Associação Nacional de Criadores e Pesquisadores (ANCP). Os componentes de variância foram estimados pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML). As herdabilidades estimadas para CAR e IMS foram 0,22 e 0,28, respectivamente, sugerindo resposta moderada à seleção. A correlação genética entre CAR e IMS foi alta e favorável (0,61), indicando que a seleção para CAR promoverá a redução da ingestão de matéria seca. Os resultados reforçam a importância do CAR como critério de seleção para eficiência alimentar em bovinos Nelore. O período de teste mais confiável para avaliar GMD e CAR é de 70 dias, com pesagens a cada 14 dias, podendo ser reduzido para 56 dias com pesagens

semanais. Não foi observada tendência genética para CAR, mas a IMS apresentou um aumento considerável no período avaliado, com ganho genético anual de 0,024 kg/dia. Esses achados fornecem subsídios valiosos para a melhoria da eficiência alimentar e da sustentabilidade da pecuária de corte brasileira.

Palavras- chave: Consumo Alimentar residual. Eficiência alimentar. Provas de eficiência.

ABSTRACT

Feed efficiency in beef production is essential for the sustainability of the sector, especially in Brazil, the third-largest producer and the second-largest exporter of beef worldwide. Residual Feed Intake (RFI) is a robust trait for evaluating this efficiency, as it allows the identification of animals that consume less feed without compromising growth and carcass quality. Thus, feed efficiency, assessed through RFI, is one of the main competitive factors in Brazilian beef cattle production. However, improving the methods for obtaining this trait to generate high-quality phenotypes and investigating RFI as a selection tool are fundamental strategies to enhance the accuracy of identifying more efficient animals. The first article of this thesis aimed to evaluate the influence of the test period on measuring average daily gain (ADG), used in predicting RFI, focusing on the genetic evaluation of feed efficiency in Nellore cattle. The second article estimated variance components, covariances, and genetic trends for RFI and dry matter intake (DMI) in Nellore cattle. In the first study, 27 Nellore males (initial average age of 18 ± 0.91 months) were evaluated at the Capim Branco Experimental Farm of the Federal University of Uberlândia. The ADG was estimated through linear regression of weights over the test period, and RFI was calculated as the difference between observed and expected dry matter intake. Seven scenarios with different test durations and weighing frequencies were analyzed, comparing the reliability of animal rankings to the standard scenario (REF). The results indicated that the 70-day test period, with weighings every 14 days (Scenario E), was the most reliable for feed efficiency evaluation, showing a 0.95 correlation between animal rankings. However, the test period can be reduced to 56 days if weekly weighings are conducted. The second article analyzed data from 7,808 animals evaluated in 142 feed efficiency trials conducted between 2011 and 2019, from farms participating in the Nelore Brasil program, coordinated by the National Association of Breeders and Researchers (ANCP). Variance components were estimated using the restricted maximum likelihood (REML) method. The heritability estimates for RFI and DMI were 0.22 and 0.28, respectively, suggesting a moderate response to selection. The genetic correlation between RFI and DMI was high and favorable (0.61), indicating that selecting for RFI will promote a reduction in dry matter intake. The results reinforce the importance of RFI as a selection criterion for feed efficiency in Nellore cattle. The most reliable test period for evaluating ADG and RFI is 70 days, with weighings every 14 days, but it can be reduced to 56 days with weekly weighings. No genetic trend was observed for RFI, whereas DMI showed a considerable increase over the evaluated period, with an annual genetic gain of 0.024 kg/day. These findings provide valuable insights for improving feed efficiency and the sustainability of Brazilian beef cattle production.

Keywords: Residual feed intake. Feed efficiency. Feed efficiency trials.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	10
1 Introdução	10
2 Revisão de literatura	11
2.1 Eficiência Alimentar.....	11
2.1.1 Consumo alimentar residual CAR	13
2.1.1.1 Provas de eficiência alimentar	15
2.1.1.2 Procedimentos de mensuração de consumo individual de bovinos de corte no Brasil	17
2.1.1.3 Progresso genético	19
REFERÊNCIAS	21
CAPÍTULO 2 – INFLUENCE OF THE TEST PERIOD ON THE MEASUREMENT OF AVERAGE DAILY GAIN FOR THE PURPOSE OF GENETIC EVALUATION OF FEED EFFICIENCY TRAIT IN NELLORE CATTLE	26
Introduction.....	26
Material and methods	27
Results	29
Discussion	30
Conclusion	34
REFERÊNCIAS	35
CAPÍTULO 3 – ANÁLISE GENÉTICA DE CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS À EFICIÊNCIA ALIMENTAR EM ANIMAIS DA RAÇA NELORE.....	40
Introdução	41
Material e métodos.....	42
Resultados e discussão	45
Conclusão.....	51
REFERÊNCIAS	51

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1 Introdução

A eficiência alimentar tem se tornado um fator essencial para a produção sustentável de carne bovina, especialmente no Brasil, terceiro maior produtor e segundo maior exportador mundial (USDA, 2024). A alimentação representa até 77,63%% dos custos operacionais efetivos de bovinos de corte confinados (Saron, 2022), tornando a busca por maior eficiência alimentar não apenas uma estratégia econômica, mas também uma necessidade para a sustentabilidade do setor. Diante disso, aprimorar os métodos de seleção para eficiência alimentar é fundamental para aumentar a competitividade da pecuária nacional no mercado global.

Dentre as diversas abordagens para avaliar a eficiência alimentar, o Consumo Alimentar Residual (CAR) se destaca como a medida mais utilizada na seleção de bovinos de corte. O CAR é obtido pela diferença entre a ingestão de matéria seca observada (IMSobs) e a ingestão de matéria seca esperada (IMSesp), que considera o peso vivo médio metabólico (PVMM) e o ganho médio diário (GMD), conforme proposto por Koch et al. (1963). Esta medida tem se mostrado eficaz para a seleção de animais eficientes, pois permite identificar aqueles que consomem menos alimento sem prejudicar características de crescimento, reprodução e carcaça (Brunes et al., 2021). Além disso, o CAR apresenta uma herdabilidade moderada em bovinos da raça Nelore, com valores estimados entre 0,22 e 0,37 (Santana et al., 2014; Grion et al., 2014; Gomes et al., 2023), o que indica a presença de variabilidade genética aditiva e, portanto, com potencial para ser utilizado como critério de seleção.

Para o cálculo do CAR exige a obtenção precisa de fenótipos de ingestão de matéria seca, o que tradicionalmente é feito por meio de provas de eficiência alimentar. Nessas provas, as IMS dos animais são medidas individualmente, frequentemente utilizando cochos eletrônicos (Mendes et al., 2020). Contudo, esses testes apresentam altos custos e desafios logísticos, como o manejo dos animais e a duração dos testes. Isso levanta a necessidade de otimização dos métodos de coleta para reduzir os custos e o tempo de avaliação, sem comprometer a precisão dos dados (Archer et al., 1997). O estudo de Mendes et al. (2020) sugere diferentes períodos de PE para a obtenção de fenótipos de IMS, dependendo do método de pesagem utilizado. Quando são empregadas balanças automatizadas nos cochos para pesagens voluntárias, o período de prova pode ser reduzido para 42 dias. Se as pesagens forem realizadas periodicamente a cada 14 dias, o tempo mínimo recomendado é de 56 dias. Já em

protocolos que utilizam apenas pesagens iniciais e finais, a duração ideal do período de prova é de 70 dias.

Portanto, a eficiência alimentar, medida por meio do CAR, é um dos principais fatores para a competitividade da pecuária de corte no Brasil. No entanto, o aprimoramento dos métodos de mensuração dessa característica para gerar fenótipos de qualidade e investigar o consumo alimentar residual (CAR) como ferramenta de seleção para eficiência alimentar em bovinos de corte, são essenciais para alcançar a precisão necessária na seleção de animais mais eficientes. O objetivo do trabalho é contribuir para a evolução dos métodos de avaliação e seleção, ampliando a aplicabilidade e a eficiência do CAR como ferramenta de melhoramento genético para o setor pecuário.

2 Revisão de literatura

2.1 Eficiência Alimentar

A eficiência alimentar (EA) é uma das ferramentas mais importantes para a sustentabilidade da produção de carne bovina, pois busca reduzir os insumos envolvidos no processo produtivo, já que a ração constitui a maior parte dos custos operacionais, o que torna a otimização do consumo de ração, sem comprometer o desempenho animal, essencial para maximizar a rentabilidade (Brunes et al., 2023). Assim, melhorar a eficiência alimentar é crucial para alcançar sistemas de produção mais econômicos e sustentáveis, ao mesmo tempo garantindo o crescimento animal e a qualidade da carne.

Por definição, a EA representa a relação entre insumos (consumo alimentar) e produtos (ganho de peso), sendo um parâmetro fundamental para quantificar a eficácia dos sistemas produtivos. Tradicionalmente, a conversão alimentar (CA), a eficiência alimentar bruta (EAB), a IMS e o GMD (Archer et al., 1999; Arthur e Herd, 2008) têm sido utilizados para avaliação da eficiência alimentar. A EAB é definida como uma razão entre o ganho em peso e IMS, calculada ($\text{kg ganho} / \text{kg alimento consumido}$). Já a CA, é a inversa, calculada como a razão da IMS pelo GMD ($\text{kg alimento consumido} / \text{kg ganho}$) (Gomes et al., 2012).

Valores positivos e mais altos são desejáveis para EAB, enquanto valores mais baixos são desejáveis para CA. A CA e a EAB, por si, apresentam limitações ao serem utilizadas como critérios de seleção, por serem geneticamente associadas ao peso adulto (PA), tendem a aumentar as exigências de manutenção dos animais ao longo das gerações e os custos de produção, como resposta à seleção (Berry; Crowley, 2012). O mesmo pode ser observado ao utilizar como critério de seleção o GMD e a IMS, visto que, sem ajustes, conduzem a identificação de animais de maior tamanho corporal e exigência de manutenção (Grion et al., 2014; Olivieri et al., 2017).

Historicamente, a conversão alimentar (CA) foi amplamente utilizada como a principal métrica de eficiência alimentar em animais de corte devido à sua simplicidade. Porém, esta medida apresenta limitações significativas. Isso torna sua aplicação menos adequada quando se busca aprimoramentos genéticos voltados à eficiência de longo prazo. Adicionalmente, a CA não considera as diferenças metabólicas individuais, limitando sua precisão em análises mais detalhadas de eficiência.

Para superar essas restrições, o conceito de consumo alimentar residual (CAR) tem ganhado destaque como um cálculo mais robusto e confiável. O CAR mede a diferença entre o consumo real de alimento e o consumo esperado com base no peso corporal e na taxa de crescimento do animal (Koch et al., 1963). Essa abordagem, por ser independente do nível de produção, possibilita a comparação direta entre indivíduos com diferentes níveis de desempenho (Berry e Crowley, 2013). Animais com CAR negativo, ou seja, que consomem menos ração do que o previsto para manter o peso corporal e o crescimento esperados, são considerados eficientes. Esse perfil de animais reflete um metabolismo mais eficiente, com menor necessidade de insumos para atingir o mesmo desempenho, contribuindo significativamente para a redução dos custos de alimentação (Brunes et al., 2021).

Carstens e Tedeschi (2006) realizaram uma meta-análise abrangente para avaliar correlações fenotípicas entre diferentes métricas de eficiência alimentar, desempenho e características de carcaça em bezerros durante as fases de crescimento e terminação. O estudo incluiu dados de 514 animais alimentados com dietas ricas em forragens e 320 animais alimentados com dietas ricas em grãos. Os resultados demonstraram uma forte correlação entre a conversão alimentar (CA) e o ganho médio diário (GMD), com valores de -0,6 para animais em fase de crescimento e -0,58 e fase de terminação, e uma correlação moderada com o peso inicial dos animais, de 0,28 e 0,40, respectivamente. No entanto, a correlação entre a CA e a ingestão de matéria seca (IMS) foi baixa, variando de 0,12 a 0,25. Esses achados indicam que animais com fenótipos favoráveis para CA apresentavam pesos iniciais substancialmente mais baixos, maior GMD e consumiam ligeiramente menos ração. Por outro lado, o CAR mostrou uma correlação forte com a IMS (0,65) em ambas as fases, mas, conforme esperado, não apresentou correlações fenotípicas significativas com o peso inicial ou GMD, reforçando sua independência desses fatores. De maneira importante, o CAR apresenta correlação moderada a baixa com características de carcaça, como composição de gordura e conformação muscular, o que sugere que a seleção para maior eficiência alimentar não compromete a qualidade da carne, fator essencial para atender às demandas do mercado (Gomes et al., 2023).

Dessa forma, a adoção do CAR como critério de seleção tem se mostrado uma estratégia eficaz para a redução de custos, garantindo a sustentabilidade econômica e ambiental da produção de carne bovina.

2.1.1 Consumo alimentar residual CAR

O CAR é uma alternativa eficaz à seleção para eficiência alimentar tradicional. Não foi encontrada associação linear entre o CAR e GMD durante qualquer um dos períodos de alimentação, porque o CAR é independente das características de crescimento (Koch et al., 1963; Arthur e Herd, 2008; Black et al., 2013).

A equação faz do CAR um dos melhores índices para eficiência alimentar, pois leva em consideração o desempenho previsto e o ajuste do peso metabólico do indivíduo, além de indicar a variação genética da utilização de nutrientes (Basarab et al., 2003). Essa definição torna o CAR uma métrica crucial para identificar e selecionar animais com menores exigências de energia para manutenção, contribuindo assim para uma redução nos custos com alimentação sem impactar negativamente a quantidade ou a qualidade do produto final (Sainz et al., 2024).

A viabilidade da seleção para o CAR depende, entre outros fatores, da herdabilidade da característica, que se refere à proporção da variância fenotípica atribuída aos efeitos genéticos aditivos. Diversos estudos têm mostrado que o CAR é uma característica com estimativas de herdabilidade de moderada a alta magnitude em animais da raça Nelore (0,18–0,43), o que indica que ao ser selecionada tem uma resposta mais rápida à seleção (Grion et al., 2014; Oliveira et al., 2014; Olivieri et al., 2017; Moraes et al., 2017).

Tem sido demonstrado que animais mais eficientes avaliados pelo CAR em idades jovens, como a desmama, também apresentam CAR negativo em idades mais avançadas (Herd et al., 2002; Arthur et al., 2005; Arthur; Herd, 2008;). O estudo de Arthur et al. (2001) realizado na Austrália demonstrou que progênies de pais selecionados para baixo CAR não apresentaram diferença significativa em peso aos 12 meses ou no GMD, mas mostraram uma IMS inferior e uma menor CA em comparação com as progênies de pais selecionados para alto CAR. Além disso, Cassady et al. (2016), concluíram em um trabalho realizado com animais Charolês e Angus uma correlação moderada (0,63) entre período de crescimento e terminação para CAR, confirmando que animais eficientes no período de crescimento, período em que são avaliados animais com o objetivo de coletar fenótipos para avaliação genética, tendem a ser eficientes no período de terminação, corroborando com resultados encontrados por Kelly et al. (2010).

Alguns estudos têm fornecido percepções sobre os mecanismos que explicam as diferenças no CAR. Fernandez et al. (2020) sugerem que a maior capacidade respiratória de reserva nas mitocôndrias do músculo esquelético de bovinos com baixo CAR pode ser um fator determinante na maior eficiência alimentar desses animais. Além disso, um estudo de Meyer e Houle (2013) encontrou correlações significativas entre a densidade da mucosa do jejuno e o CAR, indicando que a absorção intestinal mais eficiente pode ser um fator crucial para a variação na eficiência alimentar entre os indivíduos. Montanholi et al. (2013) corroboram essa ideia ao observar que novilhos com baixo CAR tinham um número maior de células no tecido epitelial do duodeno e íleo, o que sugere que uma melhor capacidade de absorção de nutrientes pode estar relacionada a eficiência.

Adicionalmente, estudos sobre as correlações genéticas entre o CAR e outros parâmetros de carcaça indicam que a seleção para o CAR não interfere negativamente nas características relacionadas à produção de carne, como espessura de gordura na garupa e na costela, marmoreio e peso ao desmame. Por exemplo, Gomes et al. (2023) e Sainz et al. (2024) observaram que não existem correlações genéticas significativas entre CAR e esses indicadores de carcaça. Estudos relatam que a seleção para eficiência alimentar utilizando CAR pode levar a melhoria no desempenho de características como a musculosidade e a conformação de carcaça (Berry; Crowley, 2012; Santana et al., 2014). Isso significa que a seleção para reduzir o CAR pode ser feita sem impactar a qualidade da carne, o que representa uma vantagem expressiva no melhoramento genético.

Em termos de custos e impactos econômicos, a adoção de CAR em programas de seleção tem mostrado resultados promissores. Carstens e Tedeschi (2006) demonstraram uma redução de 18% e 20% no custo com ração para animais de baixo CAR, tanto em bezerros em crescimento quanto em animais de terminação resultando em uma diferença nos custos de ração entre bezerros com baixo e alto CAR foi de US\$ 0,32 por dia, o que equivale a uma economia de US\$ 38,00 em um período de alimentação de 120 dias. Esse tipo de economia é significativo para pecuaristas, especialmente quando se considera o impacto a longo prazo de uma seleção bem-sucedida para animais mais eficientes em termos de consumo alimentar. No Brasil, Lanna e Almeida (2004) avaliaram o retorno da seleção para CAR e demonstraram que a redução de 10% do CAR equivale ao ganho genético de 0,102 kg de MS/dia, ou seja, a cada ano de seleção os animais consumiriam 13% a menos de alimento, resultando em uma economia de 64 milhões de reais ao ano.

Damiran et al. (2018) avaliaram, no Canadá, o impacto econômico da seleção de novilhas com diferentes níveis de eficiência alimentar, classificadas com base nos valores de Consumo

Alimentar Residual (CAR). O estudo demonstrou que novilhas de baixo CAR consumiram menos ração ao longo do período de desenvolvimento ($P < 0,01$) em comparação com novilhas de alto CAR, resultando em menores custos de alimentação. Embora sem diferença estatisticamente significativa ($P > 0,05$), o custo diário de alimentação foi numericamente inferior para novilhas de baixo CAR (Can\$1,38 \pm 0,03/dia) em relação às de alto CAR (Can\$1,52 \pm 0,03/dia), enquanto as novilhas do grupo controle apresentaram um custo intermediário (Can\$1,43 \pm 0,01/dia). No total, a menor exigência alimentar das novilhas de baixo CAR proporcionou uma economia aproximada de 25 dólares canadenses em comparação com as de alto CAR. Esses resultados evidenciam o impacto positivo da seleção para eficiência alimentar na redução dos custos de produção

2.1.1.1 Provas de eficiência alimentar

No Brasil, a medição dos fenótipos individuais de ingestão alimentar é realizada com sistemas de cochos eletrônicos, que avaliam a eficiência alimentar a partir da IMS e do desempenho animal. O Intergado® (brasileiro), representando pela empresa Ponta é o equipamento mais utilizado no país, presente em cerca de 96% das provas de eficiência alimentar (Marzocchi et al., 2020). Esse sistema se destaca pela precisão no monitoramento individual da ingestão e do comportamento alimentar, sendo essencial para pesquisas e programas de melhoramento genético focados na eficiência alimentar (Chizzotti et al., 2015). O Vytelle® (canadense) também é empregado em algumas provas e amplamente utilizado em pesquisas internacionais sobre IMS e eficiência alimentar (Wang et al., 2006; Culbertson et al., 2015; Cassady et al., 2016; Manafiazar et al., 2017; Ahlberg et al., 2018). Embora ambos possuam capacidades semelhantes para mensuração da ingestão individual, o Intergado® se consolidou como a principal ferramenta para avaliação da eficiência alimentar na pecuária brasileira.

A variação da IMS entre os animais não pode ser estimada apenas com base no peso corporal (PC) e no nível de produção (Nielsen et al., 2013). A obtenção de fenótipos precisos sobre a IMS é essencial para a seleção de animais mais eficientes e rentáveis na bovinocultura de corte. Para isso, é necessário realizar testes de desempenho em instalações que possam medir a ingestão de alimentos, resultando na medição da taxa de crescimento, ingestão de ração e eficiência alimentar sob condições padronizadas. Segundo o Manual de Eficiência Alimentar de Mendes et al. (2020), essas provas devem ser conduzidas em instalações adequadas que

permitam a coleta precisa de dados fenotípicos, fundamentais para a avaliação genética e predição de Diferenças Esperadas na Progenie (DEPs).

No entanto, determinar a eficiência alimentar individual com base no consumo de ração e no ganho de peso corporal é um processo demorado, trabalhoso e caro, o que exige a otimização dos métodos para reduzir despesas e o tempo de coleta, sem comprometer a precisão dos dados (Damiran et al., 2018). Para padronizar esses testes, foram estabelecidos critérios específicos para medir, registrar e avaliar a eficiência alimentar de bovinos de corte no Brasil (Mendes et al., 2020).

Historicamente, a duração mínima dos testes de eficiência alimentar era determinada pelo número de dias necessários para medir com precisão o GMD. No entanto, determinar a duração ideal de um teste exige critérios bem definidos para sua avaliação. Quando os resultados são aplicados em programas de seleção, o objetivo é maximizar a resposta no melhoramento genético ao menor custo possível.

As diretrizes da Beef Improvement Federation (BIF) recomendam atualmente um período de adaptação de 21 dias para que os animais se adaptem às instalações e à dieta, seguido de um período de teste de 70 dias para determinar a taxa de ganho e o consumo diário (BIF, 2010). No entanto, a coleta de informações fenotípicas sobre IMS é cara, exige muito trabalho e é demorada (Nielsen et al., 2013). Diversos estudos têm se dedicado a reduzir a duração dos testes de eficiência alimentar em bovinos, visando diminuir custos e aumentar o número de animais avaliados anualmente. Castilhos et al. (2011) destacam que a redução do período de avaliação permite menores custos operacionais e uso mais eficiente de equipamentos eletrônicos, contribuindo para maior rentabilidade na pecuária. Da mesma forma, Manafiazar et al. (2017) enfatizam que a diminuição da duração dos testes possibilita a avaliação de um maior número de animais em menor tempo, sem comprometer a precisão dos resultados. A adoção de tecnologias avançadas, como sistemas automatizados de monitoramento diário do peso com balanças para pesagens voluntárias, também tem contribuído para a redução do tempo necessário para estabilização das medições, permitindo a obtenção de dados precisos em períodos mais curtos (Marzocchi et al., 2020). Essas estratégias combinadas visam otimizar os processos de avaliação, tornando-os mais eficientes e economicamente viáveis.

Em avaliação para a duração mínima de testes de eficiência alimentar em bovinos Nelore, Marzocchi et al. (2020) recomendaram um período mínimo de 71 dias para avaliar o CAR, com pesagens a cada 15 dias. Alterações no número de dias podem ser verificadas de acordo com a periodicidade da mensuração do GMD, como no estudo de Wang et al. (2006), que sugerem um mínimo de 63 dias de PE com pesagens semanais. Culbertson et al. (2015) identificaram

que 56 dias são suficientes para pesagens a cada 14 dias. Portanto, todos esses estudos indicam que a determinação do GMD é o principal obstáculo para reduzir a duração dos testes de eficiência alimentar. Aumentar a frequência das medições de peso pode reduzir a duração do teste e, conseqüentemente, o período de avaliação do CAR.

Nesse contexto, Torres Junior et al. (2018) concluíram que o uso de registros diários de peso pode reduzir significativamente a duração dos testes, acelerando a identificação fenotípica e genética de animais mais eficientes em programas de melhoramento e, ao mesmo tempo, reduzindo custos. Estudos mais recentes confirmam a importância dessa abordagem. Por exemplo, um estudo de Crozara et al. (2022) sobre a redução do período de avaliação da eficiência alimentar de zebuínos mostrou que a utilização de sistemas automatizados de alimentação e pesagem, com aumento na frequência das medições, pode reduzir o tempo necessário para obter dados confiáveis sobre eficiência alimentar sem perder precisão. Esses sistemas tornam possível o monitoramento contínuo dos animais, otimizando o processo e permitindo testar um maior número de animais anualmente. Além disso, o estudo de Marzochi et al. (2020) abordou a importância do período ótimo de medição para a avaliação do CAR, destacando que, ao aumentar a frequência das pesagens, é possível acelerar a obtenção de resultados precisos e reduzir a duração dos testes, o que resulta em menor custo operacional e maior viabilidade econômica para os pecuaristas.

No caso específico dos bovinos Brahman, o estudo de Cassady et al. (2019) investigou a duração do período de testes para a eficiência alimentar e concluiu que a redução do tempo de avaliação, por meio de frequentes medições de peso e consumo, é uma prática vantajosa, desde que mantida a precisão na determinação do CAR. Essa estratégia permitiu otimizar os recursos utilizados nas estações de avaliação, além de oferecer resultados genéticos mais rápidos. Esses estudos reforçam a ideia de que a adoção de sistemas automatizados e o aumento na frequência das medições podem reduzir significativamente o tempo de avaliação e os custos operacionais, sem comprometer a qualidade dos resultados em programas de seleção para eficiência alimentar.

2.1.1.2 Procedimentos de mensuração de consumo individual de bovinos de corte no Brasil

No Brasil, a mensuração do consumo individual de alimentos em bovinos de corte segue diretrizes padronizadas, conforme estabelecido em um manual técnico específico (Mendes et al., 2020). Esse documento define procedimentos detalhados para a condução de testes de eficiência alimentar, assegurando a padronização e a confiabilidade dos dados fenotípicos

utilizados em avaliações genéticas e na predição das Diferenças Esperadas na Progenie (DEPs) relacionadas à eficiência alimentar.

Um aspecto fundamental para a obtenção de dados precisos é a organização dos animais em grupos contemporâneos, que devem ser formados considerando critérios como raça, sexo, idade (com variação máxima de 90 dias), lote de manejo e histórico alimentar. Para a participação nos testes, os animais devem ter no mínimo oito meses de idade e passar por uma adaptação de pelo menos 60 dias após o desmame. A idade máxima permitida para a conclusão da avaliação é de 24 meses. Além disso, busca-se garantir homogeneidade dentro de cada grupo, limitando a variação do peso inicial a 20% do coeficiente de variação do peso vivo.

A aferição individual do consumo alimentar é um fator determinante para a avaliação da eficiência alimentar e pode ser realizada por meio de sistemas automatizados, como cochos eletrônicos (Intergado®, GrowSafe®, Calan Gate®), ou em baias individuais, onde a dieta e as sobras são controladas manualmente. A pesagem dos animais, por sua vez, pode ser feita por meio de balanças convencionais ou sistemas automatizados integrados aos cochos, o que proporciona maior precisão nos cálculos de consumo e desempenho.

Os testes de eficiência alimentar são conduzidos em duas fases: adaptação e avaliação. A fase de adaptação tem como objetivo minimizar o estresse dos animais e assegurar a confiabilidade dos dados coletados. Sua duração varia conforme a origem dos bovinos e o sistema de alimentação adotado. Em testes inter-rebanho, a adaptação deve ser realizada ao longo de 28 dias, sendo 21 dias para adaptação à dieta e sete dias para adaptação aos cochos eletrônicos. Como alternativa, é possível realizar os 21 dias diretamente nos cochos eletrônicos. Já nos testes intra-rebanho, o período de adaptação pode ser reduzido para 21 dias, com 14 dias de adaptação à dieta e sete dias nos cochos eletrônicos. Caso os animais sejam diretamente submetidos aos cochos eletrônicos, o período pode ser reduzido para 14 dias.

De acordo com o manual de Mendes et al. (2020), a duração do período de avaliação varia conforme o sistema de pesagem adotado. A pesagem dos animais pode ser realizada manualmente ou por sistemas automatizados, dependendo da estrutura disponível. No método manual, utilizam-se duas estratégias principais: pesagens múltiplas sem jejum a cada 14 dias, permitindo o monitoramento contínuo do peso dos animais, ou pesagens inicial e final com jejum de 18 horas, realizadas em dois dias consecutivos no início e no final do teste para maior precisão na estimativa do peso final. Já nos testes com pesagem diária automatizada, a duração mínima da prova pode ser de 42 dias, desde que sejam contabilizados pelo menos 35 dias válidos de consumo e que o erro padrão relativo (EPR) do ganho médio diário (GMD) seja $\leq 31\%$ para cada animal e para todo o lote.

Nos testes sem pesagem diária automatizada, a duração mínima é de 70 dias, desde que sejam contabilizados pelo menos 35 dias válidos de consumo, garantindo um EPR da ingestão de matéria seca (IMS) $\leq 5\%$. No entanto, caso o EPR do GMD seja $\leq 31\%$ para cada animal e para todo o lote, a prova pode ser encerrada em 56 dias, desde que haja pelo menos 35 dias de consumo válidos e cinco pesagens intermediárias (dias 0, 14, 28, 42 e 56). Essa flexibilidade permite reduzir o tempo de avaliação sem comprometer a qualidade dos dados obtidos, otimizando o processo de seleção de animais mais eficientes (Mendes et al., 2020).

Embora o manual técnico estabeleça diretrizes rigorosas para garantir a precisão e a reprodutibilidade dos dados, a capacidade das instalações equipadas para a mensuração individual do consumo alimentar ainda é um fator limitante, restringindo o número de testes realizados anualmente. Como alternativa, a redução do período de avaliação tem sido considerada uma estratégia viável para ampliar o número de animais avaliados ao longo do ano, reduzindo os custos operacionais sem comprometer a acurácia das medições (Crozara et al., 2022).

2.1.1.3 Progresso genético

O progresso genético, também denominado potencial seletivo ou ganho genético, é uma ferramenta essencial para definir as metas de seleção em um rebanho. Ele possibilita a previsão dos ganhos fenotípicos que resultam da seleção, além de indicar a eficácia de uma característica em responder à seleção. Isso também contribui para a definição das intensidades de seleção mais apropriadas para alcançar as metas de melhoramento.

A seleção focada no consumo alimentar residual (CAR) busca melhorar a capacidade dos animais de utilizar os alimentos de forma mais eficiente. O progresso genético dessa característica ocorre por meio da seleção de indivíduos com melhores genótipos e acasalamentos dirigidos, o que, ao longo de várias gerações, resulta em um aumento no valor genético médio do rebanho. Isso gera animais que consomem menos para alcançar o mesmo desempenho, contribuindo para a maior eficiência alimentar. O progresso genético é influenciado por fatores como intensidade e acurácia da seleção, variabilidade genética e o intervalo de geração (Lush, 1937).

A definição de índices de seleção claros, a integração de dados genéticos e fenotípicos, e a manutenção contínua de registros de pedigree e desempenho são elementos essenciais para aumentar a precisão dos ganhos genéticos. Com o tempo, a melhoria genética para CAR não só aumenta a produtividade do rebanho, mas também desempenha um papel crucial na sustentabilidade da pecuária, ao otimizar o uso de recursos e reduzir o impacto ambiental. Dessa

forma, a seleção para CAR contribui para a eficiência produtiva e para a viabilidade a longo prazo do setor, gerando animais mais eficientes com um menor custo ambiental (Mueller & Eenennaam, 2022). Por exemplo estudo como o de Arthur et al. (2005) indicam que a seleção para CAR pode ser eficaz ao longo de várias gerações, resultando em animais mais eficientes em termos de consumo de alimento, sem comprometer o ganho de peso ou o desempenho geral.

O progresso genético para a característica Consumo Alimentar Residual (CAR) em bovinos de corte tem sido amplamente discutido na literatura, uma vez que a eficiência alimentar representa um dos fatores mais importantes no melhoramento genético de gado de corte. A variação genética no CAR é bem estabelecida, com estudos mostrando que a herdabilidade da característica é moderada, variando de 0,17 a 0,37, o que indica um potencial para progresso genético com a seleção adequada (Santana et al., 2014; Grion et al., 2014; Brunes et al., 2021; Gomes et al., 2023; Kava et al. (2023); Sainz et al., 2024).

Embora os resultados em relação ao progresso genético na seleção para CAR sejam positivos, a implementação prática dessa seleção enfrenta desafios consideráveis. A precisão da seleção depende da disponibilidade de dados fenotípicos, especialmente dos registros individuais de IMS. No entanto, a coleta desses dados é cara e difícil de ser realizada, especialmente em grandes populações de animais e com medições diárias do consumo alimentar (Miglior et al., 2017). Esse fator tem sido uma das principais barreiras para a adoção de práticas de eficiência alimentar, particularmente em sistemas de produção em larga escala. Além disso, a seleção para CAR requer um número representativo de animais com registros completos, o que dificulta sua inclusão nos objetivos de melhoramento genético, conforme apontado em diversos estudos (McParland et al., 2014; Hardie et al., 2017). Assim, os desafios relacionados à coleta precisam dos dados de consumo alimentar precisam ser superados para que o progresso genético para CAR se torne mais rápido e acessível.

REFERÊNCIAS

- AHLBERG, C. M.; ALLWARDT, K.; BROOCKS, A.; BRUNO, K.; MCPHILLIPS, L.; TAYLOR, A.; KREHBIEL, C. R.; CALVO-LORENZO, M.; RICHARDS, C. J.; PLACE, S. E.; DESILVA, U.; VANOVERBEKE, D. L.; MATEESCU, R. G.; KUEHN, L. A.; WEABER, R. L.; BORMANN, J. M.; ROLF, M. M. Test duration for water intake, ADG, and DMI in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 96, n. 8, p. 3043–3054, 2018. <https://doi.org/10.1093/jas/sky209>
- ALQAISI, O.; NDAMBI, O. A.; WILLIAMS, R. B. Time series livestock diet optimization: cost-effective broiler feed substitution using the commodity price spread approach. **Agricultural and Food Economics**, v. 5, p. 1-19, 2017. <https://doi.org/10.1186/s40100-017-0094-9>
- ARCHER J. A.; RICHARDSON E. C.; HERD R. M.; ARTHUR P. F. Potential for selection to improve efficiency of feed use in beef cattle: a review. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 50, p. 147-162, 1999. <https://doi.org/10.1071/A98075>
- ARCHER, J. A., ARTHUR, P. F., HERD, R. M., PARNELL, P. F., & PITCHFORD, W. S. Optimum postweaning test for measurement of growth rate, feed intake, and feed efficiency in British breed cattle. **Journal of animal science**, v. 75, n. 8, p. 2024-2032, 1997. <https://doi.org/10.2527/1997.7582024x>
- ARTHUR, P. F.; ARCHER, J. A.; JOHNSTON, D. J.; HERD, R. M.; RICHARDSON, E. C.; PARNELL, P. F. Genetic and phenotypic variance and covariance components for feed intake, feed efficiency and other postweaning traits in Angus cattle. **Journal of Animal Science**, v. 79, p. 2805-2811, 2001. <https://doi.org/10.2527/2001.79112805x>
- ARTHUR, P. F.; HERD, R. M.; WILKINS, J. F.; ARCHER, J. A. Maternal productivity of Angus cows divergently selected for post-weaning residual feed intake. **Animal Production Science**, v. 45, p. 985-993, 2005. <https://doi.org/10.1071/EA05052>
- ARTHUR, J. PF; HERD, R. M. Residual feed intake in beef cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 269-279, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008001300031>
- BASARAB, J. A.; PRICE, M. A. ; AALHUS, J. L. ; OKINE, E. K.; SNELLING, W. M.; LYLE, K. L. Residual feed intake and body composition in young growing cattle, **Canadian Journal of Animal Science**, v. 83, n. 2, 2003. <https://doi.org/10.4141/A02-065>
- BEEF IMPROVEMENT FEDERATION. Animal evaluation. In Guidelines for uniform beef improvement programs, **Beef Improvement Federation**, North Carolina State University, Raleigh, NC, USA, pp. 16–55, 2010.
- BERRY, D. P.; CROWLEY, J. J. Cell biology symposium: genetics of feed efficiency in dairy and beef cattle. **Journal of animal science**, v. 91, n. 4, p. 1594-1613, 2013. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5862>
- BERRY, D. P.; CROWLEY, J. J. Residual intake and body weight gain: a new measure of efficiency in growing cattle. **Journal of animal science**, v. 90, n. 1, p. 109-115, 2012. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4245>
- BOLORMAA, S.; HAYES, B. J.; SAVIN, K.; HAWKEN, R.; BARENDSE, W.; ARTHUR, P. F.; HERD, R. M.; GODDARD, M. E. Genome-wide association studies for feedlot and growth traits in cattle. **Journal of Animal Science**, v. 89, n. 6, p. 1684-1697, 2011 <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3079>

- BLACK, T. E. ; BISCHOFF, K. M.; MERCADANTE, V. R. G. ; MARQUEZINI, G. H. L.; DILORENZO, N.; CHASE, C. C. ; COLEMAN, JR., S. W. ; MADDOCK, T. D. ; LAMB, G. C. Relationships among performance, residual feed intake, and temperament assessed in growing beef heifers and subsequently as 3-year-old, lactating beef cows. **Journal of Animal Science**, v. 91, n. 5, p. 2254–2263, 2013. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5242>
- BRUNES, L.C.; DE FARIA, C.U.; MAGNABOSCO, C.U.; LOBO, R. B.; PERIPOLLI, E.; AGUILAR, I.; BALDI, F. Genomic prediction ability and genetic parameters for residual feed intake calculated using different approaches and their associations with growth, reproductive, and carcass traits in Nellore cattle. **Journal of Applied Genetics**, v. 64, p. 159–167, 2023. <https://doi.org/10.1007/s13353-022-00734-8>
- BRUNES L. C., BALDI F., LOPES F. B., LOBO R. B., ESPIGOLAN R., COSTA M. F. O., MAGNABOSCO C. U. Selection criteria for feed efficiency-related traits and their association with growth, reproductive and carcass traits in Nelore cattle. **Animal Production Science**, v. 61, p. 1633-1642, 2021. <https://doi.org/10.1071/AN20487>
- CARSTENS, G. E.; TEDESCHI, L. O. Defining feed efficiency in beef cattle. In: Proceedings of Beef Improvement Federation 38th Annual Research Symposium and Annual Meeting, Choctaw, Mississippi, p. 12-21, 2006.
- CASSADY, C. J.; FELIX, T. L.; BEEVER, J. E.; SHIKE, D. W. Effects of timing and duration of test period and diet type on intake and feed efficiency of Charolais-sired cattle. **Journal of animal science**, v. 94, n. 11, 2016.
- CHIZZOTTI, M. L.; MACHADO, F. S.; VALENTE, E. E. L.; PEREIRA, L. G. R. ; CAMPOS, M. M.; TOMICH, T. R.; COELHO, S. G. ; RIBAS, M. N. Validation of a system for monitoring individual feeding behavior and individual feed intake in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 5, p. 3438-3442, 2015. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8925>
- CULBERTSON, M. M.; SPEIDEL, S. E.; PEEL, R. K.; COCKRUM, R. R.; THOMAS, M. G.; ENNS, R. M. Optimum measurement period for evaluating feed intake traits in beef cattle. **Journal of animal science**, v. 93, n. 5, p. 2482-2487, 2015. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8364>
- CREWS JR, D. H.; CARSTENS, G. E.; LANCASTER, P. A. Development of a multiple trait selection index for feedlot traits in beef cattle including feed efficiency. Western Section, **Animal Society of Animal Science**, 2005.
- DE LOS CAMPOS, G.; HICKEY, J. M. M.; PONG-WONG, R.; DAETWYLER, H. D. D.; CALUS, M. P. L. Whole Genome Regression and Prediction Methods Applied to Plant and Animal Breeding. **Genetics**, v. 193, n. 2, p. 347-365, 2013. <https://doi.org/10.1534/genetics.112.147983>
- FERNANDEZ, E. E.; OLTJEN, J. W.; SAINZ, R. D. Mitochondrial abundance and function in muscle from beef steers with divergent residual feed intakes. **Animal**, v. 14, n. 3, p. 560-565, 2020. <https://doi.org/10.1017/S1751731119002209>
- GOMES, M. M. A. G.; LÔBO, R. B.; DE FARIA, C. U. Genetic correlation between feed efficiency and carcass traits in Nellore cattle in Brazil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 44, n. 1, p. 97-112, 2023. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2023v44n1p97>

- GRION, A. L.; MERCADANTE, M. E. Z.; CYRILLO, J. N. S. G.; BONILHA, S. F. M.; MAGNANI, E.; BRANCO, R. H. Selection for feed efficiency traits and correlated genetic responses in feed intake and weight gain of Nellore cattle. **Journal of Animal Science**, v. 92, n. 3, p. 955-965, 2014. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6682>
- HERD, R. M.; HEGARTY, R. S.; DICKER, R. W.; ARCHER, J. A.; ARTHUR, P. F. Selection for residual feed intake improves feed conversion in steers on pasture. **Animal Production Science**, v. 24, p. 85-88, 2002.
- KELLY, A. K.; MCGEE, M.; CREWS, D. H.; SWEENEY, T. BOLAND, T. M.; KENNY, D. A. Repeatability of feed efficiency, carcass ultrasound, feeding behavior, and blood metabolic variables in finishing heifers divergently selected for residual feed intake. **Journal of Animal Science**, v. 88, n. 10, p. 3214–3225. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2700>
- KOCH, R. M.; SWIGER, L. A.; CHAMBERS, D.; GREGORY, K. E. Efficiency of feed use in beef cattle. **Journal of animal science**, v. 22, n. 2, p. 486-494, 1963. <https://doi.org/10.2527/jas1963.222486x>
- LANNA, D. P.; ALMEIDA, R. Residual Feed Intake: um novo critério de seleção. Simpósio da Sociedade Brasileira de Melhoramento Animal, v. 5, 2004.
- LUSH, J. L. **Animal Breeding Plans**. Ames, IA: Collegiate Press, Inc.; 1937.
- MEYER, K.; HOULE, D. Sampling based approximation of confidence intervals for functions of genetic covariance matrices. In: **Proceedings Association for Advancement of Animal Breeding and Genetics**, p. 523-526, 2013.
- MARZOCCHI, M. Z.; SAKAMOTO, L. S.; CANESIN, R. C.; CYRILLO, J. S. G.; MERCADANTE, M. E. Z. Evaluation of test duration for feed efficiency in growing beef cattle. **Tropical Animal Health and Production**, v. 52, p. 1533-1539, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-02161-0>
- MENDES, E. D. M.; FARIA, C. U.; SAINZ, R. D.; SILVEIRA, A. C. L.; MAGNABOSCO, C. U.; EIFERT, E. C.; BALDI, F.; VENTURA, H. T.; DE CASTRO, L. M.; CAVALCANTI, L. F. L.; JOSAHKIAN, L. A.; SILVA, L. O. C.; MERCADANTE, M. E. Z.; RIBAS, M. N.; LÔBO, R. B.; ARNANDES, R. H. B.; GOMES, R. C.; FARJALLA, Y. B. **Procedimentos para mensuração de consumo individual de alimento em bovinos de corte** (2ª ed.). ANCP. ISBN: 978-65-86597-00-4.
- MONTANHOLI, Y.; FONTOURA, A.; SWANSON, K.; COOMBER, B.; YAMASHIRO, S.; MILLER, S. Small intestine histomorphometry of beef cattle with divergent feed efficiency. **Acta Vet Scand**, v. 55, n. 9, 2013. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-55-9>
- MORAES, G. F.; ABREU, L. R. A.; FERREIRA, I. C.; PEREIRA, I. G. Genetic analysis of residual feed intake adjusted for fat and carcass and performance traits in a Nellore herd. **Ciência Rural**, v. 47, n. 2, p. 1–6, 2017. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20151505>
- MUELLER, M. L.; EENENNAAM, A. L. Synergistic power of genomic selection, assisted reproductive technologies, and gene editing to drive genetic improvement of cattle. **CABI Agriculture and Bioscience**, v. 3, n. 1, p. 13, 2022. <https://doi.org/10.1186/s43170-022-00080-z>.
- NIELSEN, M. K., MACNEIL, M. D., DEKKERS, J. C. M., CREWS JR, D. H., RATHJE, T. A., ENNS, R. M., & WEABER, R. L. Life-cycle, total-industry genetic improvement of feed efficiency in beef cattle: Blueprint for the Beef Improvement Federation. **The Professional**

Animal Scientist, v. 29, n. 6, p. 559-565, 2013. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30285-0](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30285-0)

OLIVEIRA, P. S.; CESAR, A. S. M.; NASCIMENTO, M. L.; CHAVES, A. S.; TIZIOTO, P. C.; TULLIO, R. R.; LANNA, D. P. D.; ROSA, A. N.; SONSTEGARD, T. S.; MOURAO, G. B.; REECY, J. M.; GARRICK, D. J.; MUDADU, M. A.; COUTINHO, L. L.; REGITANO, L. C. A. Identification of genomic regions associated with feed efficiency in Nelore cattle. **BMC Genetics**, v. 15, n. 100, 2014. <https://doi.org/10.1186/s12863-014-0100-0>

OLIVIERI, B. F.; MERCADANTE, M. E. Z.; CYRILLO, J. N. S. G.; BRANCO, R. H.; BONILHA, S. F. M.; ALBUQUERQUE, L. G.; SILVA, R. M. O.; BALDI, F. Genomic regions associated with feed efficiency indicator traits in an experimental Nelore cattle population. **PLoS ONE**, v. 141, n. 6, p. 643-655, 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0164390>

SAINZ, R. D.; BALDI, B.; TEMP, L. B.; RIBEIRO, L. B. Estimation of genetic parameters for maintenance energy requirements and residual feed intake in Nelore cattle. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v. 141, n. 6, p. 643-655, 2024. <https://doi.org/10.1111/jbg.12870>

SANTANA, M. H. A.; OLIVEIRA, G. A. JR.; GOMES, R. C.; SILVA, S. L.; LEME, P. R.; STELLA, T. R.; MATTOS, E. C.; ROSSI, P. JR.; BALDI, F. S.; ELER, J. P.; FERRAZ, J. B. S. Genetic parameter estimates for feed efficiency and dry matter intake and their association with growth and carcass traits in Nelore cattle. **Livestock Science**, v. 167, 80–85, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.06.002>

SANTANA, M. H. A.; UTSUNOMIYA, Y. T.; NEVES, H. H. R.; GOMES, R. C.; GARCIA, J. F.; FUKUMASU, H.; SILVA, S. L.; OLIVEIRA JUNIOR, G. A.; ALEXANDRE, P. A.; LEME, P. R.; BRASSALOTI, R. A.; COUTINHO, L. L.; LOPES, T. G.; MEIRELLES, F. V.; ELER, J. P.; FERRAZ, J. B. S. Genome-wide association analysis of feed intake and residual feed intake in Nelore cattle. **BMC Genetics**, v. 15, p. 1-8, 2014b. <https://doi.org/10.1186/1471-2156-15-21>

SARON, R. A. Viabilidade econômica em sistema de engorda de bovinos de corte: um estudo de caso. 2022.

SHAFFER, K. S.; TURK, P.; WAGNER, W. R.; FELTON, E. E. D. Residual feed intake, body composition, and fertility in yearling beef heifers. **Journal of Animal Science**, v. 89, p. 1028-1034, 2011. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3322>

SWIGER, L. A.; HAZEL, L. N. Optimum length of feeding period in selecting for gain of beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 20, n. 1, p. 189-194, 1961. <https://doi.org/10.2527/jas1961.201189x>

G. MANAFIAZAR, G.; BASARAB, J. A.; L. MCKEOWN, L.; STEWART-SMITH, J.; BARON, V.; MACNEIL, M. D.; PLASTOW, G. Test duration for growth, feed intake, and feed efficiency in beef cattle using the GrowSafe System. **Canadian journal of animal science**, v. 97, n. 3, p. 456-465, 2017. <https://doi.org/10.1139/cjas-2016-0118>

TORRES JUNIOR, R. A. A.; SILVA, L. O. C.; FAVERO, R.; GOMES, R.C.; GONDO, A.; TSURUTA, S.; COSTA, M.V.; OKAMURA, V.; MENEZES, G.R.O.; NOBRE, P.R.C.; NIETO, L. M. Is a 35-day feeding test with automatic daily weighting good enough for evaluating beef cattle for feed efficiency traits?. In: Interbull Annual Meeting. **Proceedings of Interbull Annual Meeting**, Auckland, NZ, 2018.

WANG, Z.; . NKRUMAH, J. D.; LI, C.; BASARAB, J. A.; GOONEWARDENE, L. A. ; OKINE, E. K. ; CREWS, D. H.; MOORE, S. S. Test duration for growth, feed intake, and feed efficiency in beef cattle using the GrowSafe System. **Journal of animal science**, v. 84, n. 9, p. 2289-2298, 2006. <https://doi.org/10.2527/jas.2005-715>

GRION, A. L.; MERCADANTE, M. E. Z.; CYRILLO, J. N. S. G.; BONILHA, S. F. M.; MAGNANI, E.; BRANCO, R. H. Selection for feed efficiency traits and correlated genetic responses in feed intake and weight gain of Nellore cattle. **Journal of Animal Science**, v. 92, n. 3, p. 955-965, 2014.

YANG, J.; LEE, S. H.; GODDARD, M. E.; VISSCHER, P. M. Genome-wide complex trait analysis (GCTA): methods, data analyses, and interpretations. **Methods in Molecular Biology**, v. 1019, p. 215-36, 2013. https://doi.org/10.1007/978-1-62703-447-0_9

CAPÍTULO 2 – INFLUENCE OF THE TEST PERIOD ON THE MEASUREMENT OF AVERAGE DAILY GAIN FOR THE PURPOSE OF GENETIC EVALUATION OF FEED EFFICIENCY TRAIT IN NELLORE CATTLE

INFLUENCE OF THE TEST PERIOD ON THE MEASUREMENT OF AVERAGE DAILY GAIN FOR THE PURPOSE OF GENETIC EVALUATION OF FEED EFFICIENCY TRAIT IN NELLORE CATTLE

Highlights

The 70-day test period with weighings every 14 days is ideal for calculated ADG and RFI in Nellore cattle.

Reducing the test period to 56 days with weekly weighings is also a viable option.

Updating feed efficiency manuals based on the latest scientific and technological discoveries is crucial for the continued success and evolution of genetic improvement programs.

ABSTRAT

This study evaluated the influence of the test period on the measurement of average daily gain (ADG) used to predict residual feed intake (RFI) for the genetic evaluation of feed efficiency in Nellore cattle. Twenty-seven male Nellore cattle (mean initial age 18 ± 0.91 months) from 13 different farms were evaluated at the Capim Branco Experimental Farm of the Federal University of Uberlândia. ADG was estimated as the linear regression coefficient of weights over the test period, and RFI was calculated as the difference between observed and expected dry matter intake. Seven evaluation scenarios were compared: REF (70-day test with daily weighing); A (49-day test with daily weighing); B (42-day test with daily weighing); C (35-day test with daily weighing); D (56-day test with weekly weighing); E (70-day test with weighings every 14 days); and F (56-day test with weighings every 14 days). Spearman correlation was used to compare animal rankings in each scenario relative to REF. For ADG, scenario E showed the highest correlation ($r = 0.95$, with 90% of animals maintaining their ranking) followed by scenario D ($r = 0.93$), whereas scenarios B and C maintained only 71% concordance. For RFI, scenarios A, D, and E demonstrated correlations around 0.98, with 96% of animals retaining their ranking. In conclusion, a 70-day test with weighings every 14 days is the most reliable for evaluating gross feed efficiency, although the test period can be reduced to 56 days with weekly weighing or to 49 days with daily weighing without compromising prediction reliability.

Key words: Beef cattle. Residual feed intake. Test duration.

Introduction

The feed efficiency (FE) in beef cattle is defined as the individual capacity of each animal to convert ingested feed into animal-origin products (Gomes et al. 2012). Among the traits used to measure feed efficiency, residual feed intake (RFI) is the most utilized in genetic improvement programs aimed at identifying animals that are genetically efficient in utilizing ingested feed (Mendes et al. 2020). RFI is obtained through a linear model initially proposed by (Koch et al. 1963), calculated as the difference between observed dry matter intake (DMI_{obs}) and expected dry matter intake (DMI_{exp}), considering data on metabolic body

weight (MBW) and average daily gain (ADG) of the animal, measured over a specific period within a group of contemporary animals.

In Brazil, the main limitation to including RFI and DMI traits in genetic improvement programs is the challenge of obtaining accurate phenotypic data from animals, which are necessary for estimating genetic parameters and predicting genetic values for these traits (Mendes et al. 2020). Currently, the collection of phenotypic information is conducted through feed efficiency tests (FET) following the criteria outlined in the feed efficiency testing guidelines manual (Mendes et al. 2020). Despite the availability of electronic feeders for measuring DMI, a significant hurdle remains in the high costs associated with implementing and maintaining this equipment and software, as well as obtaining skilled labor (Chizzotti et al. 2015).

The acquisition of the RFI phenotype for genetic evaluation purposes depends on the measurement of ADG, represented by β , which is estimated through a linear regression equation. This equation considers the animal's weight on the test day, its weight at the start of the trial, and the random error associated with each observation, according to the procedures for measuring individual feed intake in beef cattle (Mendes et al. 2020). Studies by (Leme & Guedes 2005) have demonstrated that differences in measurement age lead to differences in growth and, consequently, in ADG. As the animal grows, dry matter intake (DMI) increases until it reaches a threshold, after which fat deposition rises and both growth rate and DMI decline.

Several studies have evaluated the duration of feed efficiency tests (FET) required for measuring ADG, metabolic body weight, and dry matter intake without compromising the quality of RFI prediction. For Nellore bulls, (Marzocchi et al. 2020) recommended a minimum FET period of 71 days, while (Ahlberg et al. 2018) suggested 70 days for crossbred taurine animals, with evaluations conducted every 14 days. Alternatively, automated daily weighing systems have enabled this period to be reduced to 58 days for Nellore and Guzera animals (Crozara et al. 2022). Additionally, (Mendes et al. 2020) proposed that for beef cattle, a minimum period of 42 days can be sufficient as long as the standard error of ADG for each evaluated animal remains below 31%. Reducing the duration of FET brings several advantages, including cost savings, more efficient use of equipment, the ability to assess more animals in less time, and, consequently, greater profitability in livestock production through the identification of a larger number of efficient animals (Marzocchi 2017; Manafiazar et al. 2017).

Thus, the aim of this study was to evaluate the influence of the test period on the measurement of average daily gain (ADG), used in the prediction of residual feed intake (RFI), for the purpose of genetic evaluation of feed efficiency in Nellore cattle.

Material and methods

The feed efficiency test was conducted at the Federal University of Uberlândia (UFU), at the Capim Branco Experimental Farm, located in the municipality of Uberlândia, Minas Gerais, Brazil (latitude: 18°53'23"S, longitude: 48°17'19"W).

A total of 27 Nellore cattle, purebred (PO) males with an average initial age of 18 ± 0.91 months, were evaluated. These animals originated from 13 farms located in the states of Minas Gerais, Goiás, and São Paulo. For the evaluation, the animals were housed in collective pens for a total of 91 days, with the first 21 days allocated for adaptation and the subsequent 70 days for the effective test period. The pens were equipped with the GrowSafe® electronic feeding system (GrowSafe Systems Ltd., Airdrie, Alberta, Canada), which provided ad libitum access to the diet and water. The confinement area spanned 1,680 m² (42 m x 40 m), divided

into two smaller pens, with a central water trough holding 2,600 liters. All evaluated animals were housed in a single pen (21 m x 40 m), equipped with four GrowSafe® electronic feeding stations. The animals formed a group of contemporaries (GC), meaning they were of the same breed, born during the same season (a maximum age difference of 90 days), and subjected to the same sex, previous dietary conditions, and management lot.

During the first 7 days of adaptation, the forage-to-concentrate ratio in the diet was 80:20 (adaptation phase 1), being adjusted to 60:40 in the final phase (adaptation phase 2) during the last 14 days (table 1).

In the evaluation phase, the diet followed a ratio of 60% forage and 40% concentrate, provided from the first test day (D-0). The feed composition included corn silage and the commercial feed Taurus 22 AG® (Table 1), in accordance with NRC (2000) recommendations. Feeding was carried out twice daily (at 9 a.m. and 3 p.m.) using a total mixed ration (TMR) mixer. To ensure unrestricted intake, the amount of feed offered was adjusted daily, ensuring a 10% surplus of the total provided. Additionally, dry matter analyses of the total diet and silage were performed every 14 days.

Animals were weighed daily at 8 a.m. throughout the 91 day period before feeding, without fasting, to enhance the accuracy of weight and weight gain estimation and reduce bias caused by gastrointestinal fill. A Beckhauser® electronic scale connected to a handling chute was used, weighing one animal at a time and taring the scale for each measurement. All test data were collected in accordance with the guidelines outlined in the feed efficiency testing manual (Mendes et al. 2020).

Dry matter intake (DMI, kg of DM/day) was calculated, and both average daily gain (ADG, kg/day) and residual feed intake (RFI, kg of DM/day) were calculated. The DMI was determined as the average of daily observations obtained through the GrowSafe® system. The average daily gain (ADG) was estimated using the following linear regression equation:

$$y_i = \alpha + \beta * DET_i + \epsilon_i,$$

where Y_i is the weight of the animal at the i -th observation; α is the intercept; β is the linear regression coefficient and represents the ADG; DET_i is the test day at the i -th observation, and ϵ_i is the random error associated with each observation. To assess the reliability of the ADG information, the standard error of the regression coefficient was calculated.

The average metabolic live weight (AMLW) was calculated as:

$$AMLW = [\alpha + \beta * (DET/2)]^{0.75}$$

where α is the intercept of the equation, β is the linear regression coefficient, and DET represents the days on test.

The RFI trait was measured using the equation described by (Koch et al. 1963):

$$RFI = DMI_{obs} - DMI_{exp}$$

In which DMI_{obs} represents the average observed dry matter intake, and DMI_{exp} is the expected dry matter intake. According to (Koch et al. 1963), the DMI_{exp} was obtained through the following formula:

$$DMI_{exp} = \beta_0 + (\beta_1 \times ADG) + (\beta_2 \times AMLW)$$

Where the information on observed dry matter intake (DMI_{obs}), average daily weight gain (ADG), and average metabolic live weight (AMBW) of all animals in the test was used to predict the coefficients (β) of the multiple linear regression equation.

To assess the influence of the testing period on the prediction of ADG, 7 (seven) scenarios were considered, based on the testing period and the number of weighings. It is noteworthy that the testing periods are multiples of seven to facilitate the weighing management on farms, and the reference scenario (REF) was considered as the comparison criterion with the other proposed methods of ADG measurement (weighing protocols) adopting two strategies: daily weighings and/or periodic weighings. The scenarios (Table 2) evaluated were: REF scenario (70 days of evaluation and daily weighings); scenario A (49 days of evaluation and daily weighings); scenario B (42 days of evaluation and daily weighings); scenario C (35 days of evaluation and daily weighings); scenario D (56 days of evaluation and weighings every 7 days); scenario E (70 days of evaluation and weighings every 14 days); and scenario F (56 days of evaluation and weighings every 14 days). The variables ADG and RFI were calculated for each proposed scenario.

The statistical criteria used to assess the ideal duration of the test were the variance estimates and Spearman's correlation (rank correlation). Considering that the change in relative percentage variation cannot be considered the sole source of information for determining the optimal duration of the feed efficiency test (Wang et al. 2006), but rather associated with correlation estimates, aiming for values closer to one between the reduced period and the reference recommended for the animal species (Manafiazar et al. 2017). For structuring the data files, the Statistical Analysis System (SAS 2004) software was used. For estimating variances and Spearman correlations, the GLM and REG procedures of SAS software (SAS 2004) were considered.

Results

It was observed that there were no notable differences in the predicted average daily gain (ADG) means across the different scenarios compared to the reference scenario (REF). The highest coefficient of variation estimate was observed in scenario C, which proposed the shortest test period (35 days). However, in all scenarios, the coefficients of variation were low, demonstrating the quality of the ADG predictions for the evaluated animals. The average ADG across scenarios ranged from 1.607 kg to 1.811 kg (Table 3).

Scenario C showed the highest standard deviation (0.35 kg/day), while scenarios A and E had the lowest standard deviation values (0.27 kg/day), identical to the value obtained in the REF scenario (daily weighing over a 70-day test period). In the daily weighing method (scenarios A, B, and C), as the test period increased, both the coefficient of variation and the standard error of the slope coefficient decreased. These observations are likely due to the increase in the number of weighings, caused by the inclusion of successive repeated measures.

In the periodic weighing method (scenarios D, E, and F), the coefficient of variation remained, on average, at 16%. However, the average standard error of the slope coefficient was higher in the periodic weighing method (ranging from 0.11 kg/day to 0.14 kg/day), as expected due to the reduction in the number of live weight observations and the increase in the interval between measurements. It is noteworthy that the 56-day test period with weekly weighings (scenario D) had the same average standard error of ADG as the 70-day test period with weighings every 14 days (scenario E).

In general, it can be inferred that for ADG prediction, all scenarios exhibited low coefficients of variation and average standard errors. However, when considering daily weighings, scenario A presented the highest reliability for ADG predictions. When considering scenarios with periodic weighings, scenarios E and D provided the best ADG predictions.

In scenarios with daily weighings (scenarios A, B, and C), the increase in test duration resulted in a decrease in the coefficient of variation and an increase in the coefficient of determination. In contrast, in the periodic weighing scenarios (scenarios D, E, and F), both the coefficient of variation and the coefficient of determination remained similar, regardless of the reduced frequency of weighings (Table 4). This difference between methods highlights that the higher number of observations in the daily weighing scenarios contributed to greater precision, while the periodic scenarios showed stability despite longer intervals between measurements.

Scenarios with daily weighings (A, B, and C) resulted in a higher number of live weight observations, which likely contributed to the improved fit of the linear regression equation used for ADG prediction. However, the test duration in these scenarios was limited to a maximum of 49 days, which is shorter than the duration in the periodic weighing scenarios (D, E, and F), where the evaluation period was longer (Table 4). Thus, it can be inferred that longer test periods allow for better fitting of the linear regression equation for ADG prediction. This can be explained by the fact that a longer measurement period for ADG provides a more accurate interpretation of the animals' actual growth.

To assess changes in animal classifications across different scenarios for ADG prediction, Spearman's correlation coefficients were estimated (Table 5). All estimates of Spearman's correlation coefficients for ADG were significant ($P < 0.0001$). It was observed that scenario E (a 70-day test period with periodic weighings every 14 days) resulted in the highest Spearman correlation (0.95) in relation to the reference scenario (REF), meaning that 90% (coefficient of determination) of the animals classified for ADG showed no change in ranking. The second-best proposed test period (Table 5) was scenario D, where a Spearman correlation coefficient of 0.93 was obtained, with 86% of the animals maintaining their classification compared to the REF scenario. However, it was noted that the largest changes in animal classification occurred in scenarios B and C, where only 71% of the animals maintained their ranking compared to the REF scenario for ADG. This again emphasizes that the number of test days has a greater influence on the quality of ADG predictions than the number of weighings performed in a shorter test period.

It was observed that, for the test periods with daily weighings, scenarios A, B, and C resulted in the highest standard deviation values for residual feed intake (RFI), being equal to or greater than 0.90 kg of DM/day. In the method with reduced periodic weighings (scenarios D, E, and F), the standard deviation ranged from 0.84 to 0.88 kg of DM/day (Table 6). All estimates of Spearman's correlation coefficients were significant ($P < 0.0001$; Table 7).

It was found that scenarios A, D, and E resulted in the least change in the animals' ranking, with a Spearman correlation coefficient close to one (0.98), meaning that 96% of the animals did not experience any change in the RFI ranking compared to the reference scenario (REF). The greatest change in ranking was observed in scenarios B and C (0.94), where 88% of the animals remained with the same RFI classification.

Discussion

The absence of significant differences in mean daily gain (ADG) values across the various scenarios evaluated highlights the robustness of the method adopted for predicting

this variable. Even in scenarios with reduced weighing frequency, the results demonstrated high consistency, reflecting the model's ability to handle different measurement conditions without compromising the quality of the estimates. This behavior is especially relevant for practical applications, as it provides operational flexibility without significant losses in reliability.

On the other hand, the inferior performance of scenario C, with only 35 days of testing, reinforces the limitation of very short periods for ADG measurement. This scenario showed a higher standard error and greater variability, suggesting that overly reducing the evaluation period compromises the accuracy of the estimates. This result is consistent with previous studies that highlight the need for a minimum duration in feed efficiency tests to ensure consistent and comparable predictions.

The highlight of the study was the equivalence of results between scenarios D and E. Scenario D, with 56 days and weekly weighings, showed similar performance to scenario E, which has 70 days and biweekly weighings. This similarity demonstrates that it is possible to reduce the test duration to 56 days without significant loss of reliability, as long as the weighing frequency is adequate. This reduction not only decreases operational costs but also allows for greater animal turnover, enhancing the efficiency of breeding programs.

The superior performance of scenario A in the daily weighing method also deserves consideration. Scenarios with higher measurement frequency offer clear advantages in reducing the standard error and fitting the linear regression model, thereby providing greater accuracy. However, these advantages come with higher costs and greater logistical complexity, which may limit large-scale implementation. Methods with periodic weighings, such as scenarios D and E, proved to be more advantageous in terms of operational feasibility and cost reduction, while still maintaining highly reliable results.

Thus, adopting scenarios D or E emerges as a promising strategy for breeding programs, combining technical reliability with economic efficiency. The ability to adjust the duration of tests and the frequency of weighings according to objectives and available resources represents a significant advancement in the management of these programs. These results indicate that it is possible to achieve a balance between cost and accuracy, promoting more accelerated and sustainable genetic progress in cattle production. This result shows that reducing the test to 56 days, with weekly weighings, maintains the reliability of ADG estimates when compared to a 70-day test with weighings every 14 days (Scenario E), a scenario currently used in breeding programs in Brazil (Mendes et al. 2020). It also indicates the possibility of opting for both scenarios, with the reduction in duration and costs being more advantageous for feed efficiency tests (Manafiazar et al. 2017).

Mendes et al. (2020) recommended the termination of the feed efficiency test (FET) after 56 days with weighings every 14 days, provided there is a minimum of 35 days of valid intake and the relative standard error of the ADG data collected is less than or equal to 31% for each individual animal and for all animals in the group. In the study by (Crozara et al. 2022), the possibility of reducing the FET duration to 58 days for the ADG trait was suggested by using an automated weighing system.

The difference observed between the scenarios (Table 4) can be explained by the duration of the test period in the daily weighing scenarios, especially scenario A (49 days), which is shorter than the minimum recommended period of 56 days for tests without automated daily weighing, as established by (Mendes et al. 2020). In the periodic weighing method, the shortest evaluated period was 56 days, in line with the mentioned guidelines, ensuring greater stability in the results. Thus, the periodic scenarios appear to be more

feasible for programs that need to balance accuracy and cost, while the daily scenarios may be more suitable for studies that prioritize maximum statistical accuracy.

Although daily weighings offer the advantage of generating a larger number of data points, the short duration of the test periods (maximum of 49 days) may compromise the quality of the estimates, especially when compared to periodic weighing scenarios that span longer periods (Table 4). Longer periods allow for the collection of more representative data on the animals' growth over time, resulting in a better interpretation of ADG. Thus, scenarios D, E, and F stand out not only for their economic feasibility due to less frequent weighings but also for providing greater reliability by reflecting the real growth of cattle in longer tests. This suggests that the choice of measurement method should consider the balance between the frequency of data collection, the test duration, and the accuracy of the predictions.

The values presented by the Spearman correlation coefficients (Table 5) for the ADG variable show that shorter test periods, such as in scenarios B and C, negatively impact the stability of animal rankings, even when the frequency of weighings is high. This inconsistency is attributed to the limited time available to observe the real performance of the animals, which compromises the quality of the estimates. On the other hand, the performance of scenario D, with a longer period and less frequent weighings, demonstrates that it is possible to achieve greater stability in the rankings by prioritizing the test duration over the number of measurements.

This analysis reinforces the importance of considering test duration as a determining factor in the reliability of ADG predictions in breeding programs. Although scenario B, due to the shorter test duration (42 days), is widely adopted for its practicality, its effectiveness may be limited in situations where high precision is critical. Thus, scenarios such as D and E offer a balance between operational cost and consistency, making them more robust alternatives for applications that require greater technical rigor. The choice of the ideal scenario should therefore consider the specific needs of the program and the genetic selection objectives. It is important to note that, currently, the test durations adopted by breeding programs, following the procedures proposed by (Mendes et al. 2020), are scenarios B, E, and F, with scenario B being the most commonly used due to the shorter test period (42 days).

Studies by two different groups found minimum FET periods for estimating ADG that differ from those observed in this study. (Castilhos et al. 2011) found that for ADG evaluation in FET with Nellore cattle, a minimum evaluation period of 84 days is required, compared to a total period of 112 days, due to the greater variation of this trait over time (due to differences in gastrointestinal content between weighings). Meanwhile, (Marzocchi 2017) identified that the test period for this variable could be 71 days.

According to (Steel et al. 1997), the Spearman correlation provides reliable and decisive results for determining the ideal test period, as it indicates that animals maintain their rankings across different evaluation periods. (Archer & Bergh 2000) recommended a minimum of 70 days of duration in FET for RFI evaluation, while research by (Wang et al. 2006) reported that 63 days are sufficient. In the study by (Marzocchi 2017), it was reported that the CAR test can be reduced to 56 days, compared to the 70 days typically recommended for evaluation. In a study with Brangus and Devon cattle (Felix 2022), a Pearson correlation of 0.97 was found for a 42-day test period, indicating little change in animal classification for CAR compared to the 70-day test, concluding that this reduction in time still reliably predicts CAR values from a 70-day test. (Culbertson et al. 2015) found a slightly lower Spearman correlation (0.95) when data were collected in a 56-day test compared to this study, which reported a correlation of 0.98 for the same evaluation period.

The results of this study indicate that the accuracy of ADG and RFI measurements in Nellore cattle is influenced by the test period and the frequency of weighings. Scenario E (70 days with weighings every 14 days) was the most effective, showing a high correlation with the reference scenario for both ADG and CAR. This result is consistent with the findings of (Ahlberg et al. 2018), who reported that a 70-day period is adequate for evaluating feed efficiency in crossbred taurine cattle.

The minimal change in animal rankings in scenario D for CAR and ADG suggests that reducing the test period to 56 days, with weekly weighings, may be feasible without significantly compromising genetic prediction accuracy. These findings align with studies by (Crozara et al. 2022), who also observed that shorter test periods can be effective when weighing frequency is increased.

Accuracy in estimating CAR is crucial for selecting more efficient animals, as this trait has moderate heritability and is associated with lower feed intake without compromising productive performance (Berry & Crowley 2013). Studies by (Terry et al. 2020) demonstrated that CAR estimation accuracy can be improved with the use of advanced measurement and modeling technologies, such as the adoption of electronic feeders and mixed regression analysis.

On the other hand, scenarios B and C, which showed the greatest changes in animal rankings, indicate that very short periods or insufficient weighing frequencies may compromise the accuracy of ADG and CAR estimates. This behavior was also observed by (Mendes et al. 2020), who emphasized the importance of an adequate test period to avoid significant errors in genetic evaluation. Additionally, (Arthur et al. 2017) highlighted that weighing frequency has a direct impact on the accuracy of CAR estimates, suggesting that a longer interval between weighings may introduce significant variations in observed feed intake.

The reduction of the test period from 70 to 56 days, as suggested by this study, could result in substantial cost and time savings, allowing for a higher turnover of evaluated animals. (Marzocchi et al. 2020) also highlighted the importance of operational efficiency in feed efficiency evaluations, suggesting that shorter test periods are beneficial when they maintain measurement accuracy. Additionally, (Berry & Crowley 2012) argue that feed efficiency is an important economic trait, and reducing the evaluation period without loss of accuracy could accelerate genetic progress in breeding programs.

Accurate data collection on feed efficiency is crucial for modifying and improving the current feed efficiency manuals used in genetic improvement programs. The updating of these manuals should consider the latest findings on test duration and weighing frequency, incorporating new technologies and analysis methods that can enhance the accuracy and efficiency of evaluations. (Terry et al. 2020) emphasize that systematic and accurate collection of feed efficiency data allows for the identification of environmental and genetic factors influencing CAR variability, enabling adjustments in management and selection.

Furthermore, the implementation of an updated feed efficiency manual could contribute to standardizing evaluations across different breeding programs, promoting data comparability and the dissemination of best practices. The improvement of the feed efficiency manual is essential to keep up with technological and scientific advancements, ensuring that the methodologies used are the most suitable and accurate. (Marzocchi et al. 2020) emphasize that manual updates should include clear guidelines on the use of advanced technologies and the interpretation of collected data, ensuring the consistency and accuracy of evaluations. However, further studies on the test period are recommended, considering

different beef cattle breeds, to obtain phenotypes with higher reliability for use in genetic evaluation programs.

Conclusion

The test period for evaluating feed efficiency, with greater reliability in predicting the phenotypes of average daily gain (ADG) and residual feed intake (RFI), is 70 days with weighings at 14-day intervals. However, the test period for feed efficiency can be reduced to 56 days if weekly weighings are conducted.

Authors' Contributions: MARTINS, L.F.: Metodology, formal analysis, writing-Original Draft, Writing-Review & Editing; GOMES, M.M.A.: Writing-Original Draft, Writing-Review & Editing, Visualization, Final approval of the submitted version; SANTOS, R.M.: Writing-Review & Editing, Visualization, Final approval of the submitted version; MENDES, E.D.M.: supervision, formal, Writing-Review & Editing, Visualization, Final approval of the submitted version; FARIA, C.U.; Conceptualization, supervision, formal analysis, writing-Original Draft, Writing-Review & Editing, Visualization, Final approval of the submitted version.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Ethics Approval: Not applicable.

Acknowledgments: This study was funded in part by the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel- Brazil (CAPES)- Funding Code 001. Author R.M. Santos received a scholarship from the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) (PQ—Research Productivity, Process No. 306873/2022-2).

REFERÊNCIAS

- AHLBERG, C. M. et al. Test duration for water intake, ADG, and DMI in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 2018, **96**, 3043-3054. <https://doi.org/10.1093/jas/sky209>
- ARCHER, J. A. & BERGH, L. Duration of performance tests for growth rate, feed intake and feed efficiency in four biological types of beef cattle. *Livestock Production Science*, 2000, **65**, 47-55. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(99\)00181-5](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(99)00181-5)
- ARTHUR, P. F. et al. Optimizing test procedures for estimating daily methane and carbon dioxide emissions in cattle using short-term breath measures. *Journal of Animal Science*, 2017, **95**, 645-656. <https://doi.org/10.2527/jas.2016.0700>
- BERRY, D. P. & CROWLEY, J. J. Cell biology symposium: genetics of feed efficiency in dairy and beef cattle. *Journal of Animal Science*, 2013, **91**, 1594-1613. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5862>
- BERRY, D. P. & CROWLEY, J. J. Residual intake and body weight gain: a new measure of efficiency in growing cattle. *Journal of Animal Science*, 2012, **90**, 109-115. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4245>
- CASTILHOS, A. M. D. et al. Test post-weaning duration for performance, feed intake and feed efficiency in Nellore cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 2011, **40**, 301-307. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000200010>
- CROZARA, A. et al. Redução do período de avaliação da eficiência alimentar de zebuínos com a utilização de sistemas de alimentação e pesagem automatizados, 2022.
- CHIZZOTTI, M. L. et al. Validation of a system for monitoring individual feeding behavior and individual feed intake in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 2015, **98**, 3438-3442. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8925>
- CULBERTSON, M. M. et al. Optimum measurement period for evaluating feed intake traits in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 2015, **93**, 2482-2487. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8364>
- FELIX, L. D. Avaliação da duração do teste na estimativa do consumo alimentar residual em bovinos de corte. [Master's thesis]. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil, 2022.
- GOMES, R. da C. et al. Ingestão de alimentos e eficiência alimentar de bovinos e ovinos de corte: metodologia de avaliação e instalações para viabilizar a colheita de dados na fase pós-desmama. Ribeirão Preto: FUNPEC Editora, 2012.
- KOCH, R. M. et al. Efficiency of feed use in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 1963, **22**, 486-494. <https://doi.org/10.2527/jas1963.222486x>
- LEME, P. R. & GUEDES, C. Crescimento eficiente do animal pode aumentar rentabilidade. *Visão Agrícola*, 2005, **2**, 37-39.
- MANAFIAZAR, G. et al. Optimizing feed intake recording and feed efficiency estimation to increase the rate of genetic gain for feed efficiency in beef cattle. *Canadian Journal of Animal Science*, 2017, **97**, 456-465. <https://doi.org/10.1139/cjas-2016-0118>

MARZOCCHI, M. Z. et al. Evaluation of test duration for feed efficiency in growing beef cattle. *Tropical Animal Health and Production*, 2020, **52**, 1533-1539. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02253-w>

MENDES, E. D. M. et al. Procedimentos para mensuração de consumo individual de alimento em bovinos de corte. Ribeirão Preto: Associação Nacional de Criadores e Pesquisadores, 2020.

TERRY, S. A. et al. Strategies to improve the efficiency of beef cattle production. *Canadian Journal of Animal Science*, 2020, **101**, p. 1-19. <https://doi.org/10.1139/cjas-2020-0022>

WANG, Z. et al. Test duration for growth, feed intake, and feed efficiency in beef cattle using the GrowSafe System. *Journal of Animal Science*, 2006, **84**, 2289-2298. <https://doi.org/10.2527/jas.2005-715>

Table 1. Percentage of ingredients and nutritional composition of the diet during the adaptation phase and feed efficiency test based on dry matter.

Ingredients	Adaptation I (%)	Adaptation II (%)	Test (%)
Corn silage	80	60	60
Commercial feed ¹	20	40	40

¹Composition per kilogram of the commercial feed: calcium min. (7000 mg), calcium max. (18 g), cobalt (1 mg), copper (19.20 mg), sulfur (2000 mg), ether extract (25 g), FDA (180 g), iron (12 mg), crude fiber (120 g), phosphorus (3500 mg), iodine (1.1 mg), magnesium (1000 mg), manganese (54 mg), mineral matter (120 g), monensin (60 mg), potassium (1500 mg), crude protein (220 g), NNP – equivalent protein (95 g), selenium (0.48 mg), sodium (2900 mg), moisture (130 g), virginiamycin (40 mg), vitamin A (10000 IU), vitamin D3 (2000 IU), vitamin E (50 IU), and zinc (75 mg).

Table 2. Evaluation Scenarios for ADG and RFI Based on the Test Period.

Scenario	Test Period (days)	Weighing Day	Number of Weighings
REF	70	D0 a D70	71
A	49	D0 a D49	50
B	42	D0 a D42	43
C	35	D0 a D35	36
D	56	D0, D7, D14, D21, D28, D35, D42, D49 e D56	9
E	70	D0, D14, D28, D42, D56 e D70	6
F	56	D0, D14, D28, D42 e D56	5

Table 3. Descriptive Analysis of the Average Daily Gain (ADG) Variable Considering Different Scenarios During the Feed Efficiency Test in Nelore Cattle.

Scenarios	N	Mean (Kg/day)	SD	Minimum	Maximum	CV (%)	SE
REF	7	1,743	0,27	1,09	2,19	15,41	0,03
A	7	1,649	0,27	1,00	2,18	16,54	0,05
B	7	1,607	0,30	0,90	2,15	18,94	0,06
C	7	1,630	0,35	0,91	2,25	21,19	0,08
D	7	1,754	0,29	1,10	2,24	16,26	0,11

E	7	1,731	0,27	1,09	2,15	15,82	0,11
F	7	1,811	0,31	1,11	2,36	16,95	0,14

N: Number of animals; SD: Standard Deviation; Minimum: Minimum value; Maximum: Maximum value; CV: Coefficient of Variation; SE: Standard Error of the ADG Coefficient.

Table 4. Descriptive analysis of the determination coefficients of the linear regression equations for the animals in the test, considering the different weighing protocol scenarios.

Scenarios	N	Mean (Kg/day)	SD	Minimum	Maximum	CV (%)
REF	27	0,98	0,01	0,96	0,99	0,88
A	27	0,95	0,02	0,90	0,98	2,21
B	27	0,94	0,03	0,85	0,98	3,40
C	27	0,91	0,05	0,78	0,97	5,23
D	27	0,97	0,01	0,94	0,99	1,52
E	27	0,98	0,01	0,95	1,00	1,26
F	27	0,98	0,01	0,94	1,00	1,46

N: Number of animals; SD: Standard Deviation; Minimum: Minimum value; Maximum: Maximum value; CV: Coefficient of Variation;

Table 5. Spearman's correlation estimates of average daily gain (ADG) considering the different scenarios (above the diagonal) and the respective significance levels (below the diagonal).

	REF	A	B	C	D	E	F
REF	1	0,91	0,84	0,84	0,93	0,95	0,91
A	***	1	0,97	0,94	0,94	0,88	0,90
B	***	***	1	0,96	0,89	0,81	0,85
C	***	***	***	1	0,88	0,80	0,83
D	***	***	***	***	1	0,96	0,98
E	***	***	***	***	***	1	0,97
F	***	***	***	***	***	***	1

***P<0,0001 for Spearman's correlation.

Table 6. Descriptive analysis of the residual feed intake (RFI) variable considering the different scenarios during a feed efficiency test in Nellore cattle.

Variable	N	Mean	SD	Minimum	Maximum
REF	27	0	0,90	-1,84	1,48
A	27	0	0,90	-1,86	1,56
B	27	0	0,92	-1,85	1,46
C	27	0	0,94	-1,88	1,59
D	27	0	0,88	-1,82	1,61
E	27	0	0,87	-1,77	1,58
F	27	0	0,84	-1,64	1,55

N: number of animals; SD: standard deviation; Minimum: minimum value; Maximum: maximum value.

Table 7. Estimates of Spearman correlation for residual feed intake (RFI) considering different scenarios (above the diagonal) and their respective levels of significance (below the diagonal).

	REF	A	B	C	D	E	F
REF	1	0,98	0,94	0,94	0,98	0,98	0,97
A	***	1	0,98	0,98	0,98	0,95	0,95
B	***	***	1	0,99	0,94	0,89	0,91
C	***	***	***	1	0,94	0,89	0,90
D	***	***	***	***	1	0,97	0,98
E	***	***	***	***	***	1	0,97
F	***	***	***	***	***	***	1

***P<0,0001 for Spearman's correlation.

CAPÍTULO 3 – ANÁLISE GENÉTICA DE CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS À EFICIÊNCIA ALIMENTAR EM ANIMAIS DA RAÇA NELORE

ANÁLISE GENÉTICA DE CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS À EFICIÊNCIA ALIMENTAR EM ANIMAIS DA RAÇA NELORE

GENETIC ANALYSIS OF FEED EFFICIENCY-RELATED TRAITS IN NELORE CATTLE

RESUMO: A seleção para características indicadoras de eficiência alimentar em bovinos de corte tem sido proposta nos programas de seleção para melhorar o aproveitamento dos insumos disponíveis, bem como reduzir os custos de produção e impactos ambientais, sem comprometer o desempenho produtivo. Portanto, objetivou-se com este estudo estimar os componentes de variância, parâmetros genéticos e tendências genéticas para consumo alimentar residual (CAR) e ingestão de matéria seca (IMS) em animais da raça Nelore. Foram analisados dados de 7.808 animais avaliados em 142 provas de eficiência alimentar realizadas entre 2011 e 2019, de fazendas participantes do programa Nelore Brasil, coordenado pela Associação Nacional de Criadores e Pesquisadores (ANCP). Os componentes de variância foram estimados pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML). As herdabilidades estimadas para CAR e IMS, foram 0,22 e 0,28, respectivamente, sugerindo resposta moderada a seleção. A associação genética entre CAR e IMS foi mediana e favorável, 0,61, indicando que a seleção para CAR, promoverá alguma redução da ingestão de matéria seca. As tendências genéticas analisadas no período de 2010 a 2019, mostraram que não houve progresso genético para CAR, o que pode ser explicado pela recente inclusão dessa característica nos programas de melhoramento para fins de predição de DEPs. Para IMS, a tendência genética obteve aumento no mesmo período analisado, cujo ganho genético anual foi 0,024 kg/dia. A seleção direta para CAR e IMS acarretará em progresso genético para tais características, entretanto, não houve ganho genético para CAR na população estudada. Assim, estratégias de seleção para CAR são recomendadas para os rebanhos de corte no Brasil.

Palavras-chave: bovinos de corte, consumo alimentar residual, ingestão de matéria seca, tendência genética.

ABSTRACT: Selection for traits indicative of feed efficiency in beef cattle has been proposed in breeding programs to improve the utilization of available inputs, reduce production costs and environmental impacts, without compromising productive performance. Therefore, this study aimed to estimate variance components, genetic parameters, and genetic trends for residual feed

intake (RFI) and dry matter intake (DMI) in Nelore cattle. Data from 7,808 animals evaluated in 142 feed efficiency trials conducted between 2011 and 2019, from farms participating in the Nelore Brasil program, coordinated by the National Association of Breeders and Researchers (ANCP), were analyzed. Variance components were estimated using the restricted maximum likelihood (REML) method. The estimated heritabilities for RFI and DMI were 0.22 and 0.28, respectively, suggesting a moderate response to selection. The genetic correlation between RFI and DMI was moderate and favorable (0.61), indicating that selection for RFI will lead to some reduction in dry matter intake. Genetic trends analyzed from 2010 to 2019 showed no genetic progress for RFI, which may be explained by the recent inclusion of this trait in breeding programs for Expected Progeny Difference (EPD) prediction. For DMI, the genetic trend showed an increase over the same period, with an annual genetic gain of 0.024 kg/day. Direct selection for RFI and DMI will result in genetic progress for these traits. However, no genetic gain was observed for RFI in the studied population. Thus, selection strategies for RFI are recommended for beef cattle herds in Brazil.

Key words: beef cattle, residual feed intake, dry matter intake, genetic trend, REML.

Introdução

Uma das variáveis econômicas mais relevantes que impactam diretamente no retorno econômico do sistema de produção de bovinos de corte são os insumos relacionados a nutrição, que equivale até 77,63%% dos custos operacionais efetivos de bovinos de corte confinados (Saron, 2022). Ainda que existam diferentes enfoques para mensurar a eficiência alimentar, o CAR (Kenny et al., 2018), bem como a IMS, tem se consolidado como uma das principais características nos programas de melhoramento genético do Brasil para raças Zebuínas, sobretudo a Nelore. Nesse sentido, os avanços na eficiência alimentar em bovinos de corte têm o potencial de aumentar a rentabilidade dos produtores, ao mesmo tempo em que contribuem para a redução do impacto ambiental no ciclo de produção de carne (Kenny et al., 2018).

O CAR pode ser definido como a diferença entre a IMS de um indivíduo e suas exigências alimentares esperadas para manutenção com base no peso vivo médio metabólico (PVMM) e crescimento ao longo de um período de avaliação determinada (Basarab et al., 2003), sendo uma característica independente do nível de produtividade (Arthur e Herd, 2008). A IMS é uma característica crucial na análise da eficiência alimentar, na qual sua obtenção é baseada em duas etapas: mensuração da ingestão de ração e a estimativa do teor de matéria seca (MS) dessa ração (Seymour et al., 2019)

A identificação e seleção de animais mais eficientes em relação a utilização dos insumos e a conversão deste em proteína pode elevar o retorno econômico, em virtude de que o mesmo nível de produtividade seria alcançável com uma menor quantidade de recursos alimentares (Saviotto et al., 2014, Lima et al., 2014). Segundo Basarab et al. (2003), o uso de animais mais eficientes também pode contribuir para a redução de áreas produtivas ou para mantê-las, uma vez que esses animais irão consumir menos alimento, o que torna possível também o aumento da taxa de lotação. Essa mesma abordagem pode ser empregada em confinamentos, reduzindo a IMS por animal e, consequentemente, o custo de alimentação no confinamento, sem comprometer o desempenho dos animais.

Embora muito tenha se discutido sobre a importância dessas características incorporadas como ferramentas complementares no processo de seleção, as características de importância econômica, por exemplo carcaça, crescimento e reprodução ainda tem sido o foco predominante dos programas de seleção no Brasil. No entanto, o aumento da demanda mundial por proteínas, em função do crescimento da população, juntamente com as melhorias para tornar a produção de carne mais eficiente, além da necessidade de reduzir a emissão de metano e o impacto ambiental, tem pressionado cada vez mais o setor agropecuário. (Zhang et al., 2020).

Assim como as variáveis genéticas e ambientais influenciam as características associadas à eficiência alimentar, resultando em variabilidade fenotípica em diferentes condições ambientais (Robertson, 1959; Raidan et al., 2016), os altos custos de mensuração dessas características (Brunes et al., 2021) também podem dificultar sua adoção como critério de seleção.

Nesse contexto, a análise e a compreensão do componente genético aditivo, da herdabilidade e das tendências dessas características podem auxiliar no entendimento de seu progresso genético, além de contribuir para o desenvolvimento e implementação de estratégias de seleção mais eficientes, com o objetivo de alcançar maior ganho genético e, consequentemente, aumentar a lucratividade e a sustentabilidade na produção de carne. Portanto, o objetivo deste estudo foi estimar os componentes de variância, parâmetros genéticos e tendências genéticas de CAR e IMS em bovinos da raça Nelore.

Material e métodos

Declaração de ética

Este estudo foi dispensado de avaliação pelo Comitê de Ética Animal (CEUA), de acordo com a Lei nº 11.794 de 10/08/2008 e Resolução Normativa nº 51 de 19/05/2021 do

Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), pois os dados foram obtidos de um banco de dados existente.

Neste estudo foram considerados registros fenotípicos de 7.808 bovinos da raça Nelore puros de origem (PO). Os dados fenotípicos das características relacionadas alimentar foram obtidos de 142 testes de eficiência alimentar, realizados no período de 2010 a 2019, de fazendas participantes do Programa de Melhoramento Nelore Brasil, coordenado pela Associação Nacional de Criadores e Pesquisadores (ANCP), Ribeirão Preto, Brasil. A matriz de parentesco foi constituída por 30.918 animais.

Características analisadas

As características consideradas neste estudo foram consumo alimentar residual (CAR, kg MS/dia) e ingestão de matéria seca (IMS, kg/dia). Para a execução dos testes de eficiência alimentar, foram seguidas todas as diretrizes estabelecidas por Mendes et al. (2020), para mensurar o consumo individual de ração em bovinos de corte utilizando os sistemas eletrônicos Intergado® e GrowSafe.

As variáveis obtidas ao final dos testes foram: (IMS, kg/dia), peso vivo (PV, kg) e (GMD, kg/dia). Os grupos contemporâneos para avaliação da eficiência alimentar foram constituídos por fazenda, lote de manejo, sexo, ano e estação de nascimento (intervalo máximo de idade de 90 dias). Quanto à idade, foram avaliados animais com idade mínima, ao início da prova, de 8 meses e idade máxima de 24 meses, ao término da prova.

Tabela 1 - Número de registros e estatística descritiva para consumo alimentar residual (CAR) e ingestão de matéria seca (IMS) em bovinos da raça Nelore.

Característica	N	\bar{X}	DP	MIN	MAX	CV (%)	MODA	MEDIANA	NGC
CAR	7808	0,000	1,210	-7,281	6,836	NA	-0,276	0,019	359
IMS	7808	8,451	1,987	3,320	18,750	23,51%	7,790	8,230	359

N, número de animais; \bar{X} , média; DP, desvio-padrão; MIN, mínimo; MAX, máximo; CV (%), coeficiente de variação; NA, não avaliado; NGC, número de grupos contemporâneos.

A IMS foi calculada por meio da média de todos os valores válidos de consumo diário individual registrados obtidos diariamente, para cada animal, por meio do uso de cochos eletrônicos. O GMD foi estimado por meio do coeficiente de regressão linear do peso em função dos dias em testes dos animais (DET) com o emprego de um software estatístico para o cálculo seguinte equação (Koch et al., 1963):

$$y_i = \alpha + \beta * DET_i + \epsilon_i,$$

O peso vivo médio metabólico (*PVMM*) foi calculado como:

$$PVMM = [\alpha + \beta * (DET/2)]^{0,75}$$

em que, α é o intercepto da equação, β é o coeficiente de regressão linear e DET representa os dias em teste.

O CAR em cada indivíduo foi calculado pela diferença entre a ingestão de matéria seca observada (IMS_{obs}) e a esperada (IMS_{esp}) (Koch et al., 1963), utilizando uma equação de regressão em função do PVMM e do GMD, de acordo com por Koch et al. (1963). O cálculo foi realizado dentro dos grupos de avaliação da eficiência alimentar:

$$y = B_0 + B_1 (GMD) + B_2 (PVMM) + \epsilon$$

em que, y é o consumo alimentar individual, B_0 é o intercepto, B_1 , coeficiente de regressão parcial do IMS diário no GMD, B_2 é o coeficiente de regressão parcial do IMS no PV e ϵ , erro residual da regressão, ou seja, consumo alimentar residual.

Estimação dos componentes de variância, parâmetros genéticos e tendência genética

Os componentes de (co)variâncias foram estimados pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML), utilizando-se o programa computacional R (R Core Team, 2023). O pacote *Sommer* foi utilizado para ajustar modelos mistos lineares multivariados, permitindo a estimação de variâncias e covariâncias genéticas e residuais (Covarrubias-Pazaran, 2016). Os modelos de análise utilizados são descritos, sob forma matricial, como:

$$y = X\beta + Z\alpha + e$$

em que, y = vetor das observações de cada característica CAR e IMS; X = matriz de incidência associada aos efeitos fixos; β = vetor de solução para os efeitos fixos; Z = matriz de incidência associada ao efeito genético aditivo direto de cada animal; α = vetor de soluções para os efeitos genéticos aditivos diretos aleatórios; e = vetor dos resíduos.

Para calcular as tendências genéticas utilizou-se a regressão médias dos valores sobre o ano de nascimento do animal, no período de 2010 a 2019. Para isso, a seguinte equação de regressão foi utilizada:

$$Y_i = b_0 + b_1 + x$$

Em que: Y_i é o valor genético para as características avaliadas do i ésimo ano de nascimento; b_0 é o intercepto da equação de regressão; b_1 , é o coeficiente da inclinação (ou seja, a taxa de variação do valor genético ou fenotípico ao longo dos anos); x é o ano de nascimento dos animais (variável independente).

Resultados e discussão

As estimativas dos componentes de variância e herdabilidades para as características CAR e IMS estão apresentados na tabela 2. A herdabilidade estimada para o CAR foi moderada 0,22 (Tabela 2). O valor de herdabilidade obtido para CAR é similar aos reportados por Brunes et al. (2021), Kava et al. (2023) e Sainz et al. (2024), cujos valores encontrados foram 0,17, 0,19 e 0,23, respectivamente. Para IMS, a herdabilidade estimada foi moderada, 0,28 (Tabela 2), e semelhante àquelas obtidas por Sainz et al. (2024), Kava et al. (2023), 0,27 e 0,31, respectivamente, e inferior ao relatado por Polizel et al. (2023), 0,46. As herdabilidades obtidas para CAR e IMS sugerem que essas características respondem mais rapidamente à seleção, devido à maior influência dos genes de efeito aditivo em relação à variância fenotípica total.

Tabela 2: Estimativa da variância genética aditiva (σ_a^2), variância residual (σ_e^2) e herdabilidade (h^2) para as características relacionadas a eficiência alimentar em animais da raça Nelore

Característica	σ_a^2	σ_e^2	h^2
CAR	0,137	0,475	0,22
IMS	0,276	0,689	0,28

CAR, consumo alimentar residual (kg MS/dia); IMS, ingestão de matéria seca (kg/dia).

Os custos nutricionais são um dos principais componentes do sistema de produção (Pryce et al., 2014) e têm grande impacto na lucratividade. Segundo Sainz et al. (2024), o CAR, como critério de seleção, pode ser empregado na identificação de animais com menor exigência de energia de manutenção, resultando na redução dos custos associados aos recursos alimentares, sem comprometer a qualidade ou a quantidade do produto final.

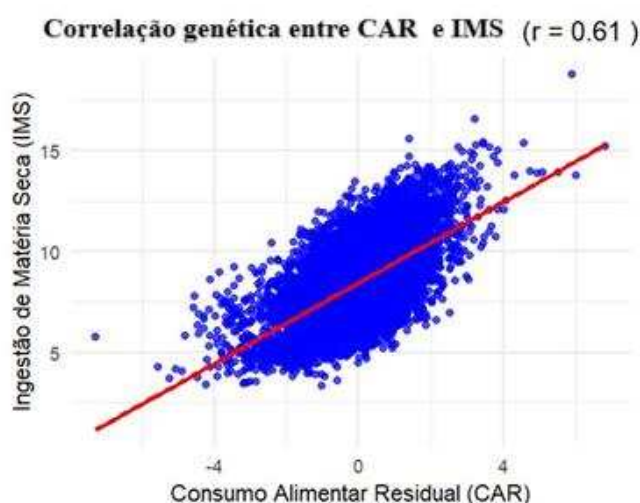
Adicionalmente, estudos recentes reportaram a alta correlação genética e favorável com emissão do metano (Berry e Crowley, 2013; Sainz et al., 2024; Hegarty et al., 2007 e Nkrumah et al., 2006), o que torna o CAR uma característica importante no processo seleção para auxiliar a reduzir as emissões entéricas, o que impacta diretamente a sustentabilidade ambiental da indústria pecuária. Adicionalmente, estudos relatados por Grion et al. (2014), Santana et al. (2014), Ceacero et al. (2016), Moraes et al. (2017), Bonamy et al. (2018), Moraes et al. (2019)

e Brunet et al. (2021) também sugerem baixas correlações genéticas entre CAR e características de crescimento, fertilidade, precocidade sexual e carcaça. Nesse sentido, esses estudos indicam que é possível incluir o CAR nos índices de seleção sem gerar antagonismos com essas outras características.

A seleção direta para IMS implica em diferentes situações práticas importantes nos programas de melhoramento genético. Vargas Jurado et al. (2015) em seus estudos, comparou o consumo de alimento entre novilhas mestiças Angus de diferentes idades e composição corporal (FRAME), e foi relatado que as novilhas com maior FRAME obtiveram uma maior IMS em todas as idades ($P < 0,05$). Estudos têm demonstrado correlações genéticas moderadas e positivas entre IMS e o peso ao sobreano (P450), com valor de 0,69, o que indica que a seleção para o aumento no consumo alimentar resultaria também em um aumento de P450 e vice-versa (Sainz et al., 2024).

Segundo Walker et al. (2015), o conceito tradicional de que animais com maior tamanho são menos eficientes não é correta. Nesse sentido, é importante ressaltar que a seleção dessa característica deve estar em consonância com os objetivos de seleção do sistema de produção e dos diferentes ambientes em que a criação se insere, especialmente em rebanhos de cria onde o tamanho adulto do animal pode reduzir a fertilidade das matrizes em reprodução.

Figura 1- Correlação genética entre CAR e IMS em bovinos Nelore avaliados ao longo de 10 anos.



As estimativas de correlação genética e residual para CAR e IMS são apresentadas na figura 1. A correlação genética entre CAR e IMS foi mediana e favorável, de 0,61, indicando que a seleção para animais mais eficientes (CAR negativo), pode acarretar em redução da IMS,

assim a seleção para menor CAR reduziria tanto o consumo alimentar quanto os requisitos energéticos de manutenção, conforme já relatado por Sainz et al. (2024). O valor da correlação genética encontrada é similar aos reportados na literatura, com valores variando entre 0,50 e 0,85 em bovinos de corte (Santana et al., 2014; Oliveira et al., 2016).

Esse resultado tem implicações relevantes para a seleção de animais mais eficientes no aproveitamento dos alimentos. Estratégias de seleção voltadas para a redução do CAR vêm sendo amplamente adotadas, pois permitem reduzir o consumo alimentar sem comprometer o desempenho produtivo, tornando-se uma abordagem mais eficiente do que a seleção direta para menor ingestão de matéria seca (Berry & Crowley, 2013). Além disso, a importância econômica dessa relação deve ser ressaltada, uma vez que os custos com alimentação representam até 70% das despesas na pecuária de corte (Alqaisi et al., 2017).

Na Tabela 3 foram apresentadas as médias dos valores genéticos para consumo alimentar residual (CAR) e ingestão de matéria seca (IMS) ao longo de 10 anos de avaliação. Observou-se que a média dos valores genéticos para CAR permaneceu negativa em todos os anos, o que era esperado, uma vez que animais mais eficientes consomem menos matéria seca do que o previsto. No entanto, não houve diferença significativa entre os anos avaliados, indicando que, entre 2010 e 2019, essa população avaliada não apresentou progresso genético considerável para essa característica. Esse resultado pode estar relacionado à baixa inclusão ou ausência do CAR nos índices de seleção utilizados pelos rebanhos participantes do programa de melhoramento.

Por outro lado, em relação à IMS, observou-se um aumento progressivo das médias dos valores genéticos ao longo do período de 2010 a 2019 (tabela 3). Esse crescimento contrariou as expectativas iniciais, sugerindo que o aumento do consumo alimentar pode estar associado ao foco predominante da seleção nos rebanhos, que historicamente priorizou características como velocidade de crescimento e ganho de peso. A pecuária de corte no Brasil, cujas origens remontam ao período colonial (Santos et al., 2014), tem sido tradicionalmente caracterizada pela ênfase na seleção de animais que atingem precocemente o peso de abate, o que acarreta, indiretamente, o aumento do consumo de alimento.

Nesse contexto, os programas de melhoramento genético de bovinos de corte no país têm concentrado esforços, principalmente, na seleção para características como peso em diferentes fases, taxa de ganho de peso diário, perímetro escrotal e atributos relacionados à carcaça (Moraes et al., 2017). Assim, o aumento da IMS ao longo dos anos pode ser interpretado como um efeito secundário da ênfase na seleção para ganho de peso.

Tabela 3: Médias para predição dos valores genéticos para a característica consumo alimentar residual (CAR) e ingestão de matéria seca (IMS) em função de 10 anos de avaliação genética.

Anos	Média (CAR)	Média (IMS)
2010	-0,088 a	0,004 d
2011	-0,116 a	-0,094 e
2012	-0,094 a	0,085 c
2013	-0,073 a	0,109 bc
2014	-0,077 a	0,152 ab
2015	-0,109 a	0,116 bc
2016	-0,072 a	0,120 bc
2017	-0,073 a	0,165 a
2018	-0,080 a	0,155 ab
2019	-0,070 0a	0,198 a

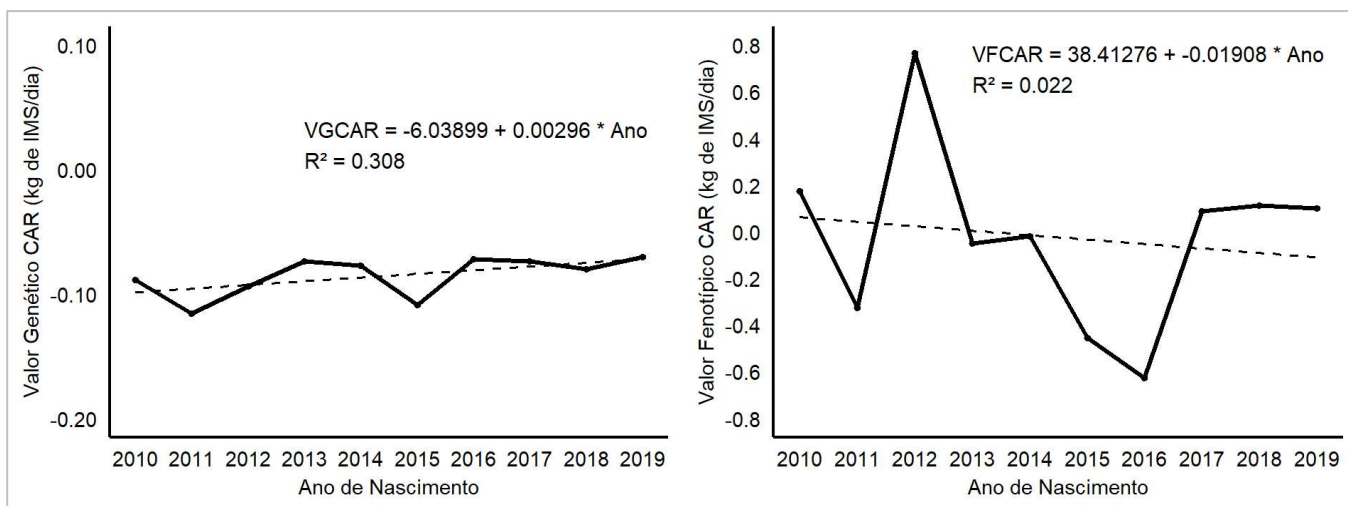
As tendências genéticas e fenotípicas para CAR estão apresentadas na figura 2. Não houve ganho genético para CAR ao longo do período analisado, isso sugere que o CAR não foi diretamente selecionado nos programas de melhoramento ou que a pressão de seleção aplicada sobre essa característica foi insuficiente para promover mudanças genéticas significativas na população.

Em relação a tendência fenotípica para CAR, também não foi observada o a evolução fenotípica, indicando que essas variações fenotípicas podem estar sendo influenciadas por

variáveis ambientais. A grande influência ambiental à qual essa característica está sujeita, confirmada pelo coeficiente de herdabilidade estimado (tabela 2), contribui os pequenos ganhos genético e fenotípicos para CAR. Além disso, pode indicar que a variabilidade genética para CAR não foi devidamente explorada ou que fatores ambientais e de manejo tiveram maior influência sobre a expressão fenotípica dessa característica, mascarando possíveis ganhos genéticos.

Bouquet et al. (2010) relataram pequenas mudanças genéticas anuais para CAR em animais das raças Blonde d'Aquitaine e Limousin, além de corroborar com a baixa inclusão dessa característica nos programas de seleção. Esse cenário destaca a importância de incorporar o CAR como critério de seleção, visando otimizar a demanda por recursos alimentares sem comprometer o desempenho produtivo dos animais, reforçando o CAR como um indicador crucial para reduzir os custos na produção de carne, resultando em maior sustentabilidade econômica e ambiental.

Figura 2 - Tendências genéticas e fenotípicas para o consumo alimentar residual (CAR) em animais da raça Nelore, no período de 2010 a 2019.



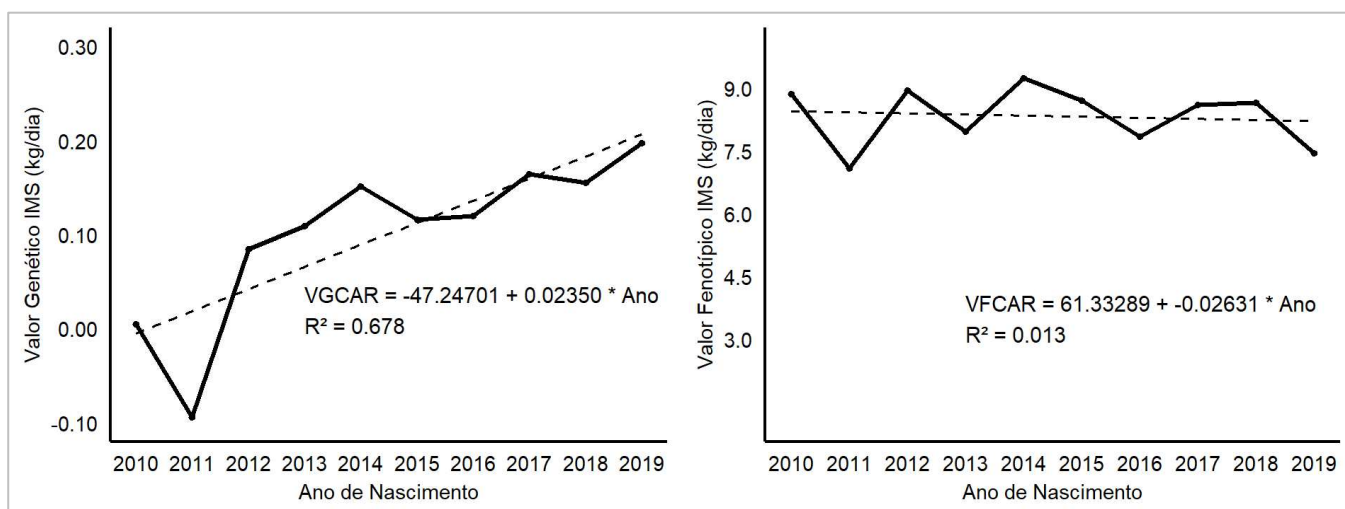
As tendências genéticas e fenotípicas para IMS, estão apresentadas na figura 3. A tendência genética de IMS apresentou aumentos expressivos nas médias de valores genéticos após 2011, sendo o ganho anual médio de 0,024 kg/dia (figura 3). Esses resultados podem estar associados ao foco predominante da seleção nos rebanhos, que historicamente, priorizam características de crescimento, como ganho de peso e velocidade de crescimento. A maior intensidade de seleção para características crescimento em detrimento de outras características de impacto econômico, como carcaça e *frame size*, tem contribuído para aumento do tamanho corporal dos animais e, conseqüentemente, aumento da ingestão de matéria seca. Para sistemas

de produção mais intensivos e de cria, por exemplo, esse aumento pode resultar em um efeito desfavorável nas necessidades de manutenção desses animais.

A avaliação genética para eficiência alimentar no Brasil, embora tenha avançado significativamente nos últimos anos, ainda possui um histórico relativamente curto de 15 anos de coleta de dados. Esse período é inferior ao de países com programas de melhoramento mais consolidados, o que pode limitar a disponibilidade de informações para uma seleção eficaz baseada em Diferença Esperada na Progenie (DEP). Conforme o volume de dados aumenta, espera-se maior acurácia nas estimativas genéticas, permitindo um progresso mais consistente na eficiência alimentar (Moraes et al., 2016). A implementação de programas estruturados de seleção, baseados em DEPs confiáveis, será essencial para alcançar avanços significativos na eficiência alimentar dos rebanhos. A continuidade da coleta de dados e a identificação de animais geneticamente superiores são fundamentais para o progresso genético consistente na eficiência alimentar dos bovinos de corte no Brasil.

Não houve tendência fenotípica para a IMS ao longo do período analisado. Isso pode ser explicado pela influência predominante de fatores ambientais, como a qualidade e a oferta de alimentos, que podem ter exercido um impacto maior sobre o consumo de ração do que as variações genético. Além disso, a seleção em muitos rebanhos tem se concentrado em características de crescimento, como ganho de peso, sem priorizar diretamente a ingestão de matéria seca, o que pode ter contribuído para a estabilidade fenotípica observada. Dessa forma, a ingestão de matéria seca pode estar sendo mais condicionada por variáveis ambientais do que por modificações genéticas.

Figura 3 - Tendências genéticas e fenotípicas para ingestão de matéria seca (IMS) em animais da raça Nelore, no período de 2010 a 2019.



A resposta a seleção possivelmente seria mais rápida se a maior intensidade de seleção fosse aplicada somente em uma característica (Sainz et al., 2022). Entretanto, considerando as situações reais de produção, os produtores devem incorporar múltiplas características, para produção de animais com alto desempenho e menor demanda por insumos (Sainz et al., 2022). Para recomendar e/ou adotar o CAR ou IMS como critério de seleção, assim como qualquer outra característica, é crucial que sua inclusão em uma propriedade esteja em conformidade com os objetivos de seleção definidos e com o ambiente de criação.

Os resultados deste estudo indicaram que o CAR e IMS apresentaram variabilidade genética e podem ser incluídas em programas de seleção. Adicionalmente, a correlação genética mediana entre CAR e IMS sugere que a seleção para CAR pode reduzir a ingestão de matéria seca. A tendência genética para IMS sugere que a seleção tem sido focada em animais com maiores ganhos de peso, e consequentemente animais com maior ingestão de matéria seca.

A discrepância entre CAR e IMS reforça a necessidade de uma abordagem mais equilibrada na seleção, incluindo outras características e o CAR como critério para melhorar a eficiência alimentar e produtiva dos rebanhos. A incorporação do CAR nos programas de melhoramento pode otimizar o uso de recursos alimentares, reduzindo os custos com alimentação e minimizar os impactos ambientais da pecuária, tornando a produção mais sustentável e economicamente viável. Apesar dos esforços para mensuração de características relacionadas a eficiência alimentar, a seleção, sobretudo, para o CAR, ainda não tem sido amplamente aplicada nas propriedades.

Conclusão

A seleção direta para CAR e IMS acarretará em progresso genético para tais características, entretanto, não houve ganho genético para CAR na população estudada. Assim, estratégias de seleção para CAR são recomendadas para os rebanhos de corte no Brasil.

REFERÊNCIAS

- ALQAISI, O.; NDAMBI, O. A.; WILLIAMS, R. B. Time series livestock diet optimization: cost-effective broiler feed substitution using the commodity price spread approach. **Agricultural and Food Economics**, v. 5, n. 1, p. 1 – 19, 2017. <https://doi.org/10.1186/s40100-017-0094-9>
- ARTHUR, J. P. F.; HERD, R. M. Residual feed intake in beef cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 269–279, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008001300031>

BASARAB, J. A. et al. Residual feed intake and body composition in young growing cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 83, n. 2, p. 189–204, 2003. <https://doi.org/10.4141/A02-065>

BERRY, D. P.; CROWLEY, J. J. CELL BIOLOGY SYMPOSIUM: Genetics of feed efficiency in dairy and beef cattle1. **Journal of Animal Science**, v. 91, n. 4, p. 1594–1613, 2013. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5862>

BONAMY, M. et al. Genetic association between different criteria to define sexual precocious heifers with growth, carcass, reproductive and feed efficiency indicator traits in Nellore cattle using genomic information. **Journal of animal breeding and genetics**, v. 136, n. 1, p. 15–22, 2018. <https://doi.org/10.1111/jbg.12366>

BOUQUET, A. et al. Genetic parameters for growth, muscularity, feed efficiency and carcass traits of young beef bulls. **Livestock Science**, v. 129, n. 1-3, p. 38–48, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.12.010>

BRUNES, L. C. et al. Selection criteria for feed efficiency-related traits and their association with growth, reproductive and carcass traits in Nelore cattle. **Animal Production Science**, v. 6, n. 16, p. 1633-1642, 2021. <https://doi.org/10.1071/AN20487>

CEACERO, T. M. et al. Phenotypic and genetic correlations of feed efficiency traits with growth and carcass traits in Nellore cattle selected for postweaning weight. **PLoS One**, v. 11, n. 8, 2016. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161366>

COVARRUBIAS-PAZARAN, G. Genome-Assisted Prediction of Quantitative Traits Using the R Package sommer. **PLOS ONE**, v. 11, n. 6, 2016. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156744>

GRION, A. L. et al. Selection for feed efficiency traits and correlated genetic responses in feed intake and weight gain of Nellore cattle. **Journal of Animal Science**, v. 92, n. 3, p. 955-965, 2014. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6682>

GOMES, R. da C. et al. Ingestão de alimentos e eficiência alimentar de bovinos e ovinos de corte: metodologia de avaliação e instalações para viabilizar a colheita de dados na fase pós-desmama. Ribeirão Preto: **FUNPEC Editora**, 2012.

HEGARTY, R. S. et al. Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production^{1,2}. **Journal of Animal Science**, v. 85, n. 6, p. 1479–1486, 2007.

<https://doi.org/10.2527/jas.2006-236>

JURADO, N. V. et al. Feed intake and diet selection in Angus-cross heifers of two frame sizes at two stages of growth¹. **Journal of Animal Science**, v. 93, n. 4, p. 1565–1572, 2015..

<https://doi.org/10.2527/jas.2014-8453>

KAVA, R. et al. Estimates of genetic and phenotypic parameters for feeding behaviour and feed efficiency-related traits in Nelore cattle. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v. 140, n. 3, p. 264–275, 2023. <https://doi.org/10.1111/jbg.12756>

KENNY, D. A. et al. Invited review: Improving feed efficiency of beef cattle—the current state of the art and future challenges. **Animal**, v. 12, n. 9, p. 1815–1826, 2018.

<https://doi.org/10.1017/S1751731118000976>

KOCH, R. M. et al. Efficiency of Feed Use in Beef Cattle. **Journal of Animal Science**, v. 22, n. 2, p. 486–494, 1963. <https://doi.org/10.2527/jas1963.222486x>

LIMA, N. L. L.; PEREIRA, I. G.; RIBEIRO, J. S. Consumo alimentar residual como critério de seleção para eficiência alimentar. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 7, n. 4, p. 255–260, 2013.

MENDES, E. D. M. et al. **Procedimentos para mensuração de consumo individual de alimento em bovinos de corte** (2^a ed.). ANCP. ISBN: 978-65-86597-00-4.

MORAES, G. F. et al. Selection for feed efficiency does not change the selection for growth and carcass traits in Nellore cattle. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, v. 136, n. 6, p. 464–473, 2019. <https://doi.org/10.1111/jbg.12423>

MORAES, G. F. DE et al. Genetic analysis of residual feed intake adjusted for fat and carcass and performance traits in a Nellore herd. **Ciência Rural**, v. 47, n. 2, 2017.

<https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20151505>

NIELSEN, M. K. et al. Review: Life-cycle, total-industry genetic improvement of feed efficiency in beef cattle: Blueprint for the Beef Improvement Federation¹¹ The development of this commentary was supported by the Beef Improvement Federation. **The Professional Animal Scientist**, v. 29, n. 6, p. 559–565, 2013. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30285-0](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30285-0)

NKRUMAH, J. D. et al. Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle1. **Journal of Animal Science**, v. 84, n. 1, p. 145–153, 2006.

<https://doi.org/10.2527/2006.841145x>

OLIVEIRA, L. F. et al. Feed efficiency and enteric methane production of Nellore cattle in the feedlot and on pasture. **Animal Production Science**, v. 58, n. 5, p. 886, 2018.

<https://doi.org/10.1071/AN16303>

POLIZEL, G. H. G. et al. Genetic correlations and heritability estimates for dry matter intake, weight gain and feed efficiency of Nellore cattle in feedlot. **Livestock Science**, v. 214, p. 209–210, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.06.013>

PRYCE, J. E. et al. Genomic selection for feed efficiency in dairy cattle. **Animal**, v. 8, n. 1, p. 1–10, 2014. <https://doi.org/10.1017/S1751731113001687>

R Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2023. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>

RAIDAN, F. S. S. et al. Selection of performance-tested young bulls and indirect responses in commercial beef cattle herds on pasture and in feedlots. **Genetics Selection Evolution**, v. 48, p. 1-11, 2016. <https://doi.org/10.1186/s12711-016-0265-2>

ROBERTSON, A. The Sampling Variance of the Genetic Correlation Coefficient. **Biometrics**, v. 15, n. 3, p. 469, 1959. <https://doi.org/10.2307/2527750>

SAINZ, R. D. et al. Estimation of genetic parameters for maintenance energy requirements and residual feed intake in Nellore cattle. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, 2024. <https://doi.org/10.1111/jbg.12870>

SAINZ, R. D. et al. Decreased maintenance energy expenditure in Nellore cattle after 10 years of selection for increased feed efficiency. **Animal-science proceedings**, v. 13, n. 3, p. 241-242, 2022.

SANTANA, M. H. D. A. et al. Genetic parameter estimates for feed efficiency and dry matter intake and their association with growth and carcass traits in Nellore cattle. **Livestock Science**, 167, 80-85, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.06.002>

SAVIETTO, D.; BERRY, D. P.; FRIGGENS, N. C. Towards an improved estimation of the biological components of residual feed intake in growing cattle. **Journal of Animal Science**, v. 92, n. 2, p. 467–476, 2014. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6894>

SEYMOUR, D. J. et al. Invited review: Determination of large-scale individual dry matter intake phenotypes in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 102, n. 9, p. 7655–7663, 2019. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16454>

WALKER, R. S. et al. Impact of cow size on dry matter intake, residual feed intake, metabolic response, and cow performance. **Journal of Animal Science**, v. 93, n. 2, p. 672–684, 2015. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-7702>

ZHANG, F. et al. Genetic architecture of quantitative traits in beef cattle revealed by genome wide association studies of imputed whole genome sequence variants: I: feed efficiency and component traits. **BMC Genomics**, v. 21, n. 1, p. 1-22, 2020. <https://doi.org/10.1186/s12864-019-6362-1>