

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

MARIANA MUNDIM ALVES GOMES

ASSOCIAÇÃO GENÉTICA ENTRE EFICIÊNCIA ALIMENTAR E AS
CARACTERÍSTICAS DE CARÇAÇA EM BOVINOS DA RAÇA NELORE

Uberlândia

2021

MARIANA MUNDIM ALVES GOMES

ASSOCIAÇÃO GENÉTICA ENTRE EFICIÊNCIA ALIMENTAR E AS
CARACTERÍSTICAS DE CARÇAÇA EM BOVINOS DA RAÇA NELORE

Dissertação 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 Mestre em Ciências Veterinárias.

Área de concentração: Produção Animal

Orientadora: Profa. Dra. Carina Ubirajara de Faria

Uberlândia

2021

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

G633
2021
Gomes, Mariana Mundim Alves, 1995-
Associação genética entre eficiência alimentar e as
características de carcaça em bovinos da raça Nelore
[recurso eletrônico] / Mariana Mundim Alves Gomes. -
2021.

Orientadora: Carina Ubirajara de Faria.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de
Uberlândia, Pós-graduação em Ciências Veterinárias.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2021.42>
Inclui bibliografia.
Inclui ilustrações.

1. Veterinária. I. Faria, Carina Ubirajara de, 1977-,
(Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-
graduação em Ciências Veterinárias. III. Título.

CDU: 619

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091

MARIANA MUNDIM ALVES GOMES

ASSOCIAÇÃO GENÉTICA ENTRE EFICIÊNCIA ALIMENTAR E AS
CARACTERÍSTICAS DE CARÇA EM BOVINOS DA RAÇA NELORE

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

Área de concentração: Produção Animal

Uberlândia, 20 de janeiro de 2020

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Carina Ubirajara de Faria (Orientadora - UFU)

Profa. Dra. Ricarda Maria Dos Santos (Examinadora - UFU)

Dra. Giovanna Faria de Moraes (Examinadora - Médica Veterinária)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 Secretaria da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias
 BR 050, Km 78, Campus Glória, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
 Telefone: (34) 2512-6811 - www.ppgcv.famev.ufu.br - mesvet@ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	CIÊNCIAS VETERINÁRIAS				
Defesa de:	DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO Nº PPGCVET/ 01/2021				
Data:	20 de janeiro de 2021	Hora de início:	14:00	Hora de encerramento:	17:41
Matrícula do Discente:	11912MEV009				
Nome do Discente:	MARIANA MUNDIM ALVES GOMES				
Título do Trabalho:	Associação genética entre eficiência alimentar e características de carcaça em bovinos de corte da raça Nelore				
Área de concentração:	Produção Animal				
Linha de pesquisa:	Manejo e eficiência de produção dos animais, seus derivados e subprodutos				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Programa pecuária sustentável: o nelore do portal do cerrado				

Videoconferência (meio eletrônico), a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Ciências Veterinárias, assim composta: Professores Doutores: **Ricarda Maria dos Santos** - FAMEV/UFU; **Giovanna Faria de Moraes** - Médica Veterinária; **Carina Ubirajara de Faria** - FAMEV/UFU orientador(a) do(a) candidato(a).

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

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

[A]provado(a).

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

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 **Carina Ubirajara de Faria Bernardes, Professor(a) do Magistério Superior**, em 20/01/2021, às 17:47, 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 20/01/2021, às 17:50, 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 22/01/2021, às 11:27, 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 **2510770** e o código CRC **7CE81890**.

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

Expresso aqui, através de palavras sinceras, gratidão à minha orientadora, professora Dra. Carina Ubirajara de Faria, pela orientação, competência, profissionalismo e dedicação. Agradeço, principalmente, pela confiança creditada a mim.

Agradeço aos meus pais Giselle e Gilson; aos meus irmãos Gilson, Lorena e Ana Flávia e aos meus avós, Odilon e Lourdes, meu sobrinho Pedro e minha afilhada Giovanna, pelo profundo apoio e incentivo em todos os momentos. Obrigada pelo amor imenso e por desejarem sempre o melhor para mim. A vocês, minha família, sou eternamente grata por tudo que sou.

Agradeço ao meu noivo, Jader, por todo amor, carinho, compreensão e companherismo nesta caminhada. Obrigada por permanecer ao meu lado;

Aos Professores da Banca, pela dedicação, competência e conhecimento compartilhado;

aos criadores e à ANCP pela concessão dos dados para a realização dessa dissertação e à FAPEMIG pelo suporte financeiro durante o mestrado;

a todos aqueles envolvidos nos projetos realizados na UFU e fazendas parceiras, cujos esforços e auxílio tornaram possível a concretização deste trabalho.

Por fim, agradeço a Deus, pela minha vida e por essas pessoas tão especiais que foram fundamentais para realização deste sonho.

.

RESUMO

Diante da preocupação em maximizar a produtividade de bovinos de corte, com menor custo de produção, o consumo alimentar residual – CAR é a principal medida a ser utilizada para uma seleção de animais eficientes na utilização de alimentos. O importante é observar que a seleção desses animais é necessária, mas não pode haver antagonismo entre a característica CAR e outras características de interesse na produção, como a adequada deposição de gordura e rendimento da carcaça. Nesse sentido, este estudo objetivou verificar a associação genética entre as características relacionadas à eficiência alimentar e as características de carcaça de bovinos da raça Nelore. Foram consideradas as informações de 7.808 bovinos Nelore, puros de origem (PO), avaliados em 142 testes de eficiência alimentar, realizados no período de 2011 a 2020, em 15 fazendas participantes do programa Nelore Brasil, da Associação Nacional de Criadores e Pesquisadores - ANCP. Foram avaliadas as características de consumo alimentar residual – CAR, ingestão de matéria seca – IMS, área de olho de lombo – AOL, acabamento de carcaça – ACAB e marmoreio – MAR. Também foram analisados dados de eficiência alimentar e características de carcaça somente de fêmeas Nelore. As estimativas dos componentes de variâncias e covariâncias, bem como das herdabilidades e correlações genéticas, foram obtidas por meio de análises bicaracterísticas sob modelo animal, considerando a metodologia da Máxima Verossimilhança Restrita Livre de Derivada. Verificou-se que as estimativas de herdabilidade foram moderadas para as características de CAR (0,22) e IMS (0,29), o que comprova a existência de variabilidade genética na população Nelore avaliada. Observou-se que as estimativas de correlação genética foram de baixa magnitude, com valores próximos a zero, para todas as características, exceto entre CAR e AOL (-0,11), na avaliação de população de bovinos Nelore e na população de fêmeas Nelore. De modo geral, esses resultados inferem que a seleção para CAR e IMS não acarreta prejuízos genéticos para as características de carcaça em bovinos da raça Nelore. No entanto, ao avaliar as associações genéticas do CAR e IMS com as características de carcaça, considerando a população de fêmeas, houve um aumento na estimativa de correlação genética com CAR e IMS, apesar de ainda ser uma associação genética favorável de baixa magnitude (-0,30). Observou-se, também, um aumento na associação genética da AOL com o CAR (-0,21), o que indica haver alguma resposta favorável da seleção de animais mais eficientes com a melhoria do rendimento de carcaça. No entanto, deve-se enfatizar que tais mudanças são pouco expressivas. Pode-se concluir que a seleção direta para o consumo alimentar residual (CAR) e a ingestão de matéria seca (IMS) não influenciará na deposição de gordura subcutânea (ACAB), intramuscular (MAR), nem no rendimento de carcaça (AOL) de bovinos da raça Nelore. No entanto, a seleção para o CAR poderá gerar alguma resposta favorável na deposição de gordura intramuscular (MAR) e no rendimento de carcaça (AOL) de fêmeas Nelore.

Palavras chave: Bovinocultura de corte. Eficiência alimentar. Qualidade de carcaça

ABSTRACT

In view of the concern to maximize the productivity of beef cattle, with lower production cost, the residual feed intake - CAR is the main measure to be used for the selection of animals efficient in the use of food. The important thing to note is that the selection of these animals is necessary, but there can be no antagonism between the CAR and other traits of interest in production, such as adequate fat deposition and carcass yield. In this sense, this study aimed to verify the genetic association between the traits related to feed efficiency and the carcass traits of Nellore cattle. The information of 7,808 males and females Nellore, pure of origin (PO), were consider, evaluated in 142 tests of feeding efficiency carried out in the period from 2011 to 2020, in 15 farms participating in the program Nellore Brazil of the National Association of Breeders and Researchers - NABR. The traits of residual feed intake - RFI, dry matter intake - DMI, rib eye area - REA, carcass finish - CF and marbling - MAR were evaluate. Feed efficiency and carcass traits were also evaluate only in Nellore females. The estimated of the components of variances and covariance, as well as, of heritabilities and genetic correlations were obtain through bicharacteristic analyzes under an animal model, considering the methodology of Maximum Derivative Free Restricted Likelihood. It was check that the heritability characteristics were moderate for the characteristics of RFI (0.22) and DMI (0.29), which proves the existence of genetic variability in the evaluated Nellore population. It was observe that as a genetic correlation were of low magnitude, with values close to zero, for all traits, except between RFI and REA (-0.11). In general, these results infer that the selection for RFI and DMI does not cause genetic damage to the carcass traits in Nellore cattle. However, when evaluating the genetic associations of RFI and DMI with carcass traits, considering the population of females, there were an increase in the estimate of genetic correlation with RFI and DMI, although it is still a favorable genetic association of low magnitude (- 0.30). There was also an increase in the genetic association of REA with the RFI(-0.21), which indicates that there are some favorable response from the selection of more efficient animals with the improvement of the carcass yield, however, it must be emphasized, that such changes are not very significant. It can be conclude that the direct selection for residual feed intake (RFI) and dry matter intake (DMI) will not influence the deposition of subcutaneous fat (CF), marbling (MAR), and rib eye area (REA) of Nellore cattle. However, the selection for the RFI may be generate some favorable response in the deposition of intramuscular fat (MAR) and in rib eye area (REA) of Nellore females.

KEYWORDS: Beef cattle. Feed efficiency. Carcass quality

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS	8
1 Introdução.....	8
2 Revisão de literatura.....	9
2.1 Eficiência Alimentar.....	9
2.2 Consumo Alimentar residual.....	11
2.3 Avaliação Genética	14
2.3.1 Parâmetros genéticos.....	15
2.4 Características de carcaça avaliadas por ultrassonografia.....	17
2.5 Diferenças na composição de carcaça entre machos e fêmeas.....	20
2.6 Impactos da seleção de CAR na qualidade de carcaça de bovinos	24
REFERÊNCIAS.....	28
CAPÍTULO 2 – CORRELAÇÃO GENÉTICA ENTRE EFICIÊNCIA ALIMENTAR E CARACTERÍSTICAS DE CARCAÇA EM BOVINOS DE CORTE.....	36
Introdução	38
Material e métodos	39
Resultados.....	42
Discussão	46
Conclusão	50
REFERÊNCIAS.....	51
CAPÍTULO 3 – IMPLICAÇÕES.....	55

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1 Introdução

Atualmente, o Brasil possui cerca de 244 milhões de bovinos de corte. A produção estimada de carne no ano de 2020 foi 10 mil toneladas. Desse total, cerca de 25% foi destinado ao mercado externo, consolidando o país como maior produtor e exportador de carne bovina do mundo, segundo o departamento de agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2020). Estimativas demonstram que cerca de 80% do rebanho nacional de corte são da raça Nelore ou anelorado (IBGE, 2018). Essa raça favorece o avanço da pecuária de corte, conjuntamente com a utilização do melhoramento genético e ambiente favorável (ABIEC, 2016).

O maior custo de produção de bovinos confinados refere-se à alimentação. Estudos mostram um valor aproximado entre 80% a 90% dos custos totais destinados a esta área (LOPES et al., 2011; LOBATO et al., 2014; KAMALI et al., 2016). Dessa forma, observa-se a importância de selecionar animais mais eficientes quanto à alimentação, melhorando a produtividade e reduzindo os custos, sem afetar os índices zootécnicos.

Ultimamente, a medida de eficiência alimentar mais utilizada em bovinos de corte é o consumo alimentar residual (CAR), proposto, primeiramente, por Koch et al. (1963). O CAR é calculado pela diferença entre a ingestão de matéria seca (IMS) observada e a IMS estimada por equação de regressão linear múltipla, baseada no peso vivo médio metabólico e no ganho médio diário (GMD) dos animais do mesmo grupo contemporâneo (ARTHUR et al, 2001). Valores negativos de CAR indicam animais mais eficientes (consumo menor que o predito) e animais menos eficientes possuem CAR positivo (consumo maior que o predito).

Existem alguns estudos indicando que animais eficientes estariam geneticamente correlacionados com deposição de gordura e rendimento de carcaça. Outros afirmam não haver uma correlação genética, apenas que estes animais estariam associados fenotipicamente. Portanto, pesquisas que envolvam as características de carcaça e CAR precisam ser ampliadas, pois este campo envolve descobertas recentes e divergências apresentadas na literatura. Por conta disso, é necessário cautela ao decidir pré-selecionar os animais com o uso destas ferramentas (LIMA; PEREIRA. RIBEIRO, 2013). Como relatado por MAO et al. (2013), o estudo de medidas de eficiência, como consumo alimentar residual e suas relações com as demais características de interesse econômico, em bovinos de corte de diferentes raças, fornece referências para o desenvolvimento de programas de melhoramento genético, que busquem animais mais rentáveis.

É importante selecionar os animais mais eficientes no aproveitamento de alimentos sem que prejudique as características de carcaça. Uma carcaça bovina de boa qualidade e de bom rendimento deve apresentar proporção apropriada entre as partes que a compõem (máximo de músculo, mínimo de ossos e quantidade adequada de gordura) para garantir ao produto condições satisfatórias de manuseio, palatabilidade e qualidade, de acordo com Luchiari Filho (2000).

Neste contexto, é imprescindível a estimação dos parâmetros genéticos e das correlações entre as características de interesse, pois ela indicará quanto a mudança genética de uma característica poderá afetar a outra de forma favorável ou desfavorável (CARDOSO; TEMPELMAN, 2012).

Diante da importância de selecionar animais eficientes no consumo e com características de carcaça e desempenho desejáveis, o objetivo deste estudo foi verificar a associação genética entre o consumo alimentar residual e ingestão e matéria e as características de carcaça de bovinos da raça Nelore.

2 Revisão de literatura

2.1 Eficiência Alimentar

A eficiência alimentar em bovinos de corte é a capacidade que o animal possui de converter o alimento ingerido em carne ou carcaça (GOMES et al., 2012). Para que a pecuária de corte obtenha maior lucratividade, é necessário que haja progresso para as características de impacto econômico e redução dos custos dos insumos relacionados à alimentação dos animais (LANCASTER et al., 2009). Sendo assim, é imprescindível que haja uma seleção dos animais mais eficientes no que se refere ao aproveitamento do alimento, de forma que se obtenha maior produção com menores custos com alimentação.

A ingestão de matéria seca é a variável que afeta diretamente o desempenho animal. Segundo Mertens (1994), 60% a 90% das variações no desempenho animal são explicadas pelo consumo e somente 10% a 40% por efeitos atribuídos às características de valor nutritivo do alimento, como a digestibilidade. A determinação do consumo de bovinos é uma prática complexa, afetadas por inúmeros fatores, que podem estar relacionados ao alimento, ao próprio animal, ao ambiente ou ao manejo (BERCHIELLI et al., 2011). Entretanto, essa é uma prática necessária para se conhecer os animais mais eficientes quanto à alimentação, dentro de um determinado grupo, uma vez que, a literatura indica que animais com mesmo ganho de peso podem ter consumos distintos, afetando diretamente a lucratividade da atividade.

Para avaliar o consumo alimentar dos animais, existem algumas ferramentas coletivas e individuais. Sua escolha deve levar em conta o método que melhor se encaixa no sistema proposto. As avaliações de consumo coletivas podem ser realizadas utilizando-se equipamentos como Calan gate, GrowSafe®, Intergado, realizadas, também, por meio de baias individuais. O uso de cochos eletrônicos permite precisão na coleta de dados em estudos como o de CAR, pois esses equipamentos foram desenvolvidos para gerar dados de consumo e comportamento alimentar dos animais de forma automática, individualizada, acurada e confiável (CARVALHO, et al., 2014).

Ao longo dos anos, algumas medidas de eficiência alimentar foram propostas, tais como: conversão alimentar (CA), eficiência alimentar bruta (EA), taxa de Kleiber (TK), taxa de crescimento relativo (TCR), eficiência parcial de crescimento (EPC), ganho de peso residual (GPR) e o consumo alimentar residual (CAR) permitindo a identificação de animais mais eficientes nos rebanhos (GOMES et al., 2012).

A conversão alimentar (CA) é resultante da razão entre ingestão de matéria seca diária (IMS) e ganho médio diário de peso vivo (GMD), já a eficiência alimentar bruta (EA) é a relação inversa da conversão alimentar, obtida pela razão entre o GMD e a IMS. Estas medidas são consideradas brutas por não levarem em consideração as diferenças das exigências de manutenção e crescimento dos animais (ARTHUR et al., 1996), ou seja, estão correlacionadas com medidas de tamanho corporal e taxa de crescimento. Esses parâmetros possuem interpretações diferentes para a obtenção de animais mais eficientes em relação à alimentação, sendo desejável uma menor relação de CA, pois o que se prioriza é o menor consumo de alimento por produção de carne. Se comparado com EA, é interessante que se obtenha maior ganho de peso para 1 kg de alimento consumido, ou seja, quanto maior seu valor, maior será o retorno sobre o custo de alimentação e, provavelmente, maior será a lucratividade da bovinocultura de corte. Em função disso, quando utilizadas em índices de seleção, estas medidas possuem limitações, já que estão correlacionadas com medidas de tamanho corporal e taxa de crescimento. Assim, animais mais eficientes (menor CA ou maior EA) para essas medidas tornam-se animais mais pesados a cada geração, o que é desfavorável para o sistema de produção, resultando na seleção de animais mais tardios e com acabamento de carcaça indevido (FARJALLA, 2009).

Segundo Cameron (1998), devido às dificuldades de estimação de consumo para bovinos criados extensivamente, estudiosos sugeriram medidas indiretas de eficiência, sem o registro de consumo de matéria seca. Kleiber (1936) propôs a taxa de Kleiber (TK), resultante da razão entre ganho médio diário e peso vivo metabólico, ou seja, ganho de peso proporcional

a cada quilo (Kg) de peso metabólico, assim, valores maiores são favoráveis. Outra medida indireta de eficiência alimentar proposta foi a taxa de crescimento relativo (TCR), definida como a razão da diferença do logaritmo do peso final e do logaritmo do peso inicial pelos dias em teste, isto é, potencial de crescimento relativo à maturidade, onde valores maiores são favoráveis. Dessa forma, o animal com ganho em grau de maturidade em um determinado período de tempo seria mais eficiente (FITZHUGH JR.; TAYLOR, 1971). A utilização dessas duas medidas indiretas como ferramentas para seleção, em programas de melhoramento genético, pode provocar o aumento do tamanho adulto dos animais, uma vez que elas ponderam o ganho de peso dos animais e não o adequado aproveitamento dos nutrientes, resultando, portanto, em um aumento das necessidades de manutenção (NKRUMAH et al., 2006).

Outra medida de eficiência alimentar utilizada é a Eficiência Parcial de Crescimento (EPC), calculada como a razão entre o ganho de peso médio diário e a diferença entre o consumo de matéria seca médio diário, necessário à manutenção do animal (ARTHUR et al., 2001). Animais com maior índice de EPC apresentam um ganho de peso médio diário maior, com menor ingestão de matéria seca, ou seja, são mais eficientes. Já o Ganho de Peso Residual (GPR) é estimado pela diferença entre o ganho médio de peso diário e o ganho de peso diário esperado, calculado com base no consumo de matéria seca e no peso vivo metabólico ($PV^{0,75}$), utilizando regressão linear múltipla, e sendo sua unidade dada em quilos, ganhos por dia ($GPR = GMD \text{ observado} - GMD \text{ estimado}$). Segundo Mercadante & Grion (2013), os valores maiores são favoráveis e indicam que o animal teve um ganho de peso maior do que o esperado, apresentando uma maior eficiência alimentar.

Um índice alternativo para medir a eficiência alimentar é o consumo alimentar residual (CAR), uma vez que propõe a seleção de animais com menor consumo e menores exigências de manutenção, sem que ocorram alterações no peso adulto ou no ganho de peso do animal (MOTA, 2014). Esse índice é calculado por equações de regressão que utilizam o peso vivo metabólico ($PV^{0,75}$), o GMD e a IMS, por meio da diferença do consumo de matéria seca observada (IMS_{obs}) e a ingestão de matéria seca esperada (IMS_{esp}) baseado no peso vivo e no ganho em peso do animal (GOMES et al., 2012).

2.2 Consumo Alimentar residual

Na bovinocultura de corte, é interessante que se faça seleção dos animais mais eficientes quanto à ingestão de alimentos, mas que não dependam do tamanho e da taxa de crescimento.

Diante disso, foi proposto por Koch et al. (1963), uma medida de eficiência alimentar independente do ganho de peso, que é o consumo alimentar residual (CAR).

Conforme descrito por Gomes et al. (2012), o CAR é calculado como a diferença de ingestão de matéria seca (IMS_{obs}), observada durante a Prova Zootécnica, e a ingestão de matéria seca esperada (IMS_{esp}), baseada no peso vivo médio metabólico (PVMM) e no ganho em peso. Assim, é possível identificar e selecionar os animais mais rentáveis para o sistema de produção, uma vez que os mais eficientes se mantêm e crescem com menor quantidade de alimento, do que o esperado (BASARAB et al., 2003). Os animais mais eficientes, para o CAR, possuem valores negativos dessa medida e necessitam menos nutrientes para sua manutenção e taxa de crescimento, resultando em menor ingestão de alimentos. Assim, o CAR seleciona animais de menor ingestão e menores exigências para manutenção, sem mudanças no peso adulto ou no ganho de peso (BASARAB et al., 2003).

Estudos de Herd e Arthur (2009) reconheceram que há variações na eficiência dos animais e existem pelo menos cinco principais processos pelos quais as variações no CAR podem surgir: variações no consumo de alimentos, digestão dos alimentos (associados aos gastos de energia), metabolismo (anabolismo e catabolismo associados às variações na composição corporal), atividade e termorregulação (sensível e não-sensível a perdas de calor). Como essa medida é independente do tamanho do animal e taxa de crescimento, as variações no CAR podem representar variação inerente à processos fisiológicos que determinam a eficiência de produção (ARTHUR et al., 2001). De acordo com estimativas de Richardson e Herd (2004), os processos fisiológicos que regulam essa variação são: o *turnover proteico*, estresse e metabolismo dos tecidos (37%), além de outros, como o transporte de íons (27%), atividade (10%), digestibilidade (10%), incremento calórico (9%), composição corporal (5%) e comportamento ingestivo (2%).

O *turnover protéico* representa um gasto energético de manutenção aproximado de 30% (BALDWIN; SAINZ, 1995). Em estudos de Richardson et al. (2001), foram encontradas correlações negativas entre CAR e a percentagem de proteína corporal e entre CAR e ganho protéico, ou seja, animais mais eficientes possuem um mecanismo para deposição de proteína mais eficiente ou uma menor taxa de degradação de proteína, comparada com os animais menos eficientes.

Foram avaliados os processos metabólicos que contribuem para variação no CAR, observando-se que animais menos eficientes apresentaram maiores níveis de insulina, cortisol e ureia e menores de triglicerídeos, indicando serem respostas relacionadas às mudanças na composição corporal, reciclagem tecidual e na eficiência de utilização dos nutrientes, além de

respostas a situações de estresse em animais menos e mais eficientes (RICHARDSON et al., 2004). Em estudos com animais Nelore, foi verificado que os mais eficientes tiveram menor nível de hormônio cortisol em relação aos animais ineficientes, sugerindo uma relação ente eficiência alimentar e o eixo hipotálamo-pituitário e uma menor susceptibilidade ao estresse por animais mais eficientes.

A variação no consumo de alimentos está diretamente associada com a energia gasta para manutenção e também na eficiência de utilização do alimento (EUCLIDES FILHO et al., 2003). Ainda não são bem compreendidas as razões das discrepâncias no aproveitamento dos alimentos em animais similares, que recebem mesma dieta. Supõe-se que os menos eficientes tenham maiores taxas de catabolismo, o que eleva ao gasto energético de manutenção desses animais, com menor disponibilidade de nutrientes para produção (SANTANA JUNIOR et al., 2013).

Neste sentido, Gomes et al. (2012) estudaram novilhos Nelore quanto à eficiência alimentar e desempenho em períodos consecutivos de alimentação e encontraram que os animais eficientes (CAR negativo) comeram menos (- 1,18 kg IMS) e apresentaram maior ganho por alimento consumido, sem alterar a taxa de crescimento ou tamanho corporal no primeiro período de avaliação, em comparação com os animais ineficientes (CAR positivo). Em conformidade com este estudo, Durunna et al. (2011) afirmam que os novilhos de baixo CAR tiveram menor IMS em relação aos de alto CAR, mesmo que o crescimento deles fossem semelhantes durante o estudo. E em bovinos de corte cruzados, Fidelis et al., (2017) não encontraram diferenças significativas entre as classes de CAR com as variáveis relacionadas ao peso: ganho médio diário, peso corporal de abate, peso vazio do corpo, peso quente da carcaça, peso frio da carcaça, comprimento ou profundidade da carcaça. Deste modo, esses resultados mostram que, embora os animais de baixo CAR consumissem menos ração, não apresentaram comprometimento em características de desempenho. Os resultados do desempenho de confinamento, concordam com o conceito de CAR, definido como fenotipicamente independentemente do tamanho corporal e do ganho médio diário.

As medidas de eficiência alimentar são diretamente relacionadas com a ingestão de matéria seca. Fitzsimons, Kenny e McGee (2014) avaliaram touros Simental quanto à ingestão de matéria seca, concluindo que os touros de alto CAR ingeriram 14% de matéria seca a mais comparado com touros baixo CAR. Já Kayser e Hill (2013) verificaram que, nos touros Angus, houve uma redução de 17% na IMS dos animais mais eficientes. Quanto aos touros Hereford, os animais eficientes reduziram em média 14% a IMS, quando comparado aos animais ineficientes. Resultados semelhantes foram obtidos por Durunna et al. (2011), que observaram

que a IMS de um grupo baixo CAR foi 14% menor, durante a fase de crescimento e 10% menor, durante a fase de acabamento, quando comparados a um grupo de alto CAR para novilhas cruzadas de corte. Dessa forma, estudos com animais cruzados de Angus apontam que estes consomem menos e apresentam o mesmo ganho corporal, pelo fato de animais eficientes necessitarem de menor energia para manutenção. Autores apontam que essa menor energia de manutenção se deve à menor produção de metano durante a digestão (NKRUMAH et al., 2006), menor atividade física (BAREA et al., 2010; LUITING; URFF; VERSTEGEN, 1994) e menor responsividade ao estresse (KNOTT et al., 2010).

Essa variação na ingestão de matéria seca pode ser explicada por estudos de Magnani et al. (2013), que avaliaram novilhas Nelore classificadas em baixo (eficientes) e alto (ineficientes) CAR, observando que animais mais eficientes apresentaram maior digestibilidade da matéria seca (DMS), fibra insolúvel em detergente neutro (DFDN), fibra insolúvel em detergente ácido (DFDA) e celulose (DCEL), quando comparados aos animais menos eficientes. Provavelmente, a maior eficiência foi resultante da melhor capacidade de digestão da porção fibrosa da dieta. Nesse sentido, Nkrumah et al. (2006) verificaram associações entre CAR e digestibilidade aparente da MS da dieta. Essa variação na digestibilidade aparente foi de aproximadamente 5% entre as classes de CAR. Logo, animais mais eficientes aproveitam melhor a dieta, resultando em melhor digestibilidade dos alimentos (RICHARDSON; HERD, 2004).

Sabendo da importância de CAR na redução da IMS e, conseqüentemente, no decréscimo do custo de produção na bovinocultura de corte, é importante entender não só as variações ambientais, mas também as influências genéticas desta característica, visando gerar informações necessárias para adotar estratégias a serem usadas no melhoramento genético.

2.3 Avaliação Genética

O melhoramento genético tem o objetivo de otimizar os níveis da produção, produtividade e qualidade do produto, simultaneamente com o sistema de produção e as exigências do mercado. Portanto, o objetivo central é a mudança na média fenotípica do rebanho, resultante de seleção e acasalamento dirigido. A seleção se dá através da escolha dos melhores indivíduos, em relação ao conjunto de características interessantes para a produção, para serem utilizados como pais da próxima geração. Através da seleção adequada dos animais, permite-se alterar as frequências gênicas na população e obter maior progresso genético (PAULA et al., 2013). Nesse sentido, a maior variabilidade genética permite melhor resposta à

seleção e apenas com a seleção é possível aumentar a frequência dos genes desejáveis na população (PEREIRA, 2014).

Segundo Lara (2014), os ganhos genéticos são permanentes e acumulativos, pois passam de geração a geração, no entanto deve-se atentar para que não ocorra a seleção antagônica às metas do sistema de produção. Dessa forma, se os programas de melhoramento genéticos forem bem executados, serão indicadores de touros melhoradores, que favorecerão o ganho genético cumulativo, acrescentando a frequência gênica favorável e reduzindo a frequência de genes indesejáveis no rebanho (PAULA et al., 2013).

A avaliação genética de animais é baseada na metodologia das equações dos modelos mistos, desenvolvida por Henderson, em 1949, mas apresentado, formalmente, em 1973 (HENDERSON, 1973). Esse método resume-se na predição dos valores genéticos, representados como aleatórios, ajustando-se às observações fenotípicas em relação aos efeitos fixos do modelo que, geralmente, são associados a efeitos ambientais. Esses dados (observações) podem ser balanceados ou desbalanceados. Esse procedimento de predição de valores genéticos foi denominado de *Best Linear Unbiased Predictor – BLUP*, melhor predição linear não viciada. Assim, é possível obter soluções para os efeitos fixos (BLUE) e simultaneamente para os efeitos aleatórios, ou seja, BLUP.

2.3.1 Parâmetros genéticos

Os valores fenotípicos podem ser mensurados diretamente nos animais, mas apenas os valores genéticos determinam sua influência na geração seguinte. Para que os dados fenotípicos sejam úteis em programas de melhoramento genético, faz-se necessário estimar os parâmetros genéticos, de forma acurada, para as características avaliadas a partir deles. Estas informações possibilitam acelerar, na direção desejada, a alteração do mérito genético do rebanho (YOKOO et al. 2007). Os componentes de (co)variância precisam ser estimados com alta acurácia para que os valores genéticos obtidos possam representar uma ferramenta efetiva na seleção e melhoramento genético do rebanho (FARIA et al., 2007).

A herdabilidade é a razão da variância genética aditiva sobre a variância fenotípica total, ou seja, a parte herdável da variabilidade total. Assim, quanto maior a herdabilidade, maior parte da variância observada da população é resultante da variação dos valores genéticos (PEREIRA, 2014). A resposta à seleção para CAR depende da variância genética e da herdabilidade da característica (CREWS et al., 2004).

Cada rebanho analisado apresenta variâncias genéticas aditivas singulares às suas peculiaridades, como seleções e matriz de parentesco (PEREIRA, 2014). Sendo assim, a seleção

continuada em rebanhos fechados pode provocar maior consanguinidade do rebanho, resultando em menor variabilidade genética e menor resposta à seleção, uma vez que a herdabilidade é definida como a proporção da variância total fenotípica resultante do efeito de fatores genéticos aditivos (VISSCHER et al., 2008).

Visto que cada conjunto de indivíduos apresenta uma estrutura genética própria (VENCOVSKY, 1987), é possível observar grandes diferenças nas estimativas de parâmetros genéticos, utilizando uma mesma espécie, o que se deve às interações entre os genótipos dos indivíduos e os fatores ambientais (GIANNONI; GIANNONI, 1983).

A literatura aponta variação genética aditiva para CAR de 0,04; 0,14; 0,20, respectivamente em estudos para raça Nelore (GRION et al, 2014; OLIVEIRA et al., 2014; SANTANA et al, 2014), enquanto para Angus e Charolês de 0,15 (NKRUMAH et al., 2007) e bovinos de corte cruzados de 0,45 (BERRY e CROWLEY et al. 2013). Foram relatadas estimativas de herdabilidade para CAR em raças taurinas de moderada a alta magnitude, com valores de 0,47; 0,45 e 0,52, respectivamente (LANCASTER et al., 2009; BOUQUET et al., 2010; ROLFE et al., 2011). Para a raça Nelore, as estimativas de herdabilidade para CAR mantiveram de media a alta magnitude com valores de 0,33 e 0,37 (GRION et al. 2014; SANTANA et al. 2014).

Considerando que CAR é passível de seleção, importa saber se a inclusão desta característica em programas de seleção influencia geneticamente outras características de interesse econômico. Para isso, faz-se necessário estimar as correlações genéticas entre as características. Deste modo, a quantidade e o sentido da resposta correlacionada são determinados, principalmente, pela correlação genética entre duas características envolvidas. A correlação genética (r_g) é obtida através da divisão da covariância entre os valores genéticos aditivos de duas características, pelo produto dos desvios padrão das duas características (FALCONER; MACKAY, 1996), o que mede a probabilidade de duas características diferentes serem afetadas pelos mesmos genes, assim como sua intensidade. (PEREIRA, 2014).

A correlação genética ocorre, principalmente, pela pleiotropia, que define a propriedade pela qual um gene pode afetar duas ou mais características. Assim, na complexidade genética que é o genótipo do animal, é possível que existam genes agindo favoravelmente (sinergisticamente) e antagonicamente sobre duas características. Se esta anulação ocorrer, ainda que haja pleiotropia, não haverá correlação genética (FALCONER; MACKAY, 1996). Outra provável causa da correlação genética é a ligação de genes (*linkage*) que influenciam duas características. A contribuição de ligação de genes tende a decrescer em cada geração, na

medida em que essas correlações são quebradas pelo *crossing-over*, o que está relacionado à distância entre os genes (FALCONER; MACKAY, 1996).

Uma das vantagens do entendimento de correlação, é a possibilidade da seleção indireta para características cuja seleção direta seja mais complexa, decorrente de fatores como: baixa herdabilidade e dificuldade de mensuração ou de identificação. O progresso genético pode, então, ser obtido nessa característica, por meio da seleção de outra, utilizando-se a seleção através da resposta correlacionada. Outra possibilidade ocorre quando duas características são economicamente importantes e os genes agem simultaneamente, resultando em uma correlação alta e favorável. Nesse caso, a ênfase na seleção poderá ser em apenas uma característica, sendo possível aprimorar o mérito genético de um conjunto de características que agem simultaneamente (MARCONDES et al. 2011).

Ainda que as características apresentem correlação desfavorável, o resultado desse parâmetro genético pode identificar as possíveis mudanças indesejáveis de alguma característica em resposta à seleção da outra. Isso permite que se tome um melhor direcionamento para o melhoramento genético animal, já que a seleção para uma delas, resultará em mudanças no sentido contrário. Portanto, se as características não apresentarem nenhuma correlação, significa que a seleção de uma não afetará a outra (MARCONDES et al. 2011).

Para entender se a seleção de CAR afetará outras características de interesse na produção, tais como as características de carcaça, deve-se conhecer quais são elas e qual sua importância para a qualidade de carne designada ao consumidor. Pensando nisso, as características de carcaça podem ser avaliadas com o animal vivo, permitindo a decisão de que esses animais serão destinados à seleção ou descarte, em razão dos resultados obtidos para essas características.

2.4 Características de carcaça avaliadas por ultrassonografia

A ultrassonografia de carcaça é um método ágil, eficiente e confiável que permite mensurar as características de carcaça sem abater o animal, sendo um mecanismo não invasivo e que não deixa resíduo prejudicial na carne dos animais, conforme descrito por Yokoo et al. (2009). A avaliação dessas características através do uso desse equipamento permite aliar os valores econômicos da carcaça, importantes para produtor, e também características de qualidade da carne, de forma que atendam à indústria e ao mercado consumidor (MALDONADO, 2007).

A determinação da composição física da carcaça, quando avaliado precocemente o rendimento, assim como gordura de acabamento e de marmoreio, ajuda a diagnosticar o nível

de qualidade do processo de produção empregado na criação dos bovinos. Desta forma, é possível identificar os animais com as características desejáveis para seleção de genética superior ou descarte dos animais mal terminados, com deficiência de acabamento ou excessivo acabamento (SUGUISAWA et al., 2006).

O ultrassom consiste em um equipamento de alta frequência de ondas sonoras, acima de 16.000 ciclos/segundo com frequências 3 e 3,5 MHz, possibilitando a identificação quantitativa dos tecidos musculares e adiposos através da diferença de impedância acústica (DIBIASE, 2006).

Segundo Yokoo (2009), a ultrassonografia determina a espessura de gordura subcutânea e intramuscular e a musculosidade de cada animal. Já, para Dibiase (2006), as características analisadas para qualificar as carcaças por uso do ultrassom são: a) área de olho de lombo (AOL), expressa em cm^2 , indicadora de tecido muscular e rendimento de carcaça; b) espessura de gordura subcutânea no lombo (EGS), expressa em mm, indicadora de precocidade de acabamento, sendo o último tecido a depositar gordura, informa qual o grau essencial de acabamento da carcaça para preservar a carne ao resfriar, em correlação com o teor de gordura e c) gordura de marmoreio (MAR), dada em score e porcentagem de lipídeos, estimando a quantidade de gordura intramuscular depositada, que caracteriza a suculência e o sabor da carne.

Essas características são medidas no músculo *Longissimus dorsi*. A imagem da AOL e EGS é obtida a partir de um corte transversal desse músculo entre a 12^a e 13^a costela. Já a leitura de MAR é feita com o transdutor disposto longitudinalmente no *Longissimus dorsi* entre a 11^a e 13^a costela. Por último, é mensurada a espessura de gordura subcutânea na garupa (EGP8), obtida em mm, medida na garupa, entre os músculos localizados entre o ílio e o ísquio, que determinam o grau de acabamento da carcaça associado com precocidade de crescimento e acabamento.

As medidas de AOL e EGS obtidas através do ultrassom apresentam correlação de 0,47 e 0,64 com as medidas obtidas na carcaça. A área de olho de lombo é positivamente correlacionada com a musculosidade total do animal, além de ser boa indicadora de rendimento de cortes nobres (POLIZEL NETO et al., 2009). A espessura de gordura subcutânea é positivamente correlacionada ao total de gordura corporal e negativamente correlacionada à porcentagem de cortes desossados (LUZ et al., 2006).

A gordura subcutânea (cobertura) tem função protetora, atuando como um isolante térmico, diminuindo a velocidade de resfriamento da carcaça e evitando desidratação, escurecimento e redução na maciez da carne. Além disso, os níveis mais baixos de gordura

impactam na qualidade, como no sabor e na suculência. As carcaças com deposição de gordura subcutânea menor que 3 mm, após abate, são resfriadas rapidamente, antes de entrarem em rigor mortis, podendo ocorrer endurecimento da carne, devido ao encurtamento excessivo do sarcômero pela ação do frio. Esse fenômeno é chamado de “*cold shortening*”, e pode ser evitado com a produção de carcaças com adequada cobertura de gordura (BRIDI et al., 2011).

A correta espessura de gordura subcutânea se reflete em melhor desempenho reprodutivo de vacas de cria, uma vez que essa camada é utilizada como reserva de energia corporal. No período de escassez alimentar, para sustentar o crescimento fetal e a produção de leite, as vacas prenhes ou em lactação necessitam mobilizar reservas corporais de energia e proteína, armazenadas na época de abundância de alimentos (DEMMENT; VAN SOEST, 1985). Além disso, a EGS está relacionada com o retorno do ciclo estral das vacas, pois os principais mecanismos envolvidos no bloqueio do centro gerador de pulsos do hormônio liberador de gonadotrofinas (GNRH) estão relacionados com os mediadores liberados em condições de nutrição deficiente (RABASSA et al., 2007).

A qualidade da carcaça é afetada por alguns fatores sendo: o rendimento de cortes cárneos, a percentagem de gordura e a maciez da carne. No entanto, é de grande importância ser mensurada a área de olho de lombo como indicadora do desenvolvimento muscular que, ao ser associada com as medidas de espessura de gordura ou acabamento, oferecem informações relativas à qualidade da carcaça, conforme Boleman et al. (1998). Por esses motivos, a verificação das carcaças é fundamental para se obter a padronização do produto e uma boa estrutura de comércio da carne (SAKAMOTO, 2012), garantindo, também, a manutenção da reserva energética em prenhes e matrizes (SANTANA et al., 2014).

A estimativa de herdabilidade da AOL, relatadas em trabalhos com bovinos Nelore no Brasil, foram de 0,23;0,25; 0,29; 0,30; 0,35 e 0,46 (TORAL et al. 2011; FARIA et al. 2015; YOKOO et al., 2010; SIMIELLI FILHO et al., 2014; SANTANA et al., 2014; MORAES et al. 2019), respectivamente. As estimativas de herdabilidade para espessura de gordura subcutânea e espessura de gordura na garupa (EG e EGP8) foram de média a alta magnitude. Toral et al. (2011) avaliaram animais Hereford e Hereford x Nelore, estimando o valor de 0,13 para espessura de gordura subcutânea. Já Faria et al. (2015) obtiveram estimativas de herdabilidade de 0,17 para EG e 0,25 para EGP8, também em animais Nelore. Moraes et al (2019) analisaram dados de machos Nelore e observaram estimativa de herdabilidade de 0,32 para característica ACAB. Supõe-se que os dados numéricos maiores, obtidos nesse estudo, tenham ocorrido em virtude do rebanho ser selecionado para características de carcaça, apresentando maior variância genética aditiva para deposição de gordura.

A estimativa de herdabilidade encontrada em trabalhos de Moraes et al. (2019) para marmoreio foi de 0,47 em bovinos Nelore. Resultados próximos foram obtidos por Mao et al. (2013), em bovinos Angus 0,37, porém maior estimativa foi observada em animais Charolês 0,74. A herdabilidade estimada nestes dois estudos foi de média à alta magnitude, inferindo-se, portanto, que a genética aditiva é responsável por uma boa parte da variação total da característica, a qual é passível de seleção, considerando-se, também, a sua variabilidade. Segundo Arboitte et al. (2012) houve aumento da preocupação do consumidor brasileiro com a qualidade do produto e na demanda por proteína de origem animal com maior valor agregado. Portanto, a utilização da característica marmoreio, mensurada através de ultrassonografia, como método de seleção pode ajudar o pecuarista a entrar, gradativamente, em um nicho de mercado mais exigente e com consumidores de produtos com maior valor agregado.

2.5 Diferenças na composição de carcaça entre machos e fêmeas

Estudos registram que a composição corporal dos bovinos mais dispendiosa é a gordura de cobertura. Portanto, o marmoreio pode explicar 33% da variação da palatabilidade no lombo e 7% no traseiro do animal (SMITH et al., 1985). Para Lawrie (1974), o bovino ideal para corte apresenta alta proporção de gordura no tecido adiposo subcutâneo e baixa proporção de gordura na cavidade corporal, ou seja, a gordura de cobertura (subcutânea) é um importante indicador de boa qualidade (SILVA, 2011).

Durante o crescimento, a deposição de gordura é fragmentada de acordo com uma ordem cronológica fixa. A gordura perirrenal é a primeira a ser depositada, seguida pela intermuscular, subcutânea e, finalmente, pela intramuscular (WARRISS, 2000). O desenvolvimento do tecido adiposo se dá tanto por hiperplasia (aumento no número de células), quanto por hipertrofia (aumento do tamanho dos adipócitos, como resultado do acúmulo de gordura no citoplasma) (SAINZ; HASTING, 2000).

Quando os animais atingem a fase de terminação, os depósitos de gordura que se desenvolvem mais precocemente (intermuscular, perirrenal e mesentérico) já completam seu desenvolvimento hiperplásico e passam a depositar gordura nos adipócitos já existentes. Enquanto isso, os depósitos subcutâneo e intramuscular continuam a recrutar novos adipócitos, preenchendo-os com gordura. Sabendo que a gordura é um tecido de formação tardia, a deposição ocorre na fase de terminação. Assim, animais de maior porte respondem tardiamente à deposição de gordura, pois o processo metabólico é voltado primeiramente para as

necessidades energéticas de crescimento muscular e estrutural (BERG E BUTTERFIELD, 1976).

As medidas de carcaça obtidas por ultrassonografia são avaliadas em muitos programas de melhoramento genético, com o objetivo de incorporar os valores fenotípicos nos seus bancos de dados para a geração de valores genéticos. A coleta de dados dos animais deve ser realizada, preferencialmente, ao sobreano, pois esta é a idade em que ocorre o máximo da expressão do crescimento e do desenvolvimento corporal (ROSA et al 2013). Portanto, as medições dessas características de carcaça podem ser realizadas em conjunto com a avaliação de eficiência alimentar, que devem ocorrer com idade mínima de 8 meses e máxima de 24 meses ao final do teste, a fim de obter valores genéticos para composição de índices de seleção (MENDES et al., 2020).

Diferenças na composição de carcaça dos bovinos já foram estudadas e identificou-se que os machos geralmente produzem carcaças mais pesadas e mais magras em relação às novilhas, que possuem menor quantidade de músculo e maior deposição de gordura, Nogalski et al. (2018). Essa variação na composição ocorre em função das diferenças no nível de hormônios sexuais circulantes nos bovinos. Portanto, o sexo através dos hormônios influi no crescimento dos tecidos corporais, afetando a composição da carne (BERG; BUTTERFIELD, 1976).

O perfil hormonal do gado de corte está diretamente relacionado à distribuição de ácidos graxos nos músculos, e as fêmeas expressam esses genes favoráveis para a deposição de gordura comparado aos machos. As diferenças no perfil de ácidos graxos têm sido associadas a suas diferentes taxas de crescimento e maturação, uma vez que os hormônios sexuais podem influenciar o metabolismo lipídico (VENKATA REDDY et al., 2015).

Os principais hormônios produzidos pelos testículos são andrógenos, enquanto os produzidos pelos ovários são estrogênios e progesterona. Andrógenos estimulam crescimento nos músculos, aumentando a síntese de proteínas, uma ação que é acompanhada pela diminuição da deposição de gordura. Andrógenos também estimulam deposição de sais ósseos, causando aumento no crescimento ósseo em comparação com as fêmeas e castrados (MARTINEZ; BUTTERRY; PEARSON, 1984). Os estrogênios geralmente têm pouco ou nenhum efeito sobre síntese de proteína do músculo esquelético, mas eles são eficazes na promoção de deposição de gordura corporal. O tecido adiposo, de acordo com Sainz e Hasting, (2000), têm o seu desenvolvimento por meio do aumento do número e tamanho dos adipócitos, decorrente do acúmulo de gordura no citoplasma (hipertrofia). O tecido adiposo possui enzimas que aromatizam a testosterona, a qual reduz a deposição de gordura, explicando a menor

concentração de tecido adiposo nos machos, em comparação com as fêmeas (LAWRENCE; FOWLER, 1997). Os efeitos específicos dependem da proximidade da puberdade e concentração de estrogênio. Portanto, as fêmeas amadurecem mais cedo que os machos, segundo Irshad et al. (2013).

A testosterona, principal hormônio produzido pelos testículos, é um potente estimulador do hormônio do crescimento (GH), comparada aos esteroides ovariano (DAVIS et al., 1984). O GH apresenta grande influência no desenvolvimento do animal, por regular o crescimento de ossos e músculos, além de aumentar posteriormente a produção de leite e carne (PLOUZEK; TRENKLE, 1991). Sendo assim, a concentração média de GH, amplitude de pulso de GH, frequência de pulso de GH foram maiores em bovinos machos do que fêmeas (PLOUZEK; TRENKLE, 1991). Esteróides gonadais, de atividade anabólica, também foram conhecidos por aumentar a taxa de crescimento e melhorar a eficiência alimentar (DIKEMAN, 2007).

As taxas de crescimento corporal e secreção de GH são reguladas de maneira específica nos sexos de bovinos. Os animais machos apresentam maior taxa de crescimento corporal após o nascimento, quando comparado com fêmeas bovinas. O GH atua ligando-se diretamente aos seus receptores nas células precursoras de osso, músculo e gordura, desencadeando a proliferação celular. A mesma ligação ocorre com receptores no fígado e outros tecidos, estimulando a secreção do hormônio fator de crescimento semelhante à insulina tipo 1 (IGF-I) que tem papel na promoção do crescimento celular (KOPCHICK; CIOFFI 1991).

O tecido adiposo, de acordo com Sainz e Hasting, (2000), têm o seu desenvolvimento por meio do aumento do número dos adipócitos e pelo aumento do tamanho destes, decorrente do acúmulo de gordura no citoplasma (hipertrofia). O tecido adiposo possui enzimas que aromatizam a testosterona, a qual reduz a deposição de gordura, explicando a menor concentração de tecido adiposo nos machos, em comparação com as fêmeas (LAWRENCE; FOWLER, 1997). Os adipócitos são responsáveis pela maior parte da leptina produzida pelo organismo, sendo sua concentração variada de acordo com a quantidade de tecido adiposo na composição corporal. Baixos níveis de leptina induzem hiperfagia (NEGRÃO; LICÍNIO, 2000).

Estudos em rebanhos bovinos têm demonstrado que a expressão gênica e a concentração da leptina circulante são afetadas pelo fluxo de nutrientes e associadas à alterações nos níveis séricos de insulina e de IGF-1 (AMSTALDEN et al., 2000). Aumentos no peso vivo corporal e na concentração de IGF-1, no soro dessas fêmeas, foram associados aos níveis de leptina (Garcia et al., 2002).

Nesse contexto, nutrição, raça e sexo são os principais fatores que afetam composição de ácidos graxos de lipídios e deposição da gordura na carcaça. Foram encontradas diferenças entre os sexos para composição dos ácidos graxos de formação de gordura subcutânea e de marmoreio. O resultado do estudo de Terrel et al. (1968) afirma que as fêmeas apresentam maior composição desses ácidos graxos em relação aos machos.

Paulino et al. (2009) objetivaram avaliar os efeitos de classe sexual e o nível de oferta de concentrado sobre a composição corporal e deposição dos principais tecidos e constituintes químicos do corpo vazio de bovinos Nelore, de diferentes classes, sendo elas: machos não-castrados, machos castrados e fêmeas. Nesse trabalho, apesar das taxas de gordura visceral e gordura subcutânea, em relação ao peso de corpo vazio total, serem maiores nas fêmeas do que nos machos castrados e não-castrados, a deposição de gordura não foi influenciada pela classe sexual. Essas fêmeas conseguem depositar gordura mais cedo que os machos, devido a maturidade mais precoce, mas não quer dizer que depositam mais gordura que machos.

No estudo de Blanco et al. (2020), avaliou-se a concentração plasmática de IGF-I e leptina em três grupos: touros, novilhas e novilhos. Essa medida se alterou com o peso corporal (PC) em touros, apresentando alteração mínima com o PC em novilhas e novilhos. Touros tiveram a maior concentração de IGF-I, os novilhos apresentaram valores intermediários e as novilhas tiveram os menores valores apesar dos ganhos de peso não diferirem entre os novilhos e novilhas. Isso pode ser atribuído ao incremento na IGFBP-3, em torno de 11 a 12 meses de idade em fêmeas, associado ao início da puberdade (GOVONI; HOAGLAND; ZINN, 2003), o que poderia ter intensificado o efeito anabólico de IGF-I circulante. Já a concentração de leptina não se alterou entre os sexos em baixo peso corporal, portanto, como esperado, houve aumento nas concentrações de leptina ao longo da fase de engorda em todas as classes sexuais, altamente correlacionado com o peso corporal, refletindo o aumento da deposição de gordura. Com relação aos metabólitos, as concentrações de glicose foram maiores em touros do que novilhos e novilhas, refletindo seus diferentes equilíbrios e ganhos de energia nas diferentes fases.

As características da carcaça, composição química e perfil de ácidos graxos são influenciados por fatores genéticos, sistemas de produção e sexo dos animais. Os touros atingem o peso final para abate mais rápido do que novilhas, vacas e novilhos em função da testosterona. Em termos de preferência do consumidor, a carne produzida por novilhas é considerada com maior grau de qualidade, se comparado aos outros grupos, levando em conta que as fêmeas tem expressão de genes favoráveis para a deposição de gordura (BLANCO et al., 2020).

2.6 Impactos da seleção de CAR na qualidade de carcaça de bovinos

Estudos à respeito do consumo alimentar residual em zebuínos ainda são recentes no Brasil e há dificuldades na comparação de resultados com os estudos internacionais, com predominância de animais taurinos. Moraes et al. (2019) afirmam que, ao verificar correlações indesejadas entre o CAR e outras variáveis importantes na seleção, pode-se incluir ajustes no cálculo do consumo esperado, tornando a característica independente da medida para a qual foi ajustada. Portanto, são necessários mais estudos para se compreender esta medida de eficiência. Mesmo com o conhecimento das vantagens do CAR para a identificação de animais eficientes, as consequências da sua utilização, como critério de seleção sobre composição da carcaça e qualidade de carne, são pouco conhecidas.

Apesar da atenção que o CAR tem recebido, não há um consenso sobre a relação genética entre características de crescimento, carcaça e eficiência alimentar (BERRY E CROWLEY, 2013; TORREZ- VÁZQUEZ et al., 2018).

O estudo de Torrez- Vázquez et al. (2018) encontrou correlações genéticas positivas de média magnitude, mas desfavoráveis entre CAR e peso de carcaça 0,40, em uma avaliação com novilhos Angus, realizada na Austrália, indicando que animais mais eficientes terão carcaça menos pesadas, se comparados com animais ineficientes. Mao et al. (2013) também encontraram associações positivas, porém em menor magnitude, 0,12, em Angus e 0,15, em Charolês. No entanto, no estudo de Torrez-Vázquez et al. (2018), foram realizadas as mensurações de carcaça, incluindo o peso corporal após 180 dias do término do teste de eficiência alimentar, compreendendo as diferenças nas estimativas de correlação genéticas entre esses dois estudos, uma vez que os animais avaliados eram mais velhos, mais pesados e alimentados com grãos por um período mais longo. Entretanto, o ajuste para GMD e PVMM não garantem correlações baixas entre grupos de CAR e outras características de produção relacionadas ao crescimento.

Os estudos sobre efeito de CAR na deposição de gordura subcutânea são controversos. As correlações genéticas relatadas na literatura entre consumo alimentar residual e deposição de gordura na carcaça apresentam valores de baixa a média magnitude, conforme indicado na Tabela 1, abaixo. . Essas discrepâncias das correlações genéticas entre CAR e gordura da carcaça estão associadas às diferenças na propensão para a geração de gordura entre diferentes raças de corte, juntamente com a variação na determinação da gordura da carcaça (KELLY et al. 2011).

Tabela 1- Estimativas de correlações genéticas entre consumo alimentar residual (CAR) e espessura de gordura subcutânea (EGS), em vários estudos com bovinos de diferentes raças.

Autor	Raça	CAR x EGS
Nkrumah et al. (2004)	Angus x Charolês	0,25
Basarab et al. (2007)	Angus x Hereford x Charolês	0,22
Crowley et al. (2011)	Taurinos de corte	0,33
Mao et al. (2013)	Charolês	0,42
Mao et al. (2013)	Angus	0,02
Berry e Crowley (2013)	Taurinos de corte	0,20
Bouquet et al. (2010)	Blonde D'Aquitaine	0,00
Bouquet et al. (2010)	Limousin	0,07
Torres- Vázquez et al. (2018)	Angus	0,18
Nkrumah et al. (2007)	Angus e Charolês	0,35
Oliveira Júnior et al. (2013)	Nelore	0,10
Santana et al. (2014)	Nelore	0,02
Ceacero et al. (2016)	Nelore	0,37
Moraes et al. (2019)	Nelore	-0,02

As estimativas de correlações genéticas obtidas para os bovinos de corte da raça Nelore citadas na tabela 1, foram de baixa magnitude, indicando a independência genética de CAR e medidas de gordura subcutânea, exceto em estudo de Ceacero et al. 2016, que encontraram correlação entre essas duas características de 0,37. Uma maior estimativa também foi encontrada entre a característica CAR ajustada para EGS e EGP8, neste estudo, o que não era esperado, já que a expectativa era de que essas correlações para as características ajustadas fossem nulas.

No estudo de Mao et al. (2013), uma correlação antagônica entre CAR e gordura de carcaça foi observada em bovinos Charolês, que cessam o crescimento mais tarde, mas não em bovinos Angus, que terminaram precocemente. Essas diferenças podem ser justificadas, uma vez que raças de tamanho grande e musculatura grossa têm taxas de crescimento maiores (maior ganho de peso), porém são mais tardios para acumular gordura na carcaça. Da mesma forma, bovinos de pequeno porte e musculatura moderada apresentam menores ganhos de peso e tecidos, porém são mais precoces em termos de acabamento de carcaça (SANTOS, 1999).

Em relação à deposição de gordura de marmoreio, Mao et al. (2013) estimaram uma correlação genética de baixa magnitude entre CAR e MAR: para animais Angus, 0,18 e 0,14, para animais Charolês. Moraes et al. (2019) também encontraram associações genéticas entre CAR e MAR de baixa magnitude para bovinos Nelore, 0,10, sugerindo que os genes que influenciam animais mais eficientes não possuem relação com genes para deposição de gordura intramuscular. No entanto, Nkrumah et al. (2007) estimaram correlações genéticas entre eficiência alimentar e características de carcaça, de animais cruzados de Angus e Charolês, de média magnitude: 0,32. Da mesma forma, Torres-Vázquez et al. (2018) avaliaram animais Angus na Austrália, no período de 2013 a 2017 e estimaram uma correlação genética de 0,31, inferindo que a seleção de animais eficientes pode influenciar na menor deposição de marmoreio, ainda que pouco expressiva.

Associações genéticas entre CAR e AOL foram observadas por Fitzsimons, Kenny e McGee (2014) que concluíram através da análise de correlação, que CAR teve uma correlação negativa moderada, porém favorável com AOL (- 0,21) em bovinos da raça Simental, assim como os estimados em bovinos taurinos de corte (CROWLEY et al., 2011). Em animais Nelore, a correlação genética obtida entre CAR e AOL também foi negativa e favorável: 0,38 (SANTANA et al., 2014) e -0,42 (MORAES et al. 2019). Esses resultados corroboram os obtidos por Torres- Vázquez et al. (2018) em animais Angus (-0,19). Em decorrência destes estudos, pode-se inferir que a seleção de animais mais eficientes (CAR negativo) acarreta em alguma melhoria no rendimento de carcaça dos animais, ainda que pouco expressivo.

Um estudo realizado com animais da raça Nelore foi desenvolvido por Oliveira Júnior (2013). Avaliou-se 1058 animais machos nascidos entre 2005 e 2011 e obteve-se uma estimativa de correlação genética de CAR com AOL próxima de zero (- 0,06) e nenhuma correlação genética entre essas características para bovinos Nelore (CEACERO et al., 2016). Esses resultados foram reforçados por Cruz et al. (2010), que utilizaram 60 novilhos Angus-Hereford e avaliaram as relações entre CAR, performance, características de carcaça e digestibilidade, descobrindo que CAR não teve efeito na área de olho de lombo (AOL) em bovinos de corte que consomem uma dieta rica em concentrado. Mao et al. (2013) também aferiram correlações genéticas de baixa magnitude entre CAR e AOL (0,19) para bovinos Charolês e (0,09) Angus. A ausência de um efeito de CAR na AOL sugere que o tamanho do músculo magro pode não ser o único contribuinte para a variação no CAR e que os processos biológicos, dentro do tecido muscular, como renovação de proteínas e metabolismo do tecido, podem ter papéis fundamentais na maior eficiência alimentar (HERD E ARTHUR, 2009).

REFERÊNCIAS

- AMSTALDEN, M. *et al.* Leptin gene expression, circulating leptin, and luteinizing hormone pulsatility are acutely responsive to short-term fasting in prepubertal heifers: relationships to circulating insulin and insulin-like growth factor I. **Biology of Reproduction**, v. 63, n. 1, p. 127-133, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1095/biolreprod63.1.127>
- ARBOITTE, M. Z. *et al.* Carcass characteristics of small and medium- frame Aberdeen angus young steers. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 34, n. 1, p. 49-56, 2012. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v34i1.12463>.
- ARTHUR, P. F. *et al.* Net feed conversion efficiency and its relationship with other traits in beef cattle. In: AUSTRALIAN SOCIETY OF ANIMAL PRODUCTION, 1996, Armidale. **Proceedings**...Armidale, 1996. p. 107-110.
- ARTHUR, P.F. *et al.* Genetic and phenotypic variance and covariance components for feed intake, feed efficiency and other post weaning traits in Angus cattle. **Journal of Animal Science**, v.79, p.2805-2811, 2001. DOI: <https://doi.org/10.2527/2001.79112805x>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE – ABIEC. **Perfil da pecuária no Brasil**. 2016. Disponível em:<http://www.crbpz.org.br/PortalUploads/Docs/1256.pdf> . Acesso em: 5. Dez. 2020.
- BALDWIN, R. L.; SAINZ, R. D. Energy partitioning and modeling in animal nutrition. **Annual review of nutrition**, v. 15, n. 1, p. 191-211, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.nu.15.070195.001203>
- BAREA, R. *et al.* Energy utilization in pigs selected for high and low residual feed intake. **Journal of animal science**, v. 88, n. 6, p. 2062-2072, 2010. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2395>
- BASARAB, J. A. *et al.* Relationships between progeny residual feed intake and dam productivity traits. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 87, n. 4, p. 489-502, 2007. DOI: <https://doi.org/10.4141/CJAS07026>
- 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. DOI: <https://doi.org/10.4141/A02-065>
- BERCHIELLI, T. T.; GARCIA, A. V.; OLIVEIRA, S. G. Principais técnicas de avaliação aplicadas em estudo de nutrição. **Nutrição de ruminantes**, v. 2, p. 565-600, 2006.
- BERG, R. T.; BUTTERFIELD, R. M. **New concepts of cattle growth**. Sydney University Press, University of Sydney, 1976.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5862>
- BLANCO, M. *et al.* Performance, carcass and meat quality of young bulls, steers and heifers slaughtered at a common body weight. **Livestock Science**, v. 240, p. 104156, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104156>

- BOLEMAN, S. L. *et al.* National Beef Quality Audit-1995: Survey of producer-related defects and carcass quality and quantity attributes. **Journal of Animal Science**, v. 76, n. 1, p. 96-103, 1998. DOI: <https://doi.org/10.2527/1998.76196x>
- BOUQUET, A. *et al.* Genetic parameters for growth, muscularity, feed efficiency and carcass traits of young beef bulls. **Livestock Production Science**, v.129, p.38-48, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.12.010>
- BRIDI, A. M.; CONSTANTINO, C.; TARSITANO, M. A. Qualidade da carne de bovinos produzidos em pasto. **Simpósio de produção animal a pasto**, v. 1, p. 311-332, 2011.
- CAMERON, N. D. Across species comparisons in selection for efficiency. In: WORLD CONGRESS ON GENETICS APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION, 6., 1998, Armidale. **Proceedings...**Armidale, 1998.v. 25, p. 73-80
- CARDOSO, F. F.; TEMPELMAN, R. J. Linear reaction norm models for genetic merit prediction of Angus cattle under genotype by environment interaction. **Journal of Animal Science**, v. 90, n. 7, p. 2130-2141, 2012. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4333>
- CARVALHO, B. C. *et al.* Pecuária de precisão: pesquisas em saúde e comportamento alimentar. **Embrapa Gado de Leite-Artigo de divulgação na mídia (INFOTECA-E)**, 2014.
- 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, p. e0161366, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161366>
- CREWS, D. H. *et al.* Genetic parameters among growth and carcass traits of Canadian Charolais cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 84, n. 4, p. 589-597, 2004. DOI: <https://doi.org/10.4141/A04-019>
- CROWLEY, J. J. *et al.* Genetic associations between feed efficiency measured in a performance test station and performance of growing cattle in commercial beef herds. **Journal of Animal Science**, v. 89, n. 11, p. 3372-3381, 2011. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2011-3836>
- CRUZ, G. D. *et al.* Performance, residual feed intake, digestibility, carcass traits, and profitability of Angus-Hereford steers housed in individual or group pens. **Journal of Animal Science**, v. 88, n. 1, p. 324-329, 2010. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2009-1932>
- DAVIS, S. L.; HOOSNER, K. L.; OHLSON, D. L. Endocrine regulation of growth in ruminants. In: Manipulation of Growth in Farm Animals. Martinus Nijhoff, The Hague, p. 161-178, 1984. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01043352>
- DEMMENT, M. W.; VAN SOEST, P. J. A nutritional explanation for body-size patterns of ruminant and nonruminant herbivores. **The American Naturalist**, v. 125, n. 5, p. 641-672, 1985. DOI: <https://doi.org/10.1086/284369>
- DIBIASI, N. F. **Estudo do crescimento, avaliação visual, medidas por ultrasonografia e precocidade sexual em touros jovens pertencentes a vinte e uma raças com aptidão para corte. 2006. 75f.** Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Zootecnia-Genética e Melhoramento Animal). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.
- DIKEMAN, M. E. Effects of metabolic modifiers on carcass traits and meat quality. **Meat Science**, v. 77, n. 1, p. 121-135, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.04.011>

- DURUNNA, O. N., *et al.* Feed efficiency differences and reranking in beef steers fed grower and finisher diets. **Journal of Animal Science**, v.89, n.1, p. 158-167, 2011. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2514>
- EUCLIDES FILHO, K. *et al.* Performance evaluation of different beef cattle genetic groups under feedlot. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 5, p. 1114-1122, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000500011>
- FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. Introduction to quantitative genetics. Essex. **UK: Longman Group**, 1996.
- FARIA, C. U. *et al.* Utilização de escores visuais de características morfológicas de bovinos nelore como ferramenta para o melhoramento genético animal. **Embrapa Cerrados-Documentos (INFOTECA-E)**, 2007.
- FARIA, C. U. *et al.* Análise bayesiana para características de carcaça avaliadas por ultrassonografia de bovinos da raça Nelore Mocho, criados em bioma Cerrado. **Ciência Rural**, v. 45, n. 2, p. 317-322, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20140331>
- FARJALLA, Y. B. **Desempenho, características de carcaça e qualidade de carne de bovinos Nelore estratificados pela eficiência através do consumo alimentar residual**, 2009. 57 f. Tese (Mestrado em Ciência animal e pastagens), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- FIDELIS, H. A. *et al.* Residual feed intake, carcass traits and meat quality in Nellore cattle. **Meat science**, v.128, p. 34-39, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.02.004>
- FITZHUGH JR, H. A.; TAYLOR, S. C. S. Genetic analysis of degree of maturity. **Journal of Animal Science**, v. 33, n. 4, p. 717-725, 1971. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas1971.334717x>
- FITZSIMONS, C.; KENNY, D. A.; MCGEE, M. Visceral organ weights, digestion and carcass characteristics of beef bulls differing in residual feed intake offered a high concentrate diet. **Animal: an international journal of animal bioscience**, v. 8, n. 6, p. 949, 2014. DOI: [10.1017/S1751731114000652](https://doi.org/10.1017/S1751731114000652)
- GARCIA, M. R. *et al.* Serum leptin and its adipose gene expression during pubertal development, the estrous cycle, and different seasons in cattle. **Journal of animal science**, v. 80, n. 8, p. 2158-2167, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1093/ansci/80.8.2158>
- GIANNONI, M. A.; GIANNONI, M. L. **Genética e melhoramento de rebanhos nos trópicos**. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1987.
- GOMES, R.C. *et al.* Ingestão de alimentos e eficiência alimentar de bovinos e ovinos de corte. **Funpec-Editora, Ribeirão Preto**, v. 77, 2012.
- GOVONI, K. E.; HOAGLAND, T. A.; ZINN, S. A. The ontogeny of the somatotropic axis in male and female Hereford calves from birth to one year of age. **Journal of animal science**, v. 81, n. 11, p. 2811-2817, 2003. DOI: <https://doi.org/10.2527/2003.81112811x>
- GRION, A. L.; MERCADANTE, M. E. Z.; CYRILLO, J. N. S. G. *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. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6682>

- HENDERSON, C. R. Sire evaluation and genetic trends. **Journal of Animal Science**, v. 1973, n. Symposium, p. 10-41, 1973. DOI: <https://doi.org/10.1093/ansci/1973.Symposium.10>
- HERD, R. M.; ARTHUR, P. F. Physiological basis for residual feed intake. **Journal of animal science**, v. 87, n. suppl_14, p. E64-E71, 2009. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1345>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa da Pecuária**, 2018. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939> . Acesso em: 5. Dez. 2020.
- IRSHAD, A. *et al.* Factors influencing carcass composition of livestock: A review. **J. Anim. Prod. Adv.**, v. 3, n. 5, p. 177-186, 2013. DOI: [10.5455/japa.20130531093231](https://doi.org/10.5455/japa.20130531093231)
- KAMALI, F. P. *et al.* Environmental and economic performance of beef farming systems with different feeding strategies in southern Brazil. **Agricultural Systems**, v. 146, p. 70-79, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.04.003>
- KAYSER, W.; HILL, R. A. Relationship between feed intake, feeding behaviors, performance, and ultrasound carcass measurements in growing purebred Angus and Hereford bulls. **Journal of Animal Science**, v. 91, n. 11, p. 5492-5499, 2013. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6611>
- KELLY, A. K. *et al.* Relationship between body measurements, metabolic hormones, metabolites and residual feed intake in performance tested pedigree beef bulls. **Livestock Science**, v. 135, n. 1, p. 8-16, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.05.018>
- KLEIBER, M. Problems involved in breeding for efficiency of food utilization. In: AMERICAN SOCIETY ANIMAL PRODUCTION, 29. 1936, Madison. **Proceedings...** Madison: Wisconsin University, p.247-258, 1936.
- KNOTT, S. A. *et al.* Feed efficiency and body composition are related to cortisol response to adrenocorticotropin hormone and insulin-induced hypoglycemia in rams. **Domestic Animal Endocrinology**, v. 39, n.2, p. 137-146, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2010.03.003>
- KOCH, R. M. *et al.* Efficiency of Feed Use in Beef Cattle. **Journal of Animal Science**, v. 22, n. 2, p. 486-494, 1963. DOI: [10.2527/jas1963.222486x](https://doi.org/10.2527/jas1963.222486x)
- KOPCHICK, J. J.; CIOFFI, J. A. Exogenous and endogenous effects of growth hormone in animals. **Livestock Production Science**, v. 27, n. 1, p. 61-75, 1991. DOI: [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(91\)90046-S](https://doi.org/10.1016/0301-6226(91)90046-S)
- LANCASTER, P. A. *et al.* Phenotypic and genetic relationships of residual feed intake with performance and ultrasound carcass traits in Brangus heifers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 87, n. 12, p. 3887-3896, 2009. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2041>
- LARA, G., E., O. **Equações de receita líquida e valores econômicos para características de peso e eficiência alimentar em bovinos da raça nelore**. Instituto de Zootecnia, Nova Odessa, 2014.
- LAWRENCE, T. L. J.; FOWLER, V. R. Growth of farm animals. Wallingford: Cabi International, p. 347, 1997.

LAWRIE, R. A. **Ciencia de la carne**. Editorial Acribia, 1974.

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. DOI: <https://doi.org/10.21708/avb.2013.7.4.3269>

LOBATO, J. F. P. *et al.* Brazilian beef produced on pastures: sustainable and healthy. **Meat science**, v. 98, n. 3, p. 336-345, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.06.022>

LOPES, L. S. *et al.* Viabilidade econômica da terminação de novilhos Nelore e Red Norte em confinamento na região de Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, p.774-780, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000400017>

LUCHIARI FILHO, A. **Pecuária da carne bovina**. Nova Odessa: Limbife – Laboratório de Análises de carne, p. 140, 2000.

LUITING, P.; URFF, E. M.; VERSTEGEN, M. W. A. Between-animal variation in biological efficiency as related to residual feed consumption. **NJAS wageningen journal of life sciences**, v. 42, n. 1, p. 59-67, 1994. DOI: <https://doi.org/10.18174/njas.v42i1.615>

LUZ, S. *et al.* Alterações nas características de carcaça de tourinhos Nelore, avaliadas por ultra-som. **R. Bras. Zootec.** v. 35, n. 2, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000200038>

MAGNANI, E. *et al.* Relações entre consumo alimentar residual, comportamento ingestivo e digestibilidade em novilhas Nelore. **Boletim de Indústria Animal**, v. 70, n. 2, p. 187-194, 2013. DOI: <https://doi.org/10.17523/bia.v70n2p187>

MALDONADO, F. Utilização da ultra-sonografia para predição de características de carcaças bovinas. Infobibos, 2007. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2007_2/ultrasonografia/index.htm. Acesso em: 05.jun. 2020.

MAO, F. L. *et al.* Phenotypic and genetic relationships of feed efficiency with growth performance, ultrasound, and carcass merit traits in Angus and Charolais steers. **Journal of Animal Science**, v.91, n. 5, p. 2067-2076, 2013. DOI: doi.org/10.2527/jas.2012-5470

MARCONDES, M. I. *et al.* Eficiência alimentar de bovinos puros e mestiços recebendo alto ou baixo nível de concentrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 6, p. 1313-1324, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000600021>

MARTINEZ, J. A.; BUTTERRY, P. J.; PEARSON, J. T. The mode of action of anabolic agents: the effect of testosterone on muscle protein metabolism in the female rat. **British Journal of Nutrition**, v.52, n.3, p.515-521, 1984. DOI: <https://doi.org/10.1079/BJN19840119>

MENDES, E. D. M. *et al.* **Procedimentos para mensuração de consumo individual de alimento em bovinos de corte**, 2020.

MERCADANTE, M. E. Z; GRION, A. L. Perspectivas de inclusão da eficiência alimentar em programas de melhoramento genético de bovinos de corte. **Simpósio Brasileiro de Melhoramento Animal**, v. 10, 2013.

MERTENS, D.R. Regulation of forage intake. In: FAHEY JR., G.C. (Ed.). **Forage quality, evaluation and utilization**. Madison: American Society of Agronomy, 1994.

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

MOTA, L. F. M. **Expressão do gene leptina, proteômica e modelos para estimação do CAR em animais da raça Nelore**. 2014. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, Minas Gerais, 2014.

NEGRÃO, A. B.; LICINIO, J. Leptina: o diálogo entre adipócitos e neurônios. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia**, v. 44, n. 3, p. 205-214, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0004-27302000000300004>

NKRUMAH, J. D. *et al.* Different measures of energetic efficiency and their phenotypic relationships with growth, feed intake, and ultrasound and carcass merit in hybrid cattle. **Journal of animal science**, v. 82, n. 8, p. 2451-2459, 2004. DOI: <https://doi.org/10.2527/2004.8282451x>

NKRUMAH, J. D. *et al.* Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 84, p.145–153, 2006. DOI: <https://doi.org/10.2527/2006.841145x>

NKRUMAH, J. D. *et al.* Genetic and phenotypic relationships of feeding behavior and temperament with performance, feed efficiency, ultrasound, and carcass merit of beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 85, n. 10, p.2382–2390, 2007. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2006-657>

NOGALSKI, Z. *et al.* Carcass characteristics and meat quality of bulls and steers slaughtered at two different ages. **Italian Journal of Animal Science**, v. 17, n. 2, p. 279-288, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1383861>

OLIVEIRA, P. S. N. *et al.* Identification of genomic regions associated with feed efficiency in Nelore cattle. **BMC genetics**, v. 15, n. 1, p. 100, 2014. DOI: 10.1186/s12863-014-0100-0

OLIVEIRA JUNIOR, G. A. *et al.* Parâmetros genéticos e correlações da ingestão e eficiência alimentar em bovinos da raça Nelore. In: **SIMPÓSIO DA SOCIEDADE 47 BRASILEIRA DE MELHORAMENTO ANIMAL**, 5. Uberaba. Anais... Uberaba: SBMA, 2013.

PAULA, E. F. E. *et al.* Consumo alimentar residual e sua relação com medidas de desempenho e eficiência e características in vivo da carcaça de cordeiros. **Arq. bras. med. vet. zootec**, Belo Horizonte, v.65, p.566-572, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-09352013000200037>

PAULINO, P. V. R. *et al.* Deposição de tecidos e componentes químicos corporais em bovinos Nelore de diferentes classes sexuais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 12, p. 2516-2524, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001200030>

PEREIRA, J. C. C. **Melhoramento genético aplicado à produção animal**. 4 ed. Belo Horizonte: FEPMVZ Editora, 2014.

PLOUZEK, C. A.; TRENKLE, A. Insulin-like growth factor-I concentrations in plasma of intact and castrated male and female cattle at four ages. **Domestic Animal Endocrinology**, v. 8, n. 1, p. 73-79, 1991. DOI: [https://doi.org/10.1016/0739-7240\(91\)90041-H](https://doi.org/10.1016/0739-7240(91)90041-H)

POLIZEL NETO, A. *et al.* Desempenho e qualidade da carne de bovinos Nelore e F1 Brangus× Nelore recebendo suplemento com cromo complexado à molécula orgânica na terminação a pasto. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 4, p. 737-745, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000400021>

RABASSA, V. R. M. *et al.* Anestro pós-parto em bovinos: Mecanismos fisiológicos e alternativas hormonais visando reduzir este período - uma revisão. **Revista da FZVA**, v. 14, n. 1, p. 139-161, 2007.

RICHARDSON, E. C.; HERD, R. M. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 2. Synthesis of results following divergent selection. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 44, n. 5, p. 431-440, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1071/EA02221>

RICHARDSON, E. C. *et al.* Body composition and implications for heat production of Angus steer progeny of parents selected for and against residual feed intake. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 41, n. 7, p. 1065-1072, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1071/EA00095>

ROLFE, K. M. *et al.* Genetic and phenotypic parameter estimates for feed intake and other traits in growing beef cattle, and opportunities for selection. **Journal of animal science**, v. 89, n. 11, p. 3452-3459, 2011. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2011-3961>

ROSA, A. N. *et al.* Melhoramento genético aplicado em gado de corte: Programa Geneplus-Embrapa. **Embrapa Gado de Corte-Livro científico (ALICE)**, 2013.

SAINZ, R. D.; HASTING. E Simulation of the development of adipose tissue in beef cattle. **Modelling nutrient utilization in farm animals**, v. 1, p. 175-182, 2000.

SAKAMOTO, L. S. **Predição de rendimento de cortes cárneos e teor de gordura a partir de medidas de carcaça obtidas por ultrassonografia**. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Zootecnia. APTA/SAA. Nova Odessa - SP, 2012.

SANTANA JÚNIOR, M. L., *et al.* Phenotypic plasticity of composite beef cattle performance using reaction norms model with unknown covariate. **Embrapa Pecuária Sul-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2013.

SANTANA, M. H. A. *et al.* 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, p. 80-85, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.06.002>

SANTOS, R. **Os cruzamentos na pecuária tropical**. Editora Agropecuária Tropical, 1999.

SILVA, M. R. *et al.* Importância da deposição de gordura em bovinos de corte e sua mensuração através da técnica de ultrassonografia. **PUBVET**, v. 5, p. Art. 1093-1099, 2011.

SIMIELLI FILHO, E. A. *et al.* Ranking of Nelore animals in cattle championships: genetic parameters and correlations with production traits. **Genetics and Molecular Research**, v. 13, n. 3, p. 5722-5731, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.4238/2014.July.25.28>

SMITH, G. C. *et al.* Relationship of USDA marbling groups to palatability of cooked beef. **Journal of Food Quality**, v. 7, n. 4, p. 289-308, 1985. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.1985.tb01061.x>

SUGUISAWA, L. *et al.* Ultra-sonografia para predição da composição da carcaça de bovinos jovens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 1, p. 177-185, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000100023>

TERRELL, R. N. *et al.* Broiling, sex and interrelationships with carcass and growth characteristics and their effect on the neutral and phospholipid fatty acids of the bovine longissimus dorsi. **Journal of Food Science**, v. 33, n. 6, p. 562-565, 1968. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1968.tb09074.x>

TORAL, F. L. B. *et al.* Genetic parameters and response to selection for post-weaning weight gain, visual scores and carcass traits in Hereford and Hereford X Nelore cattle. **Livestock Science**, v.137, n.1-3, p.231-237, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.11.013>

TORRES-VÁZQUEZ, J. A.; VAN DER WERF, J. H. J.; CLARK, S. A. Genetic and phenotypic associations of feed efficiency with growth and carcass traits in Australian Angus cattle. **Journal of animal science**, v. 96, n. 11, p. 4521-4531, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1093/jas/sky325>

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE- USDA. **Livestock and poultry: World markets and trade**, 2020. Disponível em:

https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf . Acesso em: 5. Dez.2020

VENKATA REDDY, B. *et al.* Beef quality traits of heifer in comparison with steer, bull and cow at various feeding environments. **Animal Science Journal**, v. 86, n. 1, p. 1-16, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/asj.12266>

VISSCHER, P. M. *et al.* Genome-wide association studies of quantitative traits with related individuals: little (power) lost but much to be gained. **European Journal of Human Genetics**, v. 16, n. 3, p. 387-390, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1038/sj.ejhg.5201990>

WARRISS, P. D. **Meat science: An introductory text**. CAB-International. 2000. DOI: <https://doi.org/10.1079/9780851994246.0000>

YOKOO, M. J. I. *et al.* Estimativas de parâmetros genéticos para altura do posterior, peso e circunferência escrotal em bovinos da raça Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 6, p. 1761-1768, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000800008>

YOKOO, M. J. I. *et al.* Correlações genéticas entre escores visuais e características de carcaça medidas por ultrassom em bovinos de corte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 2, p. 197-202, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000200012>

YOKOO, M.J.; LOBO, R.B.; ARAUJO, F.R.C. *et al.* Genetic associations between carcass traits measured by real-time ultrasound and scrotal circumference and growth traits in Nelore cattle. **Journal of Animal Science**, v.88, p.52-58, 2010. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1028>

CAPÍTULO 2 – CORRELAÇÃO GENÉTICA ENTRE EFICIÊNCIA ALIMENTAR E CARACTERÍSTICAS DE CARÇAÇA EM BOVINOS DE CORTE

CORRELAÇÃO GENÉTICA ENTRE EFICIÊNCIA ALIMENTAR E CARACTERÍSTICAS DE CARÇAÇA EM BOVINOS DE CORTE

GENETIC CORRELATION BETWEEN FEED EFFICIENCY AND CARCASS TRAITS IN BEEF CATTLE

Resumo: Objetivou-se estimar as correlações genéticas entre consumo alimentar residual (CAR) e as características de carcaça de bovinos da raça Nelore. Foram consideradas as informações de 7.808 animais Nelore, avaliados em 142 testes de eficiência alimentar realizadas no período de 2011 a 2020, em 15 fazendas participantes do programa Nelore Brasil da Associação Nacional de Criadores e Pesquisadores (ANCP). Foram avaliadas as características de consumo alimentar residual (CAR), ingestão de matéria seca (IMS), área de olho de lombo (AOL), acabamento de carcaça (ACAB) e marmoreio (MAR) para uma população de machos e fêmeas Nelore e outra população apenas de fêmeas Nelore. As estimativas dos componentes de variâncias e covariâncias, bem como, das herdabilidades e correlações genéticas foram obtidas por meio de análises bicaracterísticas sob modelo animal, considerando a metodologia da Máxima Verossimilhança Restrita Livre de Derivada. Verificou-se que as estimativas de herdabilidade foram moderadas para as características de CAR (0,22) e IMS (0,29), o que comprova a existência de variabilidade genética na população Nelore avaliada. Observou-se que as estimativas de correlação genética foram de baixa magnitude, com valores próximos a zero, para todas as características, exceto entre CAR e AOL (-0,11). De modo geral, esses resultados inferem que a seleção para CAR e IMS não acarreta prejuízos genéticos para as características de carcaça em bovinos da raça Nelore. No entanto, ao avaliar as associações genéticas do CAR e IMS com as características de carcaça, considerando a população de fêmeas, houve um aumento na estimativa de correlação genética com CAR e IMS, apesar de ainda ser uma associação genética favorável de baixa magnitude (-0,30). Também houve um aumento na associação genética da AOL com o CAR (-0,21), o que indica haver alguma resposta favorável da seleção de animais mais eficientes com a melhoria do rendimento de carcaça. No entanto, deve-se enfatizar, que tais mudanças são pouco expressivas. Conclui-se, assim, que a seleção direta para o consumo alimentar residual e a ingestão de matéria seca não influenciará na deposição de gordura subcutânea, intramuscular e no rendimento de carcaça de bovinos da raça Nelore. No entanto, a seleção para o consumo alimentar residual poderá gerar alguma resposta favorável na deposição de gordura intramuscular e no rendimento de carcaça em fêmeas Nelore.

Palavras-Chave: Bovinos de corte. Qualidade de carcaça. Rentabilidade.

Abstract: The aim was to estimate the genetic correlations between residual feed intake (RFI) and the carcass traits of Nellore cattle. Data were analyzed from 7,808 males and females Nellore, which participated of 142 feed efficiency tests carried out in the period from 2011 to 2020, in 15 farms participating in the program Nellore Brazil of the National Association of Breeders and Researchers (NABR). The traits of residual feed intake (RFI), dry matter intake (DMI), rib eye area (REA), carcass finish (CF) and marbling (MAR) were evaluated. Feed efficiency data and carcass traits of Nellore females were also analyzed. The estimated components of variances and covariance, as well as, of heritability and genetic correlations were obtained through bivariate analyses under an animal model, considering the methodology of Maximum Derivative Free Restricted Likelihood. It was checked that the heritability characteristics were moderate for the characteristics of RFI (0.22) and DMI (0.29), which proves the existence of genetic variability in the evaluated Nellore population. It was observed that as a genetic correlation was of low magnitude, with values close to zero, for all traits, except between RFI and REA (-0.11). In general, these results infer that the selection for RFI and DMI does not cause genetic damage to the carcass traits in Nellore cattle. However, when evaluating the genetic associations of RFI and DMI with carcass traits, considering the population of females, there was an increase in the estimate of genetic correlation with RFI and DMI, although it is still a favorable genetic association of low magnitude (- 0.30). There was also an increase in the genetic association of REA with the RFI (-0.21), which indicates that there are some favorable responses from the selection of more efficient animals with the improvement of the carcass yield, however, it must be emphasized, that such changes are not very significant. It can be concluded that the direct selection for residual feed intake (RFI) and dry matter intake (DMI) will not influence the deposition of subcutaneous fat (CF), marbling (MAR), and rib eye area (REA) of Nellore cattle. However, the selection for the RFI may generate some favorable response in the deposition of intramuscular fat (MAR) and in rib eye area (REA) of Nellore females.

KeyWords: Beef cattle. Carcass quality. Profitability

Introdução

A alimentação destaca-se como a principal variável econômica dentro de um sistema produtivo de bovinos de corte, apresentando custos operacionais em torno de 70% e 90% (LOPES et al., 2011). Assim, para reduzir os custos de produção, é fundamental selecionar animais que sejam mais eficientes no aproveitamento do alimento ingerido (LIMA; PEREIRA; RIBEIRO, 2016).

A eficiência alimentar é a capacidade de um animal ingerir menos alimento do que o esperado sem comprometer o desempenho produtivo (GOMES et al., 2012). Nesse contexto, algumas características têm sido utilizadas como indicadoras de eficiência alimentar, como a conversão alimentar (CA), a eficiência alimentar bruta (EA) e o ganho em peso residual (GPR), entretanto, o consumo alimentar residual (CAR) é a característica mais utilizada em programas de melhoramento genético (PMG) de bovinos de corte, para fins de predição de valores genéticos dos animais.

O CAR mensura a diferença da ingestão de matéria seca observada (IMS_{obs}) com a ingestão de matéria seca esperada (IMS_{esp}) de cada animal avaliado, sendo que os mais eficientes são aqueles que ingerem menos alimento do que o esperado (GOMES et al., 2012).

De acordo com os estudos já realizados, as estimativas de herdabilidade para o CAR são de moderadas a altas (ARTHUR e HERD, 2008; CASTILHOS et al., 2011; SANTANA et al., 2014; MORAES et al., 2019) indicando rápida resposta à seleção direta. No entanto, são poucos estudos que retratam a associação genética das características relacionadas à eficiência alimentar com as de carcaça, principalmente, em bovinos da raça Nelore (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2013; SANTANA et al., 2014; CEACERO et al., 2016; MORAES et al., 2019), que representam o maior número de animais criados no Brasil.

É importante ressaltar que as associações genéticas entre eficiência alimentar e as características produtivas, de interesse econômico, devem ser estimadas para gerar informações necessárias na constituição dos índices de seleção. Em caso de antagonismo genético da eficiência alimentar com as características de carcaça (rendimento e acabamento de carcaça) poderá ocorrer uma redução dos benefícios econômicos alcançados com a seleção direta para o CAR, visto que a qualidade da carcaça bovina é determinante na valorização comercial dos animais destinados ao abate (MISSIO et al., 2010).

Dessa forma, é fundamental conhecer as estimativas desses parâmetros genéticos a fim de definir a melhor estratégia genética com o intuito de atingir os objetivos econômicos esperados. Portanto, esse estudo objetivou estimar as correlações genéticas entre consumo

alimentar residual e ingestão de matéria seca e as características de carcaça em uma população de bovinos da raça Nelore e outra população contendo apenas fêmeas Nelore.

Material e métodos

Foram utilizadas as informações de 7.808 bovinos da raça Nelore, puros de origem (PO), avaliados em 142 provas ou testes de eficiência alimentar, realizadas no período de 2011 a 2020, em 15 fazendas participantes do programa Nelore Brasil da Associação Nacional de Criadores e Pesquisadores (ANCP). Foram consideradas as características de consumo alimentar residual (CAR, kg de MS/dia), ingestão de matéria seca (IMS, kg de MS/dia), área de olho de lombo (AOL, cm²), acabamento de carcaça (ACAB, mm) e marmoreio (MAR, %). Deve-se enfatizar que todas as informações de carcaça utilizadas nesse estudo também foram coletadas durante as provas de eficiência alimentar.

Todos os dados das provas foram coletados seguindo os critérios do manual de diretrizes para execução de testes de eficiência alimentar (MENDES et al., 2020). Os animais em avaliação compunham um grupo de animais contemporâneos (GC), ou seja, eram da mesma raça, mesma estação de nascimento (intervalo máximo de idade de 90 dias), mesmo sexo e condições prévias de alimentação e lote de manejo. 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.

A característica IMS foi calculada como a média de todas as informações de ingestão de matéria seca obtidas diariamente, para cada animal, por meio do uso de cochos eletrônicos.

Já a característica CAR foi mensurada utilizando a equação descrita por Gomes et al. (2012):

$$CAR = IMS_{obs} - IMS_{esp}$$

em que IMS_{obs} representa a média da ingestão de matéria seca observada e IMS_{esp} é a ingestão de matéria seca esperada.

De acordo com Koch et al. (1963), a IMS_{esp} é obtida por meio da fórmula a seguir:

$$IMS_{esp} = \beta_0 + (\beta_1 \times GMD) + (\beta_2 \times PVMM)$$

em que as informações de ingestão de matéria seca observada (IMS_{obs}), ganho em peso médio diário (GMD) e peso vivo médio metabólico (PVMM), de todos os animais em teste, são utilizados para predição dos coeficientes (β) da equação de regressão linear múltipla.

O ganho em peso médio diário (GMD) foi estimado pela equação de regressão linear:

$$y_i = \alpha + \beta * \text{DET}_i + \varepsilon_i,$$

em que, y_i é o peso do animal na i ésima observação; α é o intercepto; β é o coeficiente de regressão linear e representa o GMD; DET_i é o dia em teste na i ésima observação, e ε_i é o erro aleatório associado a cada observação. O peso vivo médio metabólico (PVMM) foi calculado como:

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

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

Para a mensuração das características de carcaça foram coletadas imagens de ultrassonografia por meio de um aparelho ALOKA 500 v, com sonda linear de 17,2 cm, de 3,5 MHz e um acoplador acústico em conjunto com um sistema de captura de imagens (Blackbox, Bionitrics, Inc., Ames, IA, EUA).

A área de olho de lombo (AOL) foi mensurada como a área de secção transversal do músculo *Longissimus dorsi* entre a 12^a e 13^a costelas. Já a espessura de gordura subcutânea (EG) e o marmoreio (MAR) foram medidas no músculo *Longissimus dorsi*, entre a 12^a e 13^a costela. A espessura de gordura subcutânea na garupa (EGP8) foi medida entre os ossos ílio e o ísquio, na intersecção dos músculos *Gluteus medius* e *Biceps femoris*. Essas imagens foram coletadas e interpretadas pelo laboratório responsável pela garantia da qualidade dos dados. A característica de acabamento de carcaça (ACAB) foi calculada como o somatório dos ponderadores em 0,35 para EG e 0,65 para EGP8.

Para a estruturação dos arquivos de dados utilizou-se o programa Statistical Analysis System (SAS, 2004). Para a verificação dos efeitos de ambiente que influenciam as características estudadas, considerou-se os procedimentos GLM e REG do software SAS (SAS, 2004). A análise descritiva das características estudadas na população de bovinos Nelore é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Análise descritiva das características de acabamento de carcaça (ACAB), área de olho de lombo (AOL), marmoreio (MAR), ingestão de matéria seca (IMS) e o consumo alimentar residual (CAR) dos bovinos da raça Nelore.

Variável	N	Média	DP	CV (%)	Mínimo	Máximo
ACAB (mm)	5.041	6,26	2,97	47,44	1,00	23,45
AOL (cm)	5.158	68,21	10,79	15,82	37,18	122,34
MAR (%)	3.857	2,62	1,02	38,99	1,00	7,73
IMS (kg de MS/dia)	7.808	8,45	1,98	23,51	3,32	18,75
CAR (kg de MS/dia)	7.808	0,00	0,72	NA	-4,93	4,69

DP: Desvio Padrão; CV: Coeficiente de Variação; NA: não avaliado.

Com o intuito de verificar a associação entre a eficiência alimentar e as características de carcaça em uma população somente de fêmeas da raça Nelore, também se utilizou o seguinte conjunto de dados, descritos na Tabela 2. Deve-se ressaltar que a população de fêmeas Nelore estudadas foi proveniente de rebanhos que priorizam a seleção para precocidade sexual, obtendo expressivos progressos genéticos ao longo das gerações.

Tabela 2. Análise descritiva das características de acabamento de carcaça (ACAB), área de olho de lombo (AOL), marmoreio (MAR), ingestão de matéria seca (IMS) e o consumo alimentar residual (CAR) de fêmeas Nelore.

Variável	N	Média	DP	CV (%)	Mínimo	Máximo
ACAB (mm)	1.841	8,39	3,68	43,86	1,00	23,45
AOL (cm)	1.830	66,91	10,54	15,76	37,18	103,35
MAR (%)	1.485	3,02	1,17	38,88	1,00	7,73
IMS (kg de MS/dia)	2.261	7,95	1,58	19,95	3,44	12,88
CAR (kg de MS/dia)	2.261	0,000	0,76	NA	-3,78	2,68

DP: Desvio Padrão; CV: Coeficiente de Variação; NA: não avaliado.

Os animais com fenótipos são progênies de 397 touros e 4307 matrizes. Para todas as análises foi utilizado um arquivo de genealogia contendo 30.918 animais da raça Nelore. A matriz de parentesco inclui todos os animais aparentados até a geração de animais fundadores.

As estimativas dos componentes de variâncias e covariâncias, bem como, das herdabilidades e correlações genéticas foram obtidas por meio de análises bicaracterísticas sob modelo animal, considerando a metodologia da Máxima Verossimilhança Restrita Livre de Derivada, por meio do aplicativo *Multiple Traits Derivate Free Restrict Maximum*

Likelihood (MTDFREML) desenvolvido por Boldman et al. (1995). O modelo completo pode ser representado em notação matricial como:

$$Y = X\beta + Za + e$$

em que Y é o vetor das observações (características avaliadas), β é o vetor dos efeitos fixos (efeitos ambientais), a é o vetor dos efeitos aleatórios (valores genéticos obtidos para cada animal), e o vetor de efeitos aleatórios residuais, X e Z são as matrizes de incidência que relacionam as observações aos efeitos fixos e ao efeito aleatório genético aditivo direto, respectivamente. O arquivo de genealogia incluiu 30.918 animais da raça Nelore.

Para as características de CAR e IMS considerou-se como efeitos fixos o grupo de animais contemporâneos (GC), a classe de idade da vaca o parto (CIVP) e a idade do animal como covariável de efeito linear. Para a característica ACAB, os efeitos fixos foram os mesmos de IMS e AOL, porém, sem a inclusão da CIVP. Para a AOL e MAR considerou-se o GC e a idade do animal como covariável de efeito linear e quadrático.

A classe de idade da vaca ao parto (CIVP) foi constituída atendendo os seguintes critérios: idade da vaca ao parto até 27 meses (classe 1); de 28 a 47 meses (classe 2); de 48 a 72 meses (classe 3); de 72 a 120 meses (classe 4); acima de 120 meses (classe 5).

Resultados

Verificou-se que as estimativas de herdabilidade foram moderadas para as características de CAR e IMS (Tabela 3), o que comprova a existência de variabilidade genética na população Nelore avaliada. A estimativa de herdabilidade obtida para CAR foi de 0,22, enquanto que para IMS foi de 0,29. Esses resultados também inferem que essas características podem ser utilizadas como critérios de seleção em virtude de obterem rápida resposta.

Tabela 3. Estimativas de variância genética aditiva (α_a^2), variância residual (α_r^2), variância fenotípica (α_p^2) e herdabilidade (h^2) das características de acabamento de carcaça (ACAB), área de olho de lombo (AOL), marmoreio (MAR), ingestão de matéria seca (IMS) e consumo alimentar residual (CAR) de bovinos da raça Nelore.

Característica	α_a^2	α_r^2	α_p^2	h^2
ACAB	0,70	2,50	3,20	0,22
AOL	11,45	36,62	48,07	0,24
MAR	0,17	0,35	0,52	0,33
IMS	0,27	0,66	0,94	0,29
CAR	0,12	0,42	0,54	0,22

Verificou-se também (Tabela 3) que a herdabilidade estimada para a IMS (0,29) foi superior à obtida para o CAR (0,22), evidenciando ganhos genéticos mais expressivos mediante a seleção da IMS em relação ao CAR. Essa estimativa superior para a IMS era esperada, em virtude do cálculo do CAR ser ajustado para o PVMM e o GMD do animal e em comparação ao lote dos animais avaliados. Assim, o CAR é uma característica composta que poderá levar a redução da estimativa de herdabilidade enquanto que a IMS é uma medida mensurada diretamente no animal, sem ajustes com outras variáveis. Nesse contexto, pode-se sugerir a inclusão da IMS na composição de índices de seleção, buscando animais com alto desempenho e de baixa ingestão de matéria seca, caracterizados como mais eficientes. No entanto, para utilizar IMS como critério de eficiência alimentar, é necessário que esse rebanho tenha um excelente controle das características de desempenho, para que não ocorra seleção antagônica entre animais mais eficientes e menor ganho de peso, uma vez que a IMS possui alta correlação genética com ganho de peso diário (SANTANA et al., 2014)

Em relação às estimativas de herdabilidade para as características de carcaça (Tabela 3), observaram-se valores moderados (ACAB e AOL) e de alta magnitude (MAR). Esses resultados evidenciam a obtenção de ganhos genéticos para tais características quando utilizadas como critérios de seleção.

As estimativas dos componentes de variância e herdabilidade para eficiência alimentar e características de carcaça obtidas em uma população de fêmeas da raça Nelore são apresentadas na Tabela 4. Observou-se que os valores obtidos nesta população, em relação às características de IMS e CAR, foram de 0,30 e 0,22, respectivamente. Entretanto, em relação às características de carcaça, observaram-se estimativas de herdabilidade para MAR (0,49) e ACAB (0,26), ambas relacionadas com a deposição de gordura na carcaça. Sabe-se que o

ACAB também tem relação com a precocidade sexual, sendo que, animais com maior deposição de gordura podem ser mais precoces sexualmente e apresentar menor peso à maturidade (LAWRENCE et al. 2013).

Tabela 4. Estimativas de variância genética aditiva (α_a^2), variância residual (α_r^2), variância fenotípica (α_p^2) e herdabilidade (h^2) das características de acabamento de carcaça (ACAB), área de olho de lombo (AOL), marmoreio (MAR), ingestão de matéria seca (IMS) e consumo alimentar residual (CAR) de fêmeas da raça Nelore.

Característica	α_a^2	α_r^2	α_p^2	h^2
ACAB	1,67	4,66	6,33	0,26
AOL	9,48	33,71	43,19	0,22
MAR	0,36	0,37	0,73	0,49
IMS	0,29	0,66	0,95	0,30
CAR	0,14	0,47	0,61	0,22

Os coeficientes de correlação genética entre as características relacionadas à eficiência alimentar (CAR e IMS) com as características de carcaça (ACAB, AOL e MAR) são apresentados na Tabela 5. Verificou-se que as estimativas foram de baixa magnitude, com valores próximos a zero, para todas as características, exceto entre CAR e AOL. De modo geral, esses resultados inferem que a seleção para CAR e IMS não acarreta prejuízos genéticos para as características de carcaça em bovinos da raça Nelore.

Tabela 5. Estimativas de correlações genéticas de acabamento de carcaça (ACAB), área de olho de lombo (AOL) e marmoreio (MAR) com o consumo alimentar residual (CAR) e a ingestão de matéria seca (IMS) de bovinos da raça Nelore.

Característica	CAR	IMS
ACAB	0,05	0,06
AOL	-0,11	0,05
MAR	-0,07	-0,07

Em relação à associação genética do CAR com a AOL, observou-se uma correlação genética negativa de -0,11 (Tabela 5). Entretanto, apesar de ser uma associação genética favorável de baixa magnitude, apenas 1,21% dos genes de efeito aditivo que afetam o CAR têm influência na característica AOL. Assim, pode-se inferir que a seleção de animais mais

eficientes (CAR negativo) acarreta alguma melhoria no rendimento de carcaça dos animais, porém, pouco expressiva.

Como observado na Tabela 5, praticamente não há associação genética do CAR e a IMS com o ACAB. Os valores estimados indicam que apenas 0,25% e 0,36% dos genes de efeito aditivo influenciam o CAR e a IMS, respectivamente, afetando, também, a característica de ACAB. Esse resultado evidencia que não há antagonismo genético entre essas características, dessa forma, pode-se inferir que a seleção de animais mais eficientes não acarreta em redução da deposição de gordura na carcaça de bovinos da raça Nelore.

Em relação ao marmoreio (MAR), observou-se uma estimativa de correlação genética negativa (-0,07), em que 0,49% dos genes de efeito aditivo que interferem nas características CAR e IMS também exercem influência no MAR. Assim, apesar de ser uma correlação favorável (negativa), a seleção de animais eficientes não provoca mudanças expressivas no marmoreio de bovinos da raça Nelore.

As associações genéticas do CAR e IMS com as características de carcaça (ACAB, AOL e MAR), considerando a população de fêmeas Nelore, são apresentadas na Tabela 6. Para a característica ACAB, a estimativa de correlação genética com CAR e IMS foi de baixa magnitude, 0,03 e 0,02, respectivamente. Deste modo, a seleção de animais mais eficientes não provoca alterações na deposição de gordura na carcaça, já que, para o acabamento de carcaça (ACAB), confirmou-se que, praticamente, não há associação genética entre tais características. Em relação à característica marmoreio (MAR), a estimativa de correlação genética com CAR e IMS é de -0,30, uma associação genética favorável de baixa magnitude. Assim, a seleção de animais mais eficientes (CAR negativo e baixo IMS) pode acarretar algum aumento no marmoreio de carcaça de fêmeas.

Tabela 6. Estimativas de correlações genéticas de acabamento de carcaça (ACAB), área de olho de lombo (AOL) e marmoreio (MAR) com o consumo alimentar residual (CAR) e a ingestão de matéria seca (IMS) de fêmeas da raça Nelore.

Característica	CAR	IMS
ACAB	0,03	0,02
AOL	-0,21	0,05
MAR	-0,30	-0,30

Na população de fêmeas (Tabela 6), a associação genética da AOL com o CAR (-0,21), baixa magnitude, o que indica haver alguma resposta favorável da seleção de animais mais

eficientes com a melhoria do rendimento de carcaça, no entanto, deve-se enfatizar, que tais mudanças são pouco expressivas.

Discussão

A estimativa de herdabilidade moderada obtida nesse estudo para o CAR corrobora com a encontrada por Ceacero et al., (2016), considerando informações de bovinos da raça Nelore. Entretanto, em outros experimentos com bovinos da mesma raça, obteve-se estimativas de herdabilidade de alta magnitude, variando de 0,30 a 0,37 (SANTANA et al., 2014; GRION et al., 2014; GRIGOLETTO et al., 2016 e MORAES et al., 2019). Essas divergências de herdabilidade podem ser atribuídas à tendência de as estimativas de herdabilidade, provenientes de amostras menores ou com estrutura de família fraca (com erro- padrão maior), apresentarem valores mais altos aos das estimativas de herdabilidade de amostras maiores (DEL CLARO et al., 2012). Além disso, para Moraes et al. (2019), as estimativas de herdabilidade foram estimadas em análises unicaracterísticas, resultando em maiores valores que as estimadas em análises multicaracterísticas. Segundo Crews et al. (2010), essas diferenças podem ocorrer em razão do maior número de informações nas análises multicaracterísticas, pois as covariâncias entre as características são levadas em consideração, proporcionando estimativas mais acuradas. Assim, de modo geral, pode-se inferir que essa característica (CAR) deve ser incluída nos programas de melhoramento genético (PMG) com o intuito de reduzir os custos de produção dos rebanhos de corte.

Em relação às estimativas de herdabilidade para ACAB, observou-se valores moderados (0,22 e 0,26) para população Nelore (Tabela 3) e população de fêmeas Nelore (Tabela 4), respectivamente, corroborando as estimativas de herdabilidade obtidas em estudos com animais Nelore (TORAL et al., 2011; FARIA et al., 2015). No entanto, essas estimativas de herdabilidade, obtidas neste estudo, foram menores que a estimada por Moraes et al. (2019), que relataram estimativa de herdabilidade para ACAB de 0,32, ao analisarem dados de machos Nelore, sugerindo que a maior estimativa obtida, pode ser em virtude da seleção deste rebanho para características de carcaça, apresentando maior variância genética aditiva para deposição de gordura na carcaça.

Observaram-se valores moderadas para as estimativas de herdabilidade para característica AOL da população Nelore (Tabela 3) e da população de fêmeas Nelore (Tabela 4) com valores de 0,24 e 0,22, respectivamente. Essas estimativas foram similares às reportadas por Toral et al. (2011) e Faria et al. (2015). A estimativa de herdabilidade para AOL, relatada

por Santana et al. (2014), foi de 0,35, alta magnitude, provavelmente pelo pequeno número de registro e pela estrutura de dados deste estudo. Moraes et al. (2019) estimaram herdabilidade de 0,46 para esta característica, resultante da seleção do rebanho para as características de carcaça.

A estimativa de herdabilidade do MAR na população Nelore (Tabela 3) foi de 0,33 e na população de fêmeas Nelore (Tabela 4) de 0,49, apresentando estimativas de alta magnitude. Essa maior estimativa de herdabilidade (Tabela 4) obtida na população de fêmeas para MAR pode ser explicada pela composição de ácidos graxos em fêmeas utilizados na formação da gordura subcutânea e do marmoreio, relatados nos estudos de Terrel et al., (1968) e Zembayashi et al., (1995), nos quais as fêmeas apresentaram maior composição desses ácidos graxos em relação aos machos. As estimativas de herdabilidade de média a alta magnitude relatadas para MAR é reafirmada pelos trabalhos encontrados na literatura para bovinos Nelore (0,47) e Angus (0,37 (MORAES et al., 2019 e MAO et al., 2013)). Sendo assim, esses resultados evidenciam a obtenção de ganhos genéticos para tais características, quando utilizadas como critérios de seleção, inferindo-se, portanto, que a genética aditiva é responsável por uma boa parte da variação total da característica, também passível de seleção, considerando-se sua variabilidade.

Em geral, os resultados encontrados nesse estudo em relação às estimativas de correlação genética para CAR e ACAB de baixa magnitude, obtidas na população Nelore (Tabela 5) e população de fêmeas Nelore (Tabela 6), corroboram os estudos de Mao et al. (2013), que obtiveram uma estimativa de correlação genética de 0,02 considerando dados de novilhos Angus. Essa estimativa encontrada pelos autores evidenciou que não há associação genética entre CAR e ACAB nessa raça. Nos estudos de Fitzmons, Kenny e Mcgee (2014) com bovinos da raça Simental, os autores também não encontraram associação genética do CAR com o ACAB ($r = 0,00$), corroborando os estudos de Bouquet et al. (2010), em bovinos Blonde d'Aquitaine ($r = 0,00$) e Limousin ($r = 0,07$). Da mesma forma, Gomes et al. (2012) não observaram associação genética de CAR com a deposição de gordura na carcaça em bovinos Nelore. Em estudo realizado em rebanho Nelore seleção, Moraes et al. (2019) verificaram uma correlação genética favorável e de baixa magnitude ($-0,11$) entre CAR e ACAB.

Alguns resultados antagônicos aos encontrados nesse estudo foram observados na literatura. No estudo realizado por Ceacero et al. (2016) em um rebanho Nelore, considerou-se 955 informações de CAR, 2.285 informações de espessura de gordura subcutânea (EG) e 1.817 de espessura subcutânea na garupa (EGP8). Na população avaliada, de um único rebanho, as estimativas de correlação genética foram de 0,37 e 0,30 para o CAR, com EG e EGP8, respectivamente. Os autores concluíram que há antagonismo genético de média magnitude

entre CAR e a deposição de gordura na carcaça. No entanto, ao considerar as informações de CAR ajustado para deposição de gordura, os coeficientes de correlação genética mantiveram-se, praticamente, na mesma magnitude, o que não era esperado, o que pode ser explicado em virtude de um perfil genético do rebanho estudado.

No mesmo sentido, Lancaster et al. (2009) encontraram moderada correlação genética (0,36) entre o CAR e a espessura de gordura de bovinos da raça Brangus. Mao et al. (2013) constataram que a correlação genética entre CAR e o grau de gordura da carcaça foi positiva (0,42) em novilhos Charolês. Ainda nesse sentido, Crowley et al. (2011) encontraram associação positiva entre CAR e deposição de gordura (0,33).

No entanto, essas estimativas discrepantes entre CAR e ACAB podem ser explicadas pelas diferenças genéticas existentes entre as raças de bovinos de corte para o acabamento de carcaça. Kelly et al. (2011) relataram que a variação na deposição de gordura na carcaça em diferentes raças e as diferenças no local, para mensuração via ultrassom, podem interferir nas estimativas das correlações genéticas com as características de eficiência alimentar.

Conforme apresentado nas Tabelas 5 e 6, as estimativas de correlação genética entre IMS e ACAB foram de baixa magnitude nesse estudo. Sendo assim, praticamente não há genes em pleiotropia com IMS e ACAB. Alguns resultados contrários foram relatados por Mao et al. (2013), que encontraram a estimativa de correlação genética de 0,36 para a deposição de gordura com a IMS, em Angus, e de 0,44, em Charolês, corroborando os estudos de Nkrumah et al. (2007), que estimaram correlação de 0,49 com a deposição de gordura na carcaça de taurinos. Ceacero et al. (2016), em estudo com um rebanho Nelore, relataram correlação de IMS com espessura de gordura subcutânea (EG) e espessura de gordura na garupa (EGP8) de 0,29 e 0,39, respectivamente.

De acordo com Albertini (2015), a quantidade de energia presente em um grama de gordura é 1,7 vezes maior que a quantidade de energia em um grama de proteína, de forma que mais energia é necessária para o acréscimo da gordura.

Em relação à associação genética de CAR e AOL, observada (-0,11) na população Nelore (Tabela 5), resultados semelhantes também foram encontrados na literatura. Lancaster et al. (2009) estimaram correlação genética próxima de zero (-0,04), para bovinos da raça Nelore, e Ceacero et al. (2016) verificaram que não há associação genética ($r = 0,00$) do CAR com AOL, também em bovinos Nelore. Cruz et al. (2010) não verificaram associação genética entre CAR e AOL em novilhos mestiços Angus-Hereford.

Já as estimativas de correlações genéticas entre CAR e AOL, estimadas nesse estudo (-0,21), em uma população de fêmeas Nelore (Tabela 6), o valor foi o mesmo encontrado por

Crowley et al. (2011), em taurinos, e semelhante (-0,30) ao estudo de Berry e Crowley et al. (2013), em uma meta-análise com bovinos de corte. Esses resultados são desejáveis à seleção, pois, alguns genes que influenciam na melhoria da eficiência alimentar (CAR negativo), também levam ao aumento da área do músculo (AOL) indicador de rendimento de carcaça. Em contraste com estes estudos, Mao et al. (2013) encontraram correlação positiva (0,19) em Charolês e (0,09) em Angus. Estudos sugerem que os processos biológicos dentro do tecido muscular, como proteínas de renovação e metabolismo do tecido podem ter papéis fundamentais na maior eficiência alimentar (HERD e ARTHUR, 2009).

Na avaliação da associação genética entre IMS e AOL (Tabela 5 e 6), alguns resultados foram diferentes aos obtidos nesse estudo. Mao et al. (2013) estimaram os valores de 0,16 em Charolês e 0,36 em Angus, Nkrumah et al. (2007) encontraram valores de 0,21 e Ceacero et al. (2016) estimaram 0,40.

A associação genética entre o CAR e MAR, obtidas na população Nelore (Tabela 5), de baixa magnitude (-0,07), é reafirmada nos trabalhos de Mao et al. (2013), que estimaram uma correlação genética de baixa magnitude entre CAR e MAR para animais Angus 0,18 e 0,14 para animais Charolês. Moraes et al. (2019) encontraram associações genéticas entre CAR e MAR de baixa magnitude (0,10) para bovinos Nelore. Sugerindo que os genes que têm influência em animais mais eficientes, não possuem relação com genes para deposição de gordura intramuscular. No entanto, Nkrumah et al. (2007) estimaram correlações genéticas entre eficiência alimentar e características de carcaça de animais cruzados de Angus e Charolês de média magnitude 0,32, assim como Torres-Vázquez et al. (2018) que avaliaram animais Angus na Austrália, no período de 2013 a 2017 e estimaram uma correlação genética de 0,31, inferindo que a seleção de animais mais eficientes pode influenciar na menor deposição de marmoreio, apesar de pouco expressiva.

A estimativa de correlação genética encontrada nesse estudo para a população de fêmeas Nelore (Tabela 6) foi favorável de média magnitude (-0,30) entre CAR e MAR, apontando que a seleção de animais mais eficientes pode influenciar uma maior deposição de gordura intramuscular. É importante ressaltar que, nesse estudo, as diferenças encontradas nas estimativas de correlações genéticas de CAR e MAR entre bovinos da raça Nelore (Tabela 5) e na população somente de fêmeas Nelore (Tabela 6), podem ser explicadas pelas diferenças na composição de carcaça, visto que machos geralmente produzem carcaças mais pesadas e magras, em relação às novilhas, que possuem menor quantidade de músculo e maior deposição de gordura (NOGALSKI et al., 2018). Irshad et al. (2013) apontaram que os estrogênios,

produzidos pelos ovários, geralmente têm pouco ou nenhum efeito sobre síntese de proteína do músculo esquelético, mas são eficazes na promoção de deposição de gordura corporal.

Conclusão

A seleção direta para o consumo alimentar residual e a ingestão de matéria seca não influenciará na deposição de gordura subcutânea, intramuscular, ou no rendimento de carcaça de bovinos da raça Nelore. No entanto, a seleção para o consumo alimentar residual poderá gerar alguma resposta favorável na deposição de gordura intramuscular e no rendimento de carcaça, na população de fêmeas Nelore. Não há antagonismo genético entre as características de eficiência alimentar e as características de carcaça. Assim, a seleção de animais mais eficientes irá proporcionar uma maior rentabilidade ao produtor em virtude da redução dos custos com a alimentação, sem acarretar em prejuízos genéticos para as características de carcaça.

Agradecimentos

Aos criadores e à ANCP pela cessão dos dados. FAPEMIG pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

- ALBERTINI, T. Z.; de MEDEIROS, S. R.; GOMES, R. D. C. FELTRIN, G. Exigências nutricionais, ingestão e crescimento de bovinos de corte. **Embrapa Gado de Corte-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2015.
- ARTHUR, P. F.; HERD, R. M. Residual feed intake in beef cattle. **R Bras Zootec.** 2008; 37:269-279. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008001300031>
- 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. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5862>
- BOLDMAN, K. G.; KREISE, L. A.; VAN VLECK, L. D.; VAN TASSEL, C. P. A manual of MTDFREML. **A Set of Programa To Obtain Estimates of Variances and Covariances (DRAFT)**. Lincoln, Department of Agricultura / Agricultural Research Service, 1995.
- BOUQUET, A.; FOUILLOUX, M.-N.; RENAND, G.; PHOCAS, F. Genetic parameters for growth, muscularity, feed efficiency and carcass traits of young beef bulls. **Livestock Production Science**, v.129, p.38-48, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.12.010>
- CASTILHOS, A. M.; BRANCO, R. H.; RAZOOK, A. G. *et al.* Test post-weaning duration for performance, feed intake and feed efficiency in Nelore cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, p.301-307, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000200010>
- CEACERO, T. M.; MERCADANTE, M. E. Z.; CYRILLO, J. N. S. G. *et al.* Phenotypic and genetic correlations of feed efficiency traits with growth and carcass traits in Nelore cattle selected for postweaning weight. **Plos One**, v. 11.n. 8, p. e0161366, 2016 DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161366>
- CREWS, D. H. et al. Genetic parameters among growth and carcass traits of Canadian Charolais cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 84, n. 4, p. 589-597, 2004. DOI: <https://doi.org/10.4141/A04-019>
- CROWLEY, J. J.; EVANS, R. D.; MC HUGH, N. *et al.* Genetic relationships between feed efficiency in growing males and beef cow performance. **Journal of Animal Science**, v. 89, n. 11, p. 3372-3381, 2011. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2011-3835>
- CRUZ, G. D.; RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ, J. A.; OLTJEN, J. W.; SAINZ, R. D Performance, residual feed intake, digestibility, carcass traits, and profitability of Angus-Hereford steers housed in individual or group pens. **Journal of Animal Science**, v. 88, n. 1, p. 324-329, 2010. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2009-1932>
- DEL CLARO, A. C; MERCADANTE, M. E. Z.; SILVA, J. A. II. Meta-análise de parâmetros genéticos relacionados ao consumo alimentar residual e a suas características componentes em bovinos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 2, p. 302-310, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000200020>
- FARIA, C. U. D.; ANDRADE, W. B. F. D.; PEREIRA, C. D. F. *et al.* Análise bayesiana para características de carcaça avaliadas por ultrassonografia de bovinos da raça Nelore Mocho, criados em bioma Cerrado. **Ciência Rural**, v. 45, n. 2, p. 317-322, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20140331>

- FITZSIMONS, C.; KENNY, D. A.; MCGEE, M. Visceral organ weights, digestion and carcass characteristics of beef bulls differing in residual feed intake offered a high concentrate diet. **Animal: an international journal of animal bioscience**, v. 8, n. 6, p. 949, 2014. DOI: 10.1017/S1751731114000652
- GOMES, R.C.; SANTANA, M.H.A.; FERRAZ, J.B.S. *et al.* Ingestão de alimentos e eficiência alimentar de bovinos e ovinos de corte. **Funpec-Editora, Ribeirão Preto**, v. 77, 2012.
- GRIGOLETTO, L; PEREZ, B. C.; SANTANA, M. H. A. *et al.* Genetic contribution of cytoplasmic lineage effect on feed efficiency in Nellore cattle. **Livestock Science**, v. 198, p. 52-57, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.02.009>
- GRION, A. L.; MERCADANTE, M. E. Z.; CYRILLO, J. N. S. G. *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. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6682>
- HERD, R. M.; ARTHUR, P. F. Physiological basis for residual feed intake. **Journal of animal science**, v. 87, n. suppl_14, p. E64-E71, 2009. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1345>
- IRSHAD, A. KANDEEPAN, G. KUMAR, S. *et al.* Factors influencing carcass composition of livestock: A review. **J. Anim. Prod. Adv.**, v. 3, n. 5, p. 177-186, 2013. DOI: 10.5455/japa.20130531093231
- KELLY, A. K.; MCGEE, M.; CREWS, D. H. *et al.* Relationship between body measurements, metabolic hormones, metabolites and residual feed intake in performance tested pedigree beef bulls. **Livestock Science**, v. 135, n. 1, p. 8-16, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.05.018>
- 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. DOI: 10.2527/jas1963.222486x
- LANCASTER, P. A.; CARSTENS, G. E.; CREWS, D. H. *et al.* Phenotypic and genetic relationships of residual feed intake with performance and ultrasound carcass traits in Brangus heifers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 87, n. 12, p. 3887-3896, 2009. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2041>
- LAWRENCE, P.; KENNY, D. A.; EARLEY, B.; MCGEE, M. Intake of conserved and grazed grass and performance traits in beef suckler cows differing in phenotypic residual feed intake. **Livestock Science**, v. 152, n. 2-3, p. 154-166, 2013.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.21708/avb.2013.7.4.3269>
- LOPES, L. S.; LADEIRA, M. M.; MACHADO NETO, O. R. *et al.* Viabilidade econômica da terminação de novilhos Nelore e Red Norte em confinamento na região de Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, p.774-780, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000400017>

MAO, F. L.; CHEN, M.; VINSKY, E. *et al.* Phenotypic and genetic relationships of feed efficiency with growth performance, ultrasound, and carcass merit traits in Angus and Charolais steers. **Journal of Animal Science**, v.91, n. 5, p. 2067-2076, 2013. DOI: doi.org/10.2527/jas.2012-5470

MENDES, E. D. M.; FARIA, C. U. D.; SAINZ, R. *et al.* **Procedimentos para mensuração de consumo individual de alimento em bovinos de corte**, 2020.

MISSIO, R. L.; BRONDANI, I. L.; ALVES FILHO, D. C. *et al.* Comportamento ingestivo de tourinhos terminados em confinamento, alimentados com diferentes níveis de concentrado na dieta. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 7, p. 1571-1578, 2010.

MORAES, G. F.; ABREU, L. R. A.; TORAL, F. L. B. *et al.* Ferreira, I. C., Ventura, H. T., Bergmann, J. A. G., & Pereira, I. G. 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. DOI: <https://doi.org/10.1111/jbg.12423>

NKRUMAH, J. D.; CREWS JUNIOR, D. H.; BASARAB, J. A. *et al.* Genetic and phenotypic relationships of feeding behavior and temperament with performance, feed efficiency, ultrasound, and carcass merit of beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 85, n. 10, p.2382–2390, 2007. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2006-657>

NOGALSKI, Z.; POGORZELSKA-PRZYBYTEK, P.; SOBCZUK-SZUL, M. *et al.* Carcass characteristics and meat quality of bulls and steers slaughtered at two different ages. **Italian Journal of Animal Science**, v. 17, n. 2, p. 279-288, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1383861>

OLIVEIRA JUNIOR, G.A.; SANTANA, M.H.A.; GOMES, R.C. *et al.* Parâmetros genéticos e correlações da ingestão e eficiência alimentar em bovinos da raça Nelore. In: **SIMPÓSIO DA SOCIEDADE 47 BRASILEIRA DE MELHORAMENTO ANIMAL**, 5. Uberaba. Anais... Uberaba: SBMA, 2013.

SANTANA, M. H. A.; OLIVEIRA JUNIOR, G. A.; GOMES, R. C. *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**, v. 167, p. 80-85, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.06.002>

SAS Institute Inc. **SAS OnlineDoc® 9.1.3**. Cary, NC: SAS Institute Inc., 2004.

TERRELL, R. N.; SUESS, G. G.; CASSENS, R. G; BRAY, R. W. Broiling, sex and interrelationships with carcass and growth characteristics and their effect on the neutral and phospholipid fatty acids of the bovine longissimus dorsi. **Journal of Food Science**, v. 33, n. 6, p. 562-565, 1968. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1968.tb09074.x>

TORAL, F. L. B.; ROSO, V. M.; ARAÚJO, C. V.; REIS FILHO, J. C. Genetic parameters and response to selection for post-weaning weight gain, visual scores and carcass traits in Hereford and Hereford X Nellore cattle. **Livestock Science**, v.137, n.1-3, p.231-237, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.11.013>

TORRES-VÁZQUEZ, J. A.; VAN DER WERF, J. H. J.; CLARK, S. A. Genetic and phenotypic associations of feed efficiency with growth and carcass traits in Australian Angus cattle. **Journal of animal science**, v. 96, n. 11, p. 4521-4531, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1093/jas/sky325>

ZEMBAYASHI, M.; NISHIMURA, K.; LUNT, D. K.; SMITH, S. B. Effect of breed type and sex on the fatty acid composition of subcutaneous and intramuscular lipids of finishing steers and heifers. **Journal of Animal Science**, v. 73, n. 11, p. 3325-3332, 1995. DOI: <https://doi.org/10.2527/1995.73113325x>

CAPÍTULO 3 – IMPLICAÇÕES

A seleção de animais mais eficientes para consumo alimentar residual (CAR) refere-se àqueles animais com menor ingestão de alimento do que o esperado, ajustado para o peso vivo e o ganho de peso diário. Portanto, a seleção de animais com menor CAR resulta em rebanhos com menor exigência de manutenção e menor consumo, sem afetar o desempenho. Esta é uma medida útil porque não implica em aumento do tamanho adulto do rebanho e é moderadamente herdável, podendo ser incluída em programas de melhoramento.

Outro aspecto a ser explorado é que essa característica de eficiência alimentar não é antagônica às características de carcaça, tais como: acabamento de carcaça, marmoreio e área de olho de lombo. Mas, em fêmeas Nelore, a seleção para CAR poderá gerar alguma resposta favorável na deposição de gordura intramuscular e no rendimento de carcaça, uma vez que foram observadas estimativas de correlações genéticas favoráveis de baixa magnitude entre essas características.

Diante desses pressupostos, a inclusão de CAR como critério de seleção não desenvolverá animais mais produtivos e com maior qualidade de carcaça para o produtor. Deste modo, é necessário que o melhorista contemple um índice de seleção que acrescente características desejáveis para o objetivo de produção, correlacionadas com um impacto econômico. Desta forma, cada propriedade irá se adequar às necessidades do seu rebanho.