

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

AVALIAÇÃO DA DURAÇÃO DO TESTE NA ESTIMATIVA DO CONSUMO
ALIMENTAR RESIDUAL EM BOVINOS DE CORTE

LEONARDO DUARTE FELIX

Engenheiro Agrônomo - UFRGS

Dissertação apresentada como um dos requisitos para a obtenção do grau de

Mestre em Zootecnia

Área de concentração Produção Animal

Porto Alegre (RS), Brasil.

Abril, 2022.

¹ Dissertação de Mestrado em Zootecnia – Produção Animal, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Abril, 2022.

CIP - Catalogação na Publicação

Felix, Leonardo Duarte
Avaliação da duração do teste na estimativa do
consumo alimentar residual em bovinos de corte /
Leonardo Duarte Felix. -- 2022.
79 f.
Orientador: Alexandre de Mello Kessler.

Coorientador: Jaime Urdapilleta Tarouco.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2022.

1. Consumo Alimentar Residual. 2. CAR. 3.
Eficiência alimentar. 4. Residual Feed Intake. 5. RFI.
I. Kessler, Alexandre de Mello, orient. II. Tarouco,
Jaime Urdapilleta, coorient. III. Título.

Leonardo Duarte Felix
Engenheiro Agrônomo

DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

MESTRE EM ZOOTECNIA

Programa de Pós-Graduação em Zootecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovada em: 12.05.22
Pela Banca Examinadora

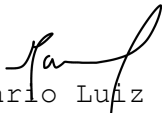
Homologado em: 09/08/2022
Por



ALEXANDRE DE MELLO KESSLER
PPG Zootecnia/UFRGS
Orientador



SERGIO LUIZ VIEIRA
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia



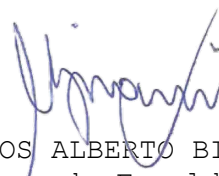
Mario Luiz Piccoli
Gensys Consultores Associados S/C Ltda



Sarah Laguna Conceição Meirelles
UFLA



Saulo da Luz e Silva
USP-Pirassununga



CARLOS ALBERTO BISSANI
Diretor da Faculdade de Agronomia

AGRADECIMENTOS

A minha família por todo o apoio e amor fornecido, por todo o incentivo em todas as etapas e principalmente por acreditarem em mim.

Aos meus amigos por todo o suporte, em especial a Raquel, que me apoiou e deu todo o auxílio sobre o universo da pesquisa.

Ao programa de Pós-Graduação em Zootecnia pela oportunidade.

A todos os funcionários da Estação Experimental Agronômica da UFRGS por todo o apoio e auxílio na realização das tarefas.

A minha namorada Caroline, que me ajudou, incentivou e me apoiou em todos os momentos dessa etapa.

Meu muito obrigado a todos, de coração.

AVALIAÇÃO DA DURAÇÃO DO TESTE NA ESTIMATIVA DO CONSUMO ALIMENTAR RESIDUAL EM BOVINOS DE CORTE

Autor: Leonardo Duarte Felix

Orientador: Alexandre de Mello Kessler

Coorientador: Jaime Udarpileta Tarouco

RESUMO

A classificação por consumo alimentar residual (CAR) e o consumo de matéria seca (CMS) são variáveis importantes para determinação de dias ideais de medição dos animais, bem como o ganho médio de peso diário (GMD). Utilizou-se 22 touros da raça Brangus e 21 touros da raça Devon, obtidos por meio de uma parceria entre as associações de Brangus e Devon e a Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), os quais foram acompanhados por 70 dias. Os valores obtidos de CMS, GMD e PMMT no fim do experimento, foram comparados aos 42 dias de teste, onde se viu correlação entre as variáveis nos dois tempos experimentais. Em relação ao CAR, comparou-se os 70 dias finais à 35 dias de experimentação, onde também se observou correlação entre as variáveis nos tempos em ambas as raças. Não houve diferenças significativas para GMD, peso inicial ou final para animais classificados como eficientes, médias ou ineficientes com base nos valores de CAR. Isso sugere que o uso de CAR como medida de eficiência não afetará outras características economicamente importantes. CMS foi significativamente diferente ($P < 0,0001$) entre as classificações de CAR.

Palavras-chave: CAR; consumo de matéria seca; eficiência alimentar;

EVALUATION OF TEST DURATION IN ESTIMATING RESIDUAL FEED INTAKE IN BEEF CATTLE

Author: Leonardo Duarte Felix

Advisor: Alexandre de Mello Kessler

Co-advisor: Jaime Udarpileta Tarouco

ABSTRACT

The classification by residual feed intake (RFI) and dry matter intake (DMI) are important variables for determining the ideal days for measuring the animals, as well as the average daily weight gain (ADG). 22 Brangus bulls and 21 Devon bulls were used, obtained through a partnership between the Brangus and Devon associations and the Agronomic Experimental Station of the Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS), which were accompanied by 70 days. The values obtained for DMI, ADG, and MMWT at the end of the experiment were compared to the 42 days of the test, where a correlation between the two experimental times was seen. Regarding the RFI, the final 70 days were compared to the 35 days of experimentation, where a correlation was also observed between the times in both races. There were no significant differences for ADG, initial or final weight for animals classified as efficient, medium, or inefficient based on RFI values. This suggests that using RFI as an efficiency measure will not affect other economically important characteristics. DMI was significantly different ($P < 0.0001$) between RFI ratings.

Keywords: dry matter intake; feed efficiency; RFI;

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. REVISÃO DA LITERATURA	9
2.1. Medindo consumo alimentar e GMD para consumo alimentar residual.....	12
2.2. Modelos de CAR	16
2.3. Classificação do CAR	23
2.4. Estimativas de herdabilidade para CAR	24
2.5. Estimativas de correlação fenotípica e genética entre GMD e outra medidas de peso	29
2.6. Correlações genéticas e fenotípicas entre CAR e mediações de carcaça por ultrassom	32
2.7. Correlações fenotípicas e genéticas entre CAR e características de carcaça.....	35
2.8. Desempenho reprodutivo	39
2.9. Efeitos da seleção para CAR na reprodução	40
3. HIPÓTESE	45
Avaliação da duração do teste na estimativa do consumo alimentar residual em bovinos de corte.....	46
Implicações.....	65
Referências.....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição da dieta.....	69
Tabela 2. Níveis nutricionais da dieta total.....	70
Tabela 3. Características de crescimento dos touros Devon e Brangus durante o período de teste.....	71
Tabela 4. Correlação de Pearson entre os 42 e 70 dias de teste nas características aferidas nos touros Brangus e Devon.....	72

RELAÇÃO DE FIGURAS

Figura 1. Correlação de Pearson do CAR em animais Brangus entre os 42 e 70 dias de observação.....	73
Figura 2. Correlação de Pearson do CAR em animais Devon entre os 42 e 70 dias de observação.....	74

1. INTRODUÇÃO

Em bovinos de corte, o desenvolvimento genético tende a ser mais lento devido às baixas taxas reprodutivas e intervalos de gestação mais longos. Em função da grande dispersão geográfica entre as diferentes operações dentro do sistema de produção destes animais, os custos associados ao transporte impede uma maior cooperação vertical entre os diferentes setores.

Além disso, na indústria da carne bovina, é difícil quantificar uma medida robusta de eficiência alimentar, devido aos diferentes requerimentos de energia associados a cada fase de produção (Berry & Crowley, 2013, Maddock, T. D.; Henry, D. D.; Lamb, G. C., 2015). Medidas anteriores de conversão alimentar, como a taxa de conversão alimentar (TCA), eram relevantes apenas dentro de um segmento específico da indústria, porém limitavam o progresso da eficiência em todo o sistema de produção.

A alimentação dos animais é um dos maiores custos dentro do sistema de produção animal, e melhorar a eficiência de utilização da ração traz um benefício econômico significativo. Dito isto, é possível superar algumas das barreiras citadas anteriormente, melhorando a eficiência do sistema de produção por meio do consumo alimentar residual (CAR). O CAR foi proposto pela primeira vez por Koch et al. (1963) e é definido como a diferença entre o consumo alimentar observado e o consumo alimentar predito com base nas necessidades de manutenção e produção.

O CAR pode ser utilizado como uma ferramenta de seleção, a qual a progênie resultante será mais eficiente (Arthur et al., 2001a). Portanto, melhorar a eficiência alimentar usando CAR é benéfico em todos os níveis do sistema de produção e a

longo prazo, pode simplificar o sistema de melhoramento e seleção utilizado pelos produtores, resultando em um produto mais consistente (Mahler, 2016).

2. REVISÃO DA LITERATURA

Os incrementos de ração na dieta são o maior custo de insumos associados à produção de carne bovina, enquanto a lucratividade é altamente dependente da quantidade de produto vendável produzido para cada unidade de ração consumida (Nielsen et al., 2013). Existem várias medidas de eficiência alimentar na produção de carne bovina, mas a identificação precisa de animais eficientes continua sendo um desafio. Medir a eficiência em todo o sistema integrado de carne bovina pode ser difícil devido às diferentes classes de gado existentes, diferenças raciais e formas nas quais os sistemas biológicos (nutrição, reprodução, lactação, metabolismo basal) interagem (Maddock, T. D.; Henry, D. D.; Lamb, G. C., 2015).

Outras espécies produtoras de proteína animal, como carne de porco e de frango, competem diretamente com a carne bovina no mercado. Os bovinos consomem grandes quantidades de forragens de baixo custo e baixa qualidade em relação aos concentrados de alto custo comparados com suínos e aves. Entretanto, a produção de carne bovina ainda precisa melhorar o custo por unidade de produto porque tem o maior custo por quilograma comestível (Nielsen et al., 2013). Ao comparar o produto comestível por unidade de insumo de energia alimentar, a produção de carne bovina é cerca de um terço da eficiência da produção de carne suína e de um quinto a um sexto da eficiência da produção de carne de frango (Dickerson, 1978). As medidas tradicionais de eficiência alimentar incluem a TCA, que é definida como a quantidade de alimento consumido dividida pelo ganho de

peso vivo. A indústria de frangos tem tido sucesso em melhorar a eficiência alimentar, enfatizando a seleção para TCA para produzir aves de crescimento mais rápido (Nielsen et al., 2013). A suinocultura também tem obtido sucesso com o uso da TCA, onde a maior parte da genética fornecida a este mercado provém de apenas três a quatro fornecedores (Nielsen et al., 2013). No entanto, por causa das diferenças fisiológicas entre o gado e outras espécies, a indústria da carne não tem tido tanto sucesso em melhorar a eficiência alimentar através da seleção por TCA. Bovinos eficientes com uma TCA mais baixa mostram uma resposta correlacionada a um aumento nas taxas de crescimento, no tamanho adulto e nos requisitos de manutenção (Crews, 2005). Embora o TCA seja uma ferramenta de manejo útil ao avaliar a economia em crescimento e terminação do gado, não é uma boa indicação da eficiência alimentar em vacas maduras prenhes ou lactantes, que são as que mais consomem alimentos em todo o sistema de produção de carne (Maddock, T. D.; Henry, D. D.; Lamb, G. C., 2015). Uma medida semelhante, chamada de eficiência alimentar bruta, é a razão entre o ganho de peso vivo e o consumo de matéria seca (CMS).

A eficiência das vacas é tradicionalmente definida como quilos de bezerros desmamados por quilo de peso da vaca. Talvez uma maneira mais eficaz de maximizar a eficiência do sistema de produção seja melhorar a utilização de vacas em pastejo no rebanho reprodutivo. Considerando a eficiência total da produção do rebanho, 65% da energia alimentar é utilizada pelo rebanho de vacas em reprodução, em oposição ao gado em crescimento em confinamento (Nielsen et al., 2013). Entretanto, pelo rebanho de vacas consumir principalmente uma dieta baseada em forragens, é difícil de medir o consumo alimentar para o gado em

pastejo. Portanto, identificar animais eficientes com base nas características indicadoras em bovinos alimentados principalmente com uma dieta baseada em grãos seria o ideal.

O CAR é outra medida de eficiência alimentar e pode ser usada como uma ferramenta de seleção para melhorar os animais melhoradores e de abate. O CAR foi proposto pela primeira vez por Koch et al., (1963) em bovinos de corte em crescimento e é definido como o consumo real menos o consumo predito com base nas necessidades de manutenção e produção. O consumo alimentar esperado é calculado pela regressão do consumo alimentar diário no ganho médio diário (GMD) e no peso metabólico no meio do teste (PMMT). O CAR é o resíduo remanescente não contabilizado pelas características mensuráveis. Por definição, o CAR é fenotipicamente independente de seus componentes da regressão, GMD e PMMT, permitindo comparação entre indivíduos com produção diferente durante o período de medição. As propriedades estatísticas do CAR calculadas por regressão linear mostram que o CAR possui uma distribuição normal ($CAR \sim N(0, \sigma^2_{CAR})$) com uma média zero (Crews, 2005). Isso ocorre porque animais considerados eficientes apresentam uma ingestão diária menor do que o predito após a contabilização da produção e do peso corporal. Por outro lado, animais considerados ineficientes possuem uma ingestão diária maior do que o previsto depois de contabilizar a produção e o peso corporal.

Outra medida de eficiência é o ganho médio diário residual (GMDR). O ganho médio diário residual é a diferença entre o ganho real e o ganho predito com base no consumo alimentar, peso e composição corporal (MacNeil, M.D.; Lopez-

Villalobos, N.; Northcutt, S.L., 2011). Animais com GMDR positivo pesam mais do que o previsto e são considerados mais eficientes.

Com base no conhecimento atual de eficiência alimentar, especificamente do CAR, a alimentação é utilizada como a energia para atender os requisitos de manutenção, de produção e resíduo. A energia de manutenção se refere a energia necessária para manter o peso corporal e a energia corporal constantes, sem sacrificar a produção ou os resultados. A energia de manutenção é utilizada para funções como o metabolismo basal, reparo de tecidos, regulação térmica e a atividade locomotora (Nielsen et al., 2013). A energia de produção refere-se a energia necessária para o crescimento, lactação, reprodução ou outras funções além da manutenção. Dois indivíduos com a mesma idade cronológica, mas em diferentes estágios de desenvolvimento, irão diferir na eficiência alimentar devido a forma como utilizam o alimento que consomem. Um animal em crescimento usará a maior parte da energia para a deposição de proteína em comparação com um animal maduro que não tem os mesmos requisitos de energia. O excesso de energia será depositado em forma de gordura que exige mais energia e, portanto, é menos eficiente (Nielsen et al., 2013). Animais que são considerados eficientes são mais capazes de digerir, absorver e utilizar os nutrientes dos alimentos que consomem. Em ruminantes, a digestibilidade é altamente dependente de como as populações microbianas metabolizam os carboidratos, onde os resíduos são emitidos em forma de metano. Portanto, o gado eficiente não apenas reduz o consumo de ração, mas também reduz as emissões de metano, o que é benéfico ao meio ambiente e a sustentabilidade da produção de carne bovina.

2.1. Medindo consumo alimentar e GMD para consumo alimentar residual (CAR)

Para determinar com precisão o CAR, o consumo individual e o GMD devem ser medidos. Atualmente, a *Beef Improvement Federation Guidelines* (BIF, 2018) sugere um período de 21 dias de adaptação seguidos por um período de teste de 70 dias para medir com precisão o consumo de ração e GMD usando as tecnologias Calan® (Northwood, NH) ou GrowSafe® (Airdrie, Alberta). A duração do teste foi determinada a partir de estudos de Archer et al. (1997) e Wang et al. (2006). O período de adaptação permite que os animais se adaptem ao local do teste e a dieta, enquanto que o período de 70 dias do teste fornece o consumo alimentar e os registros de peso utilizados para calcular a taxa de ganho e estimar o CAR. As tecnologias Calan® (Northwood, NH) e GrowSafe® (Airdrie, Alberta) são projetadas para medir a ingestão individual de ração em animais alojados em grupos, a fim de minimizar os efeitos externos no comportamento alimentar.

Archer et al. (1997) conduziram um estudo para determinar a duração ideal do teste medindo a taxa de crescimento, ingestão alimentar, TCA e CAR em 760 bovinos de raça britânica. Os componentes de variância, estimativas de herdabilidade, correlações fenotípicas e genéticas e eficiência de seleção nos testes encurtados (7, 21, 35, 49, 63, 77, 91, 105 dias) foram comparados com um teste de 119 dias de duração. Os autores afirmavam que haviam poucos relatos na literatura científica descrevendo o tempo ideal do teste para medir o consumo alimentar, TCA ou CAR. Entretanto, com base nos resultados de estudo que medem taxa de crescimento, a maioria das estações de teste, centralizadas na América do Norte, realizaram testes de 140 dias de duração. De maneira semelhante, Arthur et al.,

(1996) realizaram um estudo de 119 dias onde foi avaliada a taxa de crescimento, para refletir o fato de que a maioria dos estudos recomendava um período de teste menor que 140 dias. Portanto, 119 dias foi usado como referência para determinar a duração ideal do teste para ingestão alimentar, TCA e CAR. Porém, os autores descobriram que 35 dias de teste eram suficientes para medir o consumo alimentar, enquanto que 70 dias com bovinos pesados, sendo observados a cada duas semanas, eram apropriados para medir a taxa de crescimento, TCA e CAR sem comprometer a precisão. Esses resultados sugerem que o fator limitante na determinação de eficiência alimentar é o tempo necessário para medir a taxa de crescimento ou GMD pós-desmame.

Wang et al. (2006) conduziram um estudo com 456 novilhos para determinar a duração ideal do teste para GMD, CMS, TCA e CAR. Os resultados indicaram que o comprimento do teste pode ser encurtado para 35 dias para CMS, 42 dias para TCA, e 63 dias para GMD e CAR, quando o peso corporal foi aferido semanalmente. A pesagem semanal forneceu uma medida mais precisa das características de crescimento e eficiência alimentar, permitindo um encurtamento da duração de testes. Esses resultados reforçam a conclusão de Archer et al. (2004), que afirma que o comprimento do teste para CAR foi limitado por medições do GMD. Embora a duração do teste para ingestão alimentar possa ser reduzida por medições mais frequentes, não é prático pesar o gado em intervalos menores que uma semana para reduzir a duração do teste para crescimento e eficiência alimentar.

Culbertson et al. (2015) realizaram um estudo para determinar se as medições de CMS e CAR de comprimentos de testes mais curtos eram comparáveis aos testes padrão de 70 dias recomendadas pelo BIF (2018). Os dados foram obtidos

de 593 touros *Bos taurus*, novilhos e novilhas em um total de quatro testes de desempenho de 70 dias. Os animais foram pesados a cada duas semanas e a ingestão alimentar foi registrada diariamente. Subconjuntos de dados variando de 14 a 56 dias de comprimento foram usados para calcular a média diária de CMS, CAR, PMMT e GMD. Quando o CMS diário médio para o teste completo foi regredido no subconjunto de dados de 42 dias, o coeficiente de regressão resultante foi de 0,99, um R^2 de 0,97, com um coeficiente de correlação de Pearson de 0,97. A correlação de Spearman foi de 0,97 entre 42 e 70 dias. Esses resultados indicaram que um período de teste de 42 dias foi suficiente para obter uma medida precisa do CMS médio diário nesta população. A regressão dos valores do teste completo de CAR no subconjunto de dados de 56 dias resultou em um coeficiente de regressão de 1,00, um R^2 de 0,89, e um coeficiente de correlação de Pearson de 0,94. A correlação de classificação de Spearman foi de 0,95, indicando uma mudança mínima na classificação dos animais com base em seus valores de CAR. Esses resultados sugerem que um teste de desempenho de 56 dias deve prever valores de CAR semelhantes aos resultados de um teste de 70 dias, reduzindo a duração do teste em 2 semanas. À medida que os comprimentos dos testes aumentaram, também aumentou o coeficiente de regressão para GMD, atingindo 0,85 aos 56 dias. Esse dado contrasta com o coeficiente de regressão do PMMT, atingindo 1,01 por 14 dias. Como a estimativa do CAR depende do GMD e do PMMT, períodos de teste mais longos são necessários devido a precisão da medição do GMD (Culbertson et al., 2015). Como o consumo alimentar é altamente dependente da idade fisiológica, os animais devem ter idade semelhante quando os testes de consumo alimentar são realizados. Os bovinos avaliados para consumo alimentar pós-desmame devem ter pelo menos 240 dias no início e dentro de um intervalo de 60 dias em relação ao seu

grupo contemporâneo. As medições do consumo alimentar devem ser concluídas antes que o animal complete 390 dias de idade (BIF, 2018).

2.2. Modelos de CAR

CAR é o termo residual da regressão linear do CMS no GMD e PMMT. Embora muitos dos fatores fisiológicos que influenciam o consumo alimentar ainda sejam desconhecidos, a inclusão da espessura do tecido adiposo posterior medida por ultrassom no modelo de regressão pode melhorar a estimativa de CAR. Vários estudos relataram que o CAR tem relações fenotípicas e genéticas fracas com a espessura de gordura da carcaça (Arthur et al., 2001b; Basarab et al., 2003; Lancaster et al., 2009a, b; Nkrumah et al., 2004; Nkrumah et al., 2007; Schenkel et al., 2004). Isso é significativo porque a seleção de indivíduos com valores mais baixos de CAR pode resultar em uma redução concomitante da espessura de gordura no dorso do animal, o que pode afetar as medidas de carcaça no abate. Além disso, a gordura e a condição corporal afetam a função reprodutiva. Como os animais com baixo CAR tendem a ter menos gordura corporal, a seleção a longo prazo para CAR levanta preocupações sobre a idade na puberdade e a manutenção da reprodução (Arthur et al., 2005). Portanto, a inclusão de características de composição corporal (por exemplo, avaliação da espessura do tecido adiposo no dorso por ultrassom) na equação de regressão permite a seleção em CAR sem comprometer as características de carcaça. Ajustar CAR para espessura de gordura dorsal obtido por ultrassom também pode prevenir quaisquer efeitos negativos na reprodução, embora estejam faltando estudos de longo prazo.

Arthur et al., (2003) conduziram um estudo para determinar os efeitos da inclusão de medidas de ultrassom na composição corporal no modelo para prever as necessidades alimentares usadas na determinação do CAR. As características analisadas foram CMS, GMD, PMMT, profundidade de gordura na garupa no final do teste (EPG), alteração em EPG ao longo de 70 dias, área do músculo longissimus no final do teste (AOL), alteração do AOL ao longo dos 70 dias, TCA e CAR. A inclusão de P8 no modelo ($CMS = a + b_1PMMT + b_2GMD + b_3EPG + \text{residual}$) aumentou o R^2 em 3,6% e 1,8% entre machos e fêmeas, respectivamente. Os efeitos de outras características da composição corporal (AOL, alteração em EPG e alteração em AOL) foram mínimos e não foram incluídos no novo modelo. CAR e CAR ajustado para o EPG no final do teste tiveram fortes correlações fenotípicas para ambos os sexos ($r_{macho} = 0,94$, $r_{femea} = 0,97$) e a mudança na classificação dos indivíduos não foi significativa quando as características de composição corporal foram incluídas. Portanto, os autores concluíram que o GMD e o PMMT foram suficientes para prever o consumo alimentar diário.

Schenkel et al. (2004) conduziram um estudo com touros jovens de seis raças e compararam duas medidas de eficiência alimentar, CAR e CAR ajustado para espessura de gordura por ultrassom. Um total de 2.284 registros foram usados para determinar CAR para touros Charolês, Limousin, Simental, Hereford, Angus e Blonde d'Aquitaine. Houve um aumento de $0,014 \text{ kg}^2$ na variação do CMS explicado pela gordura no dorso do ultrassom, onde o respectivo R^2 para CAR e CAR ajustado para espessura de gordura medido por ultrassom foram 0,678 e 0,692. CAR e CAR ajustado para espessura de gordura tiveram uma correlação genética de 0,99, indicando que eram essencialmente a mesma característica. Houve apenas uma

redução muito pequena na variação fenotípica (0,95 vs 0,92 mm) devido a uma redução na variância residual ao ajustar CAR para espessura de gordura. Não houve alteração no componente genético de variância para CAR e CAR ajustado para espessura de gordura, permanecendo em 0,36 mm para os dois modelos. No entanto, o ajuste para espessura de gordura tende a mudar as classificações de raças para CAR, apesar da alta correlação genética dentro da raça entre os dois modelos de CAR. O CAR para Angus e Hereford melhorou consideravelmente ao incluir espessura de gordura medido por ultrassom no modelo. As duas raças mais magras, Blonde d'Aquitaine e Limousin permaneceram as mais eficientes com ou sem ajuste para gordura subcutânea com base nos valores de CAR. Hereford classificou-se acima do Charolês ao ajustar para gordura, enquanto os valores de CAR para Charolês e Simental não mudaram. Entretanto, uma vez que as medidas de CAR são comparáveis apenas com base em indivíduos de um grupo contemporâneo, não há evidências suficientes para justificar o ajuste para espessura de gordura via ultrassom.

Basarab et al. (2003) conduziram um estudo usando 176 novilhos mestiços para quantificar as diferenças no CAR independentemente das diferenças na composição corporal ao longo de dois anos consecutivos. Três modelos diferentes foram usados para comparar a classificação de CAR com as medidas de características de carcaça. O modelo 1 representou o CAR não ajustado, onde o consumo alimentar esperado foi calculado a partir da regressão linear do CMS no GMD e PMMT. Em média, o modelo 1 foi responsável por 76,9% da variação no consumo alimentar esperado. O modelo 2 ajustou o CAR para o ganho estimado na gordura corporal vazia e o ganho de água no corpo vazio, que responderam por um

adicional de 3,9% e 1,1% da variação no consumo real de ração, respectivamente. O modelo 3 ajustou o CAR para medidas de composição corporal de animais vivos, ganho na espessura de gordura e ganho no marmoreio, o que representou 1,8% e 1,1% adicionais da variação no consumo real alimentar, respectivamente. Os valores de CAR no modelo 1 tiveram correlações fenotípicas fracas com ganho de espessura de gordura por ultrassom (0,22, $P < 0,01$), ganho de marmoreio por ultrassom (0,22, $P < 0,01$), ganho de gordura corporal vazia (0,26, $P < 0,01$) e dissecável carcaça magra (-0,21, $P < 0,01$). O ajuste bem-sucedido do CAR para diferenças na composição do ganho foi confirmado pela falta de relação ($P > 0,05$) entre os valores do CAR para o modelo 2 e características da carcaça, composição do corpo vazio e ganho na composição do corpo vazio. Como esperado, os valores de CAR para o modelo 3 não foram relacionados ($P > 0,05$) à maioria das medidas de composição corporal. No entanto, houve correlações fenotípicas fracas com a massa magra da carcaça ($r_p = -0,17$, $P = 0,04$) e ganho de gordura corporal vazia ($r_p = 0,22$, $P < 0,01$), indicando que ajustar CAR para ganho de espessura de gordura e marmoreio não elimina completamente as correlações com a composição corporal. Basarab et al. (2003) concluíram que o CAR deve ser ajustado para GMD, PMMT, ganho na espessura de gordura e ganho na pontuação de marmoreio (Modelo 3). Enquanto o CAR usando o modelo 2 foi independente da composição corporal, essas medidas foram obtidas a partir de características de carcaça, exigindo o sacrifício do animal selecionado. O modelo 3 reduziu significativamente as correlações fenotípicas entre CAR e composição corporal em comparação com o modelo 1, indicando que o ajuste de CAR para características de ultrassom reduz os efeitos potenciais da seleção de longo prazo para CAR na composição da carcaça.

Lancaster et al. (2009a) realizaram um estudo com 341 touros Angus para analisar os efeitos de CAR e CAR ajustado pela composição corporal sobre as características de desempenho. O CAR foi calculado a partir da regressão linear do CMS no GMD e PMMT com teste e interações teste*variável independente (GMD e PMMT) como efeitos aleatórios. Medições de ultrassom em tempo real de espessura de gordura, AOL e gordura intramuscular foram obtidas no início e no final de cada teste. A análise de regressão linear passo a passo revelou que a ordem de inclusão das características da composição corporal estatisticamente significantes foram ganho na espessura de gordura e ganho na AOL, e foram incluídas como variáveis no modelo de regressão final usado para calcular o CAR ajustado para a composição corporal. O ganho em espessura de gordura representou uma variação adicional de 2% no CMS além do GMD e PMMT, aumentando o R^2 de 0,755 para 0,775. Enquanto o R^2 (0,777) não melhorou significativamente, incluindo o ganho em AOL na equação de regressão, CAR calculado a partir de GMD, PMMT e ganho em espessura de gordura teve uma correlação fenotípica fraca com o ganho em AOL ($r_p = 0,14$, $P < 0,05$). As correlações de classificação de Pearson (0,92) e Spearman (0,91) foram fortes entre CAR e CAR ajustado para a composição corporal, e a regressão simples revelou um coeficiente de correlação de 1,01 entre as duas medidas. CAR e CAR ajustado tiveram fortes correlações fenotípicas com CMS de 0,60 e 0,55, respectivamente, com touros com baixo CAR consumindo 16% menos ($P < 0,01$) CMS do que touros com alto CAR. A espessura de gordura final e o ganho em espessura de gordura tiveram correlações fenotípicas fracas com CAR de 0,20 e 0,30, sugerindo que touros mais eficientes eram mais magros. Touros com baixo CAR tiveram significativamente ($P < 0,01$) medições finais de espessura de gordura mais baixas do que touros com alto CAR (0,59 vs 0,67 cm) e tiveram menor ganho na espessura de

gordura do que touros com alto CAR durante o julgamento (0,21 vs 0,32 cm). Além disso, touros com baixo CAR ganharam significativamente ($P=0,04$) menos AOL (18,99 vs 22,04 cm²) do que touros com alto CAR. Como esperado, o ganho em espessura de gordura e o ganho em AOL não foram correlacionados com o CAR ajustado para a composição corporal, uma vez que o modelo de regressão linear força o CAR a ser independente de seus componentes. Embora a inclusão de características de composição corporal no cálculo de CAR pareça ter um impacto mínimo na precisão da seleção em animais de reposição, a inclusão da composição corporal pode ser útil para reduzir o impacto da seleção no rendimento de carcaça e na qualidade da progênie do novilho durante o período de terminação (Lancaster et al., 2009a).

Lancaster et al. (2009b) conduziram um estudo utilizando 468 novilhas Brangus para avaliar diferenças no CAR e no CAR ajustado para composição corporal. As novilhas foram pesadas em intervalos de 7 dias e medidas de ultrassom em tempo real foram obtidas no início e no final de cada uma das 4 repetições. Uma abordagem em duas etapas foi utilizada para determinar se a variação individual dos animais nas características da composição corporal afetava a derivação do CMS esperado. A análise de regressão linear em passo a passo revelou a ordem de inclusão de características de composição corporal que foram estatisticamente significativas, incluindo ganho de espessura de gordura e AOL final medido no ultrassom. O CAR foi calculado a partir da regressão linear do CMS no GMD e PMMT com teste e interações teste*variável independente (GMD e PMMT) como efeitos aleatórios. O modelo de regressão final usado para calcular CAR ajustado para a composição corporal incluiu ganho na espessura de gordura e AOL final medido via

ultrassom, além de GMD e PMMT. A inclusão de ganho na espessura de gordura sozinha, explicou a maior quantidade de variação adicional no CMS, aumentando o R^2 em 4,2%. ($R^2 = 0,555$ vs. $0,597$). Mesmo que CAR não fosse fenotipicamente ou geneticamente correlacionado com AOL final, incluindo AOL final no modelo de CAR ajustado resultou em um $R^2 = 0,602$. CAR e CAR ajustado por ultrassom tiveram fortes correlações fenotípicas com CMS em 0,70 e 0,67, respectivamente. Além disso, houve uma diferença significativa ($P = 0,01$) no CMS com base na classificação de CAR. Em média, novilhas com baixo CAR consumiram 8,76 kg/dia, novilhas de médio CAR consumiram 9,48 kg/dia e novilhas de alto CAR consumiram 10,34 kg/dia. Houve uma fraca correlação fenotípica entre CAR e ganho de gordura na costela ($r_p = 0,22$), e diferença significativa ($P = 0,01$) entre novilhas eficientes e ineficientes para ganho de gordura na costela. No entanto, as correlações fenotípicas e genotípicas para CAR e espessura de gordura final ($r_p = 0,12$, $r_g = 0,36$) indicaram que a seleção para CAR favorável pode reduzir os depósitos de gordura subcutânea. A AOL final medida por ultrassom, não foi fenotipicamente ou geneticamente correlacionada com CAR e não houve diferença significativa na AOL final com base na classificação do CAR. Portanto, a inclusão da AOL final no CAR ajustado para a composição corporal pode ter sido desnecessária. Os coeficientes de correlação de Pearson (0,97) e de Spearman (0,96) foram fortes entre CAR e CAR ajustado, sugerindo que a seleção usando qualquer um dos modelos para CAR resultaria em mudanças correspondentes semelhantes no consumo alimentar e na eficiência. Embora a inclusão de características de composição corporal no cálculo do CAR tenha impacto mínimo sobre os animais em crescimento, pode ser útil para reduzir o impacto potencial da seleção para CAR na qualidade da carcaça em progênes destinadas a confinamentos.

Mao et al. (2013) conduziram um estudo usando 551 novilhos Angus e 417 Charolês para determinar o modelo de CAR apropriado para prever o CMS diário esperado. CAR calculado por regressão linear do CMS e do GMD e PMMT (Modelo 1) foi responsável por 65,6% da variação do CMS esperado para os novilhos Angus e 73,0% da variação do CMS esperado para os novilhos Charolês. O modelo 2 ajustado para espessura de gordura na costela foi responsável por 66,1% e 75,3% da variação do CMS esperado para novilhos Angus e Charolês, respectivamente. A variação adicional de 0,5% no CMS explicada pela adição da gordura na costela no modelo de regressão para novilhos Angus é provavelmente devido a fraca correlação genética entre CAR e gordura na costela ($r_g = 0,17 \pm 0,21$) em bovinos Angus. No entanto, o modelo 2 teve um efeito maior nos novilhos Charolês e foi responsável por uma variação adicional de 2,3% no CMS em comparação com o modelo 1. Esse aumento na variação é ligeiramente maior do que 1,4% relatado por Schenkel et al. (2004) e 1,8% por Basarab et al. (2003). Além disso, as correlações fenotípicas e genéticas entre CAR e espessura de gordura na costela são muito mais fortes em novilhos Charolês, onde $r_p = 0,19 \pm 0,06$ e $r_g = 0,33 \pm 0,18$, respectivamente. O modelo 3, ajustado para gordura na costela e AOL, teve pouca significância adicional quando comparada ao modelo 2. Os resultados indicam que a inclusão da espessura de gordura na costela medido por ultrassom no modelo para calcular CAR deve reduzir os impactos negativos sobre a gordura da carcaça e marmoreio que acompanham a seleção para animais mais eficientes.

2.3. Classificação do CAR

As medições de CAR para cada animal são obtidas pela diferença entre o consumo real e o consumo esperado, considerando os requisitos de manutenção e de produção. Os animais são classificados com base no valor de CAR para comparar a eficiência alimentar de um animal individual em seu grupo contemporâneo. Normalmente os animais são classificados como Baixo CAR, médio CAR e alto CAR, igualando-se a eficiente, médio ou ineficiente, respectivamente. Estatisticamente, o CAR é distribuído normalmente com uma média zero. Dependendo de um determinado desvio padrão (DP) da média, os animais podem ser então classificados em suas respectivas categorias. Quando os animais são classificados com base em ± 1 DP de distância da média, 68% dos indivíduos dessa população são considerados médios. Portanto, cerca de 16% dos indivíduos se desviam da média por > -1 e são classificados como baixo CAR ou eficientes. Os 16% restantes desviam da média em > 1 e são classificados como alto CAR ou ineficiente. A classificação de CAR é útil para produtores que buscam melhorar a eficiência alimentar por meio da seleção genética para animais com baixo CAR.

2.4. Estimativas de herdabilidade para CAR

A herdabilidade de uma característica mede a proporção da variação fenotípica influenciada pela variação genética aditiva. Uma característica altamente hereditária ($h^2 > 0,50$) tem uma variação genética aditiva maior e a seleção genética pode ser bastante eficaz. Uma característica hereditária baixa ($h^2 < 0,15$) é amplamente influenciada por fatores ambientais ao invés de fatores genéticos, e muito provavelmente pode aumentar por meio de estratégias de manejo adequadas. Portanto, os programas de melhoramento genético que buscam melhorar uma

característica de interesse precisam garantir que o ambiente circundante seja propício ao objetivo do melhoramento, além do uso da seleção genética.

Foi descoberto que o CAR é uma característica moderadamente hereditária e pode ser melhorado por meio da seleção genética. Koch et al. (1963) relatou pela primeira vez uma estimativa de herdabilidade para CAR de $0,28 \pm 0,11$ em touros e novilhas de raça britânica. Archer et al. (1997) relataram uma herdabilidade estimada de 0,62 para CAR com base em um período de teste de 70 dias em touros e novilhas de raça britânica. As diferenças nas estimativas de herdabilidade entre os dois estudos provavelmente se devem a diferentes populações de bovinos e às diferenças na estimativa dos componentes de variância.

Arthur et al. (2001a) estimaram a herdabilidade do CAR em touros Charolês jovens aos 15 e 19 meses de idade. A idade média no início do teste era de 274 dias. Todos os animais foram alimentados até os 15 meses de idade e a metade dos animais continuou até os 19 meses de idade. As herdabilidades foram estimadas usando procedimentos REML multivariados. A estimativa de herdabilidade para CAR aos 15 meses foi de 0,39 e aos 19 meses de 0,43. As correlações fenotípicas e genéticas entre as medições de CAR aos 15 meses de idade e aos 19 meses de idade foram de 0,85 e 0,95, respectivamente. Os resultados sugerem que não há necessidade de prolongar um teste de ingestão alimentar além dos 15 meses de idade para melhorar geneticamente a eficiência alimentar. Em outro estudo, Arthur et al. (2001b) estimou a herdabilidade do CAR em 0,39 em touros e novilhas Angus. Da mesma forma, CAR e CAR ajustado para espessura de gordura dorsal tiveram estimativas de herdabilidade de 0,38 e 0,39, respectivamente, em touros de corte de raça pura de seis raças localizados na estação de teste de touros de Ontário

(Schenkel et al., 2004). Crowley et al. (2010) relataram uma estimada herdabilidade para CAR de 0,45 +- 0,06 em touros de corte irlandeses com desempenho testados.

As estimativas de herdabilidade em novilhos parecem variar mais do que as relatadas em touros. De acordo com Nkrumah et al. (2007), as diferenças nas variâncias genéticas e fenotípicas estão relacionadas as diferenças no histórico genético, e as variâncias ambientais estão associadas à medição do consumo alimentar. Novilhos confinados são normalmente avaliados para CAR pouco antes do abate, enquanto os animais de reposição são avaliados para CAR para fins de criação de EPDs. Embora o estoque de reprodutores, de animais melhoradores, seja normalmente avaliado com um ano de idade, os novilhos confinados são mais velhos e variam em idade quando entram no confinamento e são processados. Além disso, há uma grande variabilidade na quantidade de novilhos confinados em relação a raça, potencial de crescimento do pai, peso corporal, dias de alimentação, ganho de peso corporal e quantidade de deposição de gordura em comparação com animais superiores melhoradores que estão principalmente na fase de crescimento. Como a variância genética aditiva em novilhos pode ser muito maior, especialmente devido à falta de registros de linhagens, as estimativas de herdabilidade tendem a ser mais diversas do que aquelas vistas em touros. Além disso, os métodos para cálculo do CAR podem diferir entre os estudos e contribuir para diferenças nas estimativas de herdabilidade (Rolfe et al., 2011).

Nkrumah et al. (2007) conduziram um estudo usando novilhos mestiços manejados e testados quanto ao crescimento e eficiência em condições de confinamento. Os parâmetros fenotípicos e genéticos foram obtidos usando os softwares SAS (versão 9.1.3, SAS Inst. Inc., Cary, NC) e ASREML (Gilmour et al.,

2000). Os valores estimados de CAR fenotípico (CARf) e CAR genético (CARg) foram calculados pela regressão do CMS em GMD e PMMT, usando as (co)variâncias fenotípicas e (co)variâncias genotípicas apropriadas. As estimativas de herdabilidade para CARf e CARg foram $0,21 \pm 0,12$ e $0,42 \pm 0,15$, respectivamente. As correlações genéticas ($r_g = 0,92$) e fenotípicas ($r_f = 0,97$) entre as duas medidas de CAR foram fortes, indicando que ambos os índices são muito semelhantes.

Rolfe et al. (2011) conduziram um estudo com 1.141 novilhos sem raça definida ao longo de cinco anos para estimar parâmetros genéticos e fenotípicos para consumo alimentar e outras características em bovinos em crescimento. Os novilhos iniciaram o teste com aproximadamente 270 dias de idade e foram abatidos aproximadamente uma semana após o término do teste. Como os novilhos eram abatidos em datas diferentes a cada ano e variavam em dias de alimentação, peso corporal e alimento, os dados foram ajustados para um período de alimentação de 140 dias. ASREML foi usado para obter uma herdabilidade estimada para CAR de $0,52 \pm 0,14$. O ajuste do CAR para gordura dorsal na carcaça e marmoreio teve pouco efeito na estimativa de herdabilidade. Além disso, as correlações fenotípicas e genéticas entre as duas medidas de CAR foram de $0,96 \pm 0,003$ e $0,98 \pm 0,009$, respectivamente.

Em um estudo de Mao et al. (2013), as estimativas de herdabilidade para CAR foram determinadas usando três modelos diferentes, utilizando novilhos Angus e Charolês. O primeiro modelo relatou herdabilidades estimadas para valores de CAR não ajustados em novilhos Angus e Charolês de $0,47 \pm 0,12$ e $0,68 \pm 0,14$, respectivamente. O segundo modelo ajustou o CAR para gordura no dorso via ultrassom. A estimativa de herdabilidade de CAR para novilhos Angus permaneceu

a mesma, enquanto a estimativa para novilhos Charolês diminuiu ligeiramente para 0,64 +- 0,14. O terceiro modelo ajustou CAR para gordura no dorso por ultrassom e AOL por ultrassom. Este terceiro modelo reduziu ainda mais as herdabilidades em ambas as raças (Angus $h^2 = 0,46 \pm 0,12$, Charolês $h^2 = 0,60 \pm 0,13$). As altas estimativas de herdabilidade indicam que há uma variação genética considerável no CAR nas populações de Angus e Charolês. Ajustar CAR para medidas de composição corporal se correlaciona com uma ligeira diminuição na herdabilidade, reduzindo assim a quantidade de variação genética. No entanto, essa redução não é significativa e não tem impacto na capacidade de melhorar o CAR por meio da seleção genética.

Um estudo australiano analisou os registros de eficiência alimentar pós-desmame de 1.180 touros e novilhas Angus (Arthur et al., 2001b). A herdabilidade estimada de CAR foi de 0,39 +- 0,03 com uma variância aditiva de 0,15 kg / dia. Um estudo na sequência testou novamente 751 vacas que haviam sido testadas para CAR quando novilhas (Archer et al., 2002). Após o teste pós-desmame, todas as novilhas entraram no rebanho de vacas e, após o desmame do seu segundo bezerro, retornaram ao mesmo estabelecimento e foram retestadas para consumo alimentar aos quatro anos de idade. A herdabilidade estimada para CAR como uma vaca madura foi de 0,23 com uma variância aditiva de 0,46 kg / dia. As correlações fenotípicas e genéticas entre CAR medido após o desmame e em vacas maduras foram de 0,40 e 0,98 respectivamente. Embora os resultados e implicações dos dois estudos sejam aplicáveis apenas em suas respectivas fases de produção, a forte correlação genética para CAR entre as duas idades sugerem que alguns processos

biológicos que regulam a ingestão e a eficiência pós-desmame são semelhantes aos processos que regulam a ingestão de animais adultos (Archer et al., 2002).

Poucos estudos examinaram o CAR em novilhas em crescimento e fêmeas produtivas em comparação com os machos. No entanto, as estimativas de herdabilidade relatadas permanecem moderadas, semelhantes às de touros e novilhos. Em novilhas brangus jovens, a herdabilidade de CAR foi relatada como 0,47 com uma variação genética de 0,25 kg / dia (Lancaster et al., 2009b). O CAR ajustado para ganho na profundidade da gordura subcutânea por ultrassom e AOL por ultrassom reduziu a herdabilidade estimada para 0,42 +- 0,13 com uma variância genética de 0,22 kg / dia. Esta herdabilidade estimada reduzida para CAR quando ajustada para a composição corporal é semelhante ao relatado por Mao et al. (2013), em que a estimativa de herdabilidade para CAR foi reduzida em 0,08 quando ajustada para gordura dorsal por ultrassom AOL por ultrassom.

2.5. Estimativas de correlação fenotípica e genética entre GMD e outras medidas de peso.

O CAR está associado com o consumo alimentar e outras medidas de eficiência alimentar. As correlações genéticas entre CAR e o consumo alimentar são fortes e positivas, sugerindo que a melhora no CAR resultará em uma diminuição no consumo alimentar, sem afetar a taxa de crescimento ou o tamanho do corpo adulto. Além disso, a seleção para CAR geralmente resulta em uma melhoria concomitante em outras medidas de eficiência alimentar, especificamente TCA.

Arthur et al. (2001a) relataram fortes correlações genéticas entre CAR e consumo alimentar ($r_g = 0,79$) e TCA ($r_g = 0,85$) em touros Charolês de 15 meses de idade. As correlações fenotípicas medem a força da relação entre o desempenho em uma característica e o desempenho em outra característica. As correlações genéticas medem a força da relação entre os valores genéticos de uma característica e os valores genéticos de outra característica. As correlações fenotípicas foram de forças semelhantes de 0,60 e 0,57, respectivamente. Em touros Angus em crescimento, o CAR mostrou correlações fenotípicas moderadas entre CMS ($r_f = 0,60$) e TCA ($r_f = 0,49$) (Lancaster et al., 2009a). Além disso, touros Angus com baixo CAR consumiram 16% menos alimentos do que touros com alto CAR, mantendo GMD e peso corporal final semelhantes (Lancaster et al., 2009a). Isso sugere que a seleção para baixo CAR diminuiria o consumo de alimentos, enquanto mantém o mesmo nível de desempenho de crescimento.

Durante um teste de desempenho em novilhas e touros Angus jovens, o consumo alimentar foi geneticamente correlacionado com ambas as medidas de eficiência alimentar, mas mais forte com CAR ($r_g = 0,69$) do que com TCA ($r_g = 0,31$) (Arthur et al., 2001b). Schenkel et al. (2004) observaram uma tendência semelhante usando touros jovens. Os autores relataram uma correlação genética entre CAR e CMS de 0,81 e CAR e TCA de 0,39. Esses estudos relataram correlações genéticas moderadas entre CAR e TCA (Arthur et al., 2001b, $r_g = 0,66$; Schenkel et al., 2004, $r_g = 0,69$) e bovinos com um CAR mais baixo tendem a ter um TCA mais baixo devido ao consumo alimentar reduzido.

Em novilhos manejados em confinamento, fortes correlações genéticas foram relatadas entre CAR ou CAR calculado por regressão genética com TCA ($r_g = 0,62 \pm$

0,09, $rg = 0,78 \pm 0,10$) e CMS ($rg = 0,73 \pm 0,18$, $rg = 0,65 \pm 0,16$) (Nkrumah et al., 2007). Resultados semelhantes foram observados em uma população híbrida de touros e novilhos, onde CAR teve fortes correlações fenotípicas com TCA ($rf = 0,62$) e CMS ($rf = 0,77$) (Nkrumah et al., 2004). Em populações de novilhos Angus e Charolês, CAR teve fortes correlações fenotípicas com CMS ($rf = 0,58 \pm 0,04$, $rf = 0,52 \pm 0,06$, respectivamente) e TCA ($rf = 0,45 \pm 0,04$, $rf = 0,44 \pm 0,05$, respectivamente). Fortes correlações genéticas também foram observadas entre CAR e CMS e entre CAR e TCA em novilhos Angus ($rg = 0,75 \pm 0,10$, $rg = 0,54 \pm 0,18$) e novilhos Charolês ($rg = 0,66 \pm 0,11$, $rg = 0,66 \pm 0,12$) (Mao et al., 2013). Esses resultados são semelhantes aos relatados em touros e novilhas Angus (Arthur et al., 2001b), em touros Charolês (Arthur et al., 2001a) e em populações de raças mistas (Schenkel et al., 2004; Nkrumah et al., 2007).

Em novilhas Brangus jovens, uma forte e positiva correlação fenotípica foi encontrada entre CAR e CMS ($rf = 0,70$; Lancaster et al., 2009b). Esta correlação fenotípica foi substanciada por novilhas classificadas com baixo CAR e consumindo 15% menos de MS do que novilhas classificadas com alto CAR. Além disso, novilhas classificadas como baixo CAR tiveram um TCA 16% menor em comparação com novilhas classificadas como alto CAR. CAR e TCA tiveram fortes correlações genéticas ($rg = 0,59$) e fenotípicas ($rf = 0,94$) e, portanto, uma melhoria no CAR resultará em uma concomitante melhoria no TCA (Lancaster et al., 2009b).

Archer et al., (2002) relataram fortes correlações genotípicas ($rg = 0,71$) e fenotípicas ($rf = 0,88$) entre CMS e CAR em vacas maduras. Basarab et al., (2007) conduziram um estudo com vacas prenhes e sua progênie classificada por CAR. Tanto a progênie CAR quanto a progênie CARbf tiveram correlações fenotípicas

moderadas a fortes com CMS ($r_f = 0,51$ a $0,53$) e TCA ($r_f = 0,44$ a $0,46$), com novilhos e novilhas mais eficientes consumindo menos ração e tendo a ração melhorada para ganhar proporções. O CAR das vacas foi fenotipicamente correlacionado ao consumo alimentar ($r_f = 0,83$) e o CAR das vacas foi fenotipicamente independente do TCA ($r_f = -0,07$). Além disso, as mães que produziram progênes de baixo CAR_{bf} consumiram menos ração durante o segundo trimestre de gestação e tiveram valores de CAR mais baixos do que as mães que produziram progênes de alto CAR_{bf}. Esses resultados indicam progênes e mães de CAR eficientes consumiram menos alimentos e melhoraram a relação alimentação / ganho do que vacas e bezerros ineficientes (Basarab et al., 2007).

2.6. Correlações genéticas e fenotípicas entre CAR e medições de carcaça por ultrassom

Diversos estudos relataram fracas correlações fenotípicas e genéticas entre CAR e medições de carcaça por ultrassom, principalmente na espessura de gordura (Arthur et al., 2001b; Basarab et al., 2003; Lancaster et al., 2009a,b; Mao et al., 2013; Nkrumah et al., 2004, 2007; Schenkel et al., 2004). Como as medições de ultrassom são um excelente indicador das medidas de carcaça, isso permite que os produtores monitorem o gado que foi selecionado para baixo CAR para quaisquer mudanças potenciais que possam ocorrer na composição corporal.

Em touros e novilhas jovens Angus, o CAR teve fracas correlações genéticas ($r_g = 0,17 \pm 0,05$) e fenotípicas ($r_f = 0,14$) com espessura de gordura dorsal por ultrassom (Arthur et al., 2001b). Schenkel et al. (2004) encontraram correlações genéticas semelhantes ($r_g = 0,16$; $P = 0,11$) e fenotípicas ($r_f = 0,17$; $P < 0,05$) entre as

duas características, no entanto, ambas as correlações foram insignificantes ao ajustar CAR para espessura de gordura dorsal por ultrassom ($r_g = -0,01$, $r_f = -0,01$). Em novilhas Brangus, CAR foi fracamente correlacionado com a espessura final de gordura dorsal por ultrassom e ganho na gordura dorsal por ultrassom ($r_f = 0,12$; $P < 0,05$ e $r_f = 0,22$; $P < 0,05$) (Lancaster et al., 2009b). Lancaster et al. (2009b) também relataram uma correlação genética moderada entre CAR e espessura final de gordura no dorso por ultrassom ($r_g = 0,36 \pm 0,26$), sugerindo que uma diminuição no CAR reduzirá a gordura subcutânea. Em contraste com Schenkel et al. (2004), Lancaster et al. (2009b) descobriram que uma moderada correlação genética permaneceu entre CAR e espessura final de gordura dorsal após o ajuste para composição corporal ($r_g = 0,39 \pm 0,27$). Esses resultados sugerem que ajustar CAR para composição corporal irá facilitar a seleção que é fenotipicamente independente de suas características componentes, mas as correlações genéticas podem permanecer. Basarab et al. (2003) também encontraram uma correlação fenotípica de 0,22 ($P < 0,01$) entre CAR e ganho na espessura de gordura dorsal por ultrassom.

Nkrumah et al. (2007) observaram correlações fenotípicas ainda mais fortes ($r_f = 0,25$; $P < 0,01$) e genéticas ($r_g = 0,35 \pm 0,30$) entre CAR e espessura de gordura dorsal por ultrassom, sugerindo que a seleção para CAR pode resultar na seleção de animais mais magros. Em comparação com novilhos classificados como baixo CAR, os novilhos classificados como alto CAR tiveram uma taxa significativamente maior de ganho na gordura dorsal por ultrassom (0,029 mm/dia vs 0,038mm/dia) e espessura final de gordura dorsal por ultrassom (8,27mm vs 9,86mm). Em um estudo anterior, Nkrumah et al. (2004) relataram pequenas correlações fenotípicas

entre CAR e ganho de gordura dorsal por ultrassom ($r_f = 0,30$; $P < 0,01$) e entre CAR e espessura final de gordura dorsal por ultrassom ($r_f = 0,19$; $P < 0,05$), com gados de baixo CAR tendo espessura reduzida de gordura dorsal por ultrassom em comparação com gado classificado de alto CAR (5,28 mm vs. 6,31 mm). Da mesma forma, Lancaster et al. (2009a) relataram pequenas correlações fenotípicas entre CAR e espessura final de gordura dorsal por ultrassom ($r_f = 0,20$; $P < 0,05$) e CAR e ganho na espessura de gordura dorsal por ultrassom ($r_f = 0,30$; $P < 0,05$), onde touros de baixo CAR tiveram menores medidas de gordura dorsal por ultrassom (0,59 cm vs. 0,67 cm) e menos ganho na gordura dorsal por ultrassom (0,21 cm vs. 0,32 cm) do que touros com alto CAR.

Embora a relação entre CAR e AOL por ultrassom permaneça obscura, existem alguns relatos de correlações entre as duas características de magnitude variável. Arthur et al. (2001b) encontraram uma fraca correlação genética entre CAR e AOL por ultrassom ($r_g = 0,09 \pm 0,09$) em gado Angus. Outro estudo usando touros Angus relatou fracas correlações fenotípicas entre CAR e ganho em AOL por ultrassom ($r_f = 0,17$; $P < 0,05$), mas a AOL final por ultrassom foi semelhante entre todas as classificações de CAR (Lancaster et al., 2009a). Touros com baixo CAR tendem a ter AOL por ultrassom maior e menos ganho em AOL por ultrassom. Quando o CAR foi ajustado para a composição corporal, não houve correlações genéticas ou fenotípicas com o ganho de gordura dorsal e AOL por ultrassom. Isso era esperado, uma vez que a regressão linear fenotípica força o CAR a ser independente de seus componentes. Da mesma forma, em novilhas Brangus, Lancaster et al. (2009b) relataram uma forte correlação genética entre CAR e ganho de AOL por ultrassom ($r_g = 0,55 \pm 0,24$). Além disso, as novilhas classificadas como

baixo CAR apresentaram maior AOL inicial por ultrassom do que as novilhas classificadas como alto CAR. No entanto, no estudo de Nkrumah et al. (2007), fortes correlações fenotípicas negativas ($r_f = -0,52 \pm 0,32$) e genéticas ($r_g = -0,65 \pm 0,20$) entre CAR e AOL por ultrassom em novilhos mestiços foram observadas.

Mao et al. (2013) determinaram que diferenças no melhoramento afetam a força das correlações entre CAR e as medidas de carcaça por ultrassom. Em populações de novilhos Angus, CAR teve quase zero correlações fenotípicas com AOL por ultrassom e espessura de gordura dorsal por ultrassom. Entretanto, o CAR teve moderadas correlações genéticas com AOL por ultrassom ($r_g = 0,31 \pm 0,32$) e CAR teve fracas correlações genéticas com espessura de gordura dorsal por ultrassom ($r_g = 0,17 \pm 0,21$) nesses mesmos bovinos Angus. O alto erro padrão indica que essas correlações podem ser fortes ou insignificantes em ambos os casos. Quando o CAR foi ajustado para espessura de gordura no dorso por ultrassom, essas correlações genéticas reduziram para $0,25 \pm 0,32$ e $0,12 \pm 0,21$, respectivamente. Em novilhos Charolês, CAR teve uma correlação fenotípica fraca com gordura dorsal por ultrassom ($r_f = 0,19 \pm 0,06$), moderadas correlações genéticas com espessura de gordura dorsal por ultrassom ($r_g = 0,33 \pm 0,18$). As correlações fenotípicas entre a espessura de gordura dorsal por ultrassom e o CAR ajustado para a espessura de gordura dorsal foram próximas a zero, enquanto que as correlações genéticas reduziram significativamente para $0,19 \pm 0,19$. Esses resultados indicam que raças com maturação tardia tem correlações mais fortes com medidas de gordura dorsal por ultrassom, embora raças de maturação precoce depositem mais gordura no dorso em idades mais jovens. Ajustar CAR para espessura de gordura dorsal por ultrassom tende a reduzir as correlações com gordura dorsal da carcaça e pontuação

de marmoreio da carcaça em maior extensão em raças Charolês do que em Angus. Além disso, o ajuste de CAR para gordura dorsal por ultrassom teve um efeito mínimo na área de olho de lombo em ambas as raças.

2.7. Correlações fenotípicas e genéticas entre CAR e características de carcaça

Alguns estudos relatam fracas correlações fenotípicas e genéticas entre CAR e características de carcaça (Basarab et al., 2003, 2007; Mao et al., 2013; Nkrumah et al., 2004, 2007). Isso é significativo porque alterações na composição corporal podem afetar o grau de rendimento e, portanto, afetar o tipo de gado enviado ao mercado. Como a seleção para CAR pode resultar em animais mais magros, isso pode ter um grande impacto sobre os produtores cuja renda depende do gado acabado. No entanto, embora as características de carcaça sejam altamente hereditárias, é improvável que a seleção de longo prazo para CAR afete a composição corporal o suficiente para ter qualquer impacto substancial na qualidade da carne.

Em um estudo de abate em série realizado por Basarab et al. (2003), o CAR teve correlações fenotípicas positivas com espessura de gordura da carcaça ($r_f = 0,12$), marmoreio da carcaça ($r_f = 0,15$), gordura dissecável da carcaça ($r_f = 0,14$), ganho de gordura corporal vazia ($r_f = 0,26$) e correlações negativas com carcaça dissecável magra ($r_f = -0,21$) e proteína de corpo vazio ($r_f = -0,14$). Assim, os novilhos com alto CAR tiveram um ganho mais rápido de gordura do corpo vazio e mais lento na proteína do corpo vazio do que os novilhos com baixo CAR. Isso pode ser importante para os produtores com gados com ineficiência alimentar em um mercado onde a carne magra rende mais lucros do que as carcaças com muita

gordura. Quando o CAR foi ajustado para ganho na espessura da gordura dorsal por ultrassom e ganho no marmoreio por ultrassom, essas correlações fenotípicas com CAR foram reduzidas; gordura posterior da carcaça para -0,06, marmoreio da carcaça para 0,10, gordura da carcaça dissecável para 0,06, ganho de gordura corporal vazia para 0,22, carcaça magra dissecável para -0,17 e proteína do corpo vazio para -0,06. Novilhos ineficientes ainda tiveram um ganho um pouco mais rápido na gordura corporal vazia e menos carcaça magra dissecável, mas ajustar o CAR para uma espessura de gordura dorsal comum por ultrassonografia ajudou a melhorar as mudanças na composição corporal.

Estudos sugerem que a seleção para bovinos mais eficientes pode reduzir potencialmente a gordura da carcaça enquanto melhora o rendimento da carne magra e o grau de rendimento. O CAR é relatado como tendo positivas correlações fenotípicas com espessura de gordura da carcaça ($r_f = 0,22$ a $0,25$) e grau de rendimento ($r_f = 0,17$ a $0,28$) e correlações negativas com rendimento de carne magra ($r_f = -0,21$ a $-0,22$) usando o Sistema de Classificação Canadense (Basarab et al., 2007; Nkrumah et al., 2004, 2007). Nkrumah et al. (2004) descobriram que os animais com baixo CAR tinham espessura de gordura dorsal da carcaça significativamente menor (baixo CAR = $8,83 \pm 0,71$ mm; médio CAR = $10,55 \pm 0,53$ mm; alto CAR = $11,56 \pm 0,67$ mm) e medidas de grau de rendimento (baixo CAR = $1,19 \pm 0,13$; médio CAR = $1,50 \pm 0,10$; alto CAR = $1,61 \pm 0,12$), mas maiores rendimentos de carne magra (baixo CAR = $59,26 \pm 0,67$; médio CAR = $58,48 \pm 0,51$; alto CAR = $57,04 \pm 0,63$) usando o Sistema de Classificação Canadense, em comparação com animais com CAR médio ou alto. Em um estudo posterior, uma correlação genética moderada entre CAR e espessura de gordura da carcaça ($r_g =$

0,33 +- 0,29) foi estimada, com animais classificados como alto CAR tendo maior espessura de gordura da carcaça (11,80 +- 0,46 mm) do que aqueles classificados como média (9,76 +- 0,38 mm) ou animais de CAR baixo (9,59 +- 0,45 mm) (Nkrumah et al., 2007). Além disso, CAR teve uma forte correlação genética negativa com rendimento de carne magra ($r_g = -0,54 \pm 0,26$) e animais classificados como baixo CAR tiveram maior rendimento magro (59,00% vs. 56,95%) e melhores graus de rendimento (1,52 vs. 1,84) de acordo com o Sistema de Classificação Canadense em comparação com animais classificados como alto CAR. Fracas correlações fenotípicas ($r_f = 0,17$ a $0,19$) e genéticas ($r_g = 0,28$) foram relatadas entre CAR e o escore de marmoreio da carcaça (Nkrumah et al., 2004, 2007; Basarab et al., 2007). No entanto, não há diferença significativa no escore de marmoreio entre animais de diferentes classificações de CAR (Nkrumah et al., 2004, 2007).

Mao et al. (2013) relataram que o ajuste do CAR para a gordura no dorso por ultrassom diminuirá os efeitos que a seleção do CAR tem sobre outras características de carcaça. O ajuste do CAR para espessura de gordura no dorso por ultrassom reduziu as correlações fenotípicas e genéticas com a gordura da carcaça, marmoreio e rendimento de carne magra em novilhos Angus e Charolês. Na população de novilhos Angus, CAR ajustado teve correlações fenotípicas fracas ou próximas a zero com características de mérito de carcaça. O CAR ajustado teve correlações genéticas fracas entre o peso da carcaça quente e o escore de marmoreio da carcaça de $0,12 \pm 0,20$ e $0,18 \pm 0,21$, respectivamente. Essas relações fracas sugerem que a seleção para CAR pode ter efeitos limitados nas características de carcaça na raça Angus. Em novilhos Charolês, o CAR apresentou correlações fenotípicas fracas ($r_f = 0,15 \pm 0,06$) e genéticas moderadas ($r_g = 0,42 \pm 0,29$) com

a gordura na carcaça, sugerindo que novilhos mais eficientes terão uma diminuição na gordura da carcaça. CAR também teve correlações genéticas positivas fracas entre peso da carcaça quente, AOL da carcaça e escore de marmoreio (0,14 +- 0,17; 0,19 +- 0,18; 0,14 +- 0,17). Após ajustar CAR para a gordura no dorso por ultrassom, as correlações fenotípicas entre CAR e a gordura da carcaça reduziram de 0,08 para 0,03 e de -0,09 para -0,05 para o rendimento de carcaça magra em novilhos Angus. Em Charolês, o ajuste de CAR para espessura de gordura dorsal por ultrassom reduziu as correlações fenotípicas entre CAR e espessura de gordura da carcaça de 0,15 a 0,02, de 0,11 a 0,06 para marmoreio de carcaça e de -0,07 a -0,02 para rendimento de carne magra. Houve também uma redução na magnitude das correlações genéticas quando o CAR foi ajustado, com gordura de carcaça de 0,42 a 0,23 e marmoreio da carcaça de 0,14 a 0,02 em novilhos Charolês, e marmoreio de carcaça de 0,18 a 0,15 em novilhos Angus. Os resultados sugerem que as correlações de CAR com medidas de gordura são mais fortes em gado Charolês, e o ajuste de CAR para a gordura dorsal por ultrassom pode mitigar os efeitos negativos que a seleção de animais mais eficientes pode ter sobre as características de carcaça e escore de marmoreio.

2.8. Desempenho Reprodutivo

A maximização da eficiência total do sistema de produção impacta amplamente a lucratividade do sistema de produção de carne bovina. Story et al. (2000) sugeriram um modelo econômico que estima a receita líquida do empreendimento vaca / bezerros, levando em consideração os retornos baseados em bezerros retidos e terminados. O desempenho reprodutivo, especificamente a

idade do bezerro ao desmame, tem um grande impacto na receita líquida, e um aumento no potencial de lucro pode ser realizado por um maior desempenho reprodutivo do rebanho (Story et al., 2000). Portanto, as características reprodutivas são indiscutivelmente mais importantes do que as características de desempenho e de carcaça para a lucratividade do gado de corte. Além disso, a sustentabilidade da produção de carne bovina depende fortemente de um bom desempenho reprodutivo. A população mundial deverá ultrapassar 9 bilhões até 2050, com a demanda por produtos agrícolas crescendo 1,5% ao ano (Bruinsma e FAO das nações unidas, 2003). Para atender a alta demanda e permanecer competitivo com as indústrias de aves e suínos, a indústria da carne bovina deve se concentrar em melhorar a eficiência total da produção. Em comparação com outras espécies de animais de corte, existem várias diferenças fisiológicas em bovinos de corte que contribuem para a menor eficiência do sistema de produção, sendo a função reprodutiva uma das maiores limitações biológicas. Além das baixas taxas reprodutivas, os bovinos tem gestações muito mais longas e produzem menos progênie anualmente em comparação com espécies reprodutoras menores (Nielsen et al., 2013). No entanto, melhorar os aditivos que podem ser controlados, como consumo alimentar, pode ajudar a tornar a cadeia de fornecimento de carne bovina mais eficiente e sustentável. Portanto, é fundamental garantir que a seleção para eficiência alimentar não tenha efeitos antagônicos no desempenho reprodutivo.

2.9. Efeitos da seleção para CAR na reprodução

Embora faltem atualmente estudos sobre a produção ao longo da vida, estudos preliminares sugerem que a seleção para CAR pode ter algumas

repercussões no desempenho reprodutivo. Os ensaios de ingestão alimentar são conduzidos após o desmame, antes da tomada de decisões de seleção. Como há grande variação na idade na puberdade, o gado *Bos taurus* tende a estar em diferentes estágios de desenvolvimento sexual durante este período e as diferenças na idade fisiológica podem afetar a classificação do CAR. Consequentemente, o teste de CAR tende a favorecer animais de maturação posterior que não tem demandas de energia aumentadas associadas ao desenvolvimento e atividade sexual (Basarab et al., 2011). Portanto os animais pré-púberes têm menor consumo alimentar do que os que estão na puberdade e podem ser considerados mais eficientes.

Basarab et al. (2011) analisaram os efeitos da eficiência alimentar associada ao desenvolvimento e a atividade sexual, identificando quando as novilhas atingiram a puberdade em relação ao início do período do teste. O consumo de ração e os comportamentos revelaram que as novilhas que atingiram a puberdade perto do início do teste consumiram mais ração, passaram mais tempo no cocho durante o evento de alimentação e nos comportamentos de abaixamento da cabeça, mas removeram a cabeça do cocho ou foram para o cocho com menos frequência do que novilhas atingindo a puberdade perto do final do teste. Além disso, novilhas pré-púberes tiveram uma eficiência alimentar melhorada de 4% a 7% devido ao crescimento, tamanho e composição corporal iguais em comparação com novilhas pós-púberes. Esses resultados sugerem que animais com maturação tardia serão favorecidos ao prever CAR de uma mistura de animais pré e pós-púberes.

Uma vez que animais de maturação tardia tendem a ser mais eficientes no momento do teste, a seleção de longo prazo para novilhas com baixo CAR pode afetar o desempenho reprodutivo do rebanho, especificamente a idade na

puberdade. No entanto, alguns autores sugerem que um atraso na puberdade e na concepção pode continuar ao longo da vida da vaca, mas não afetará a fertilidade do rebanho (Arthur et al., 2005; Basarab et al., 2007). Novilhas que têm múltiplos ciclos de estro antes da primeira procriação têm maior probabilidade de conceber precocemente e manter um desempenho reprodutivo semelhante nas estações reprodutivas subsequentes (Byerly et al., 1987). De acordo com Crowley et al. (2011), um atraso no início da puberdade é biologicamente possível porque a partição de energia entre animais que diferem no CAR pode ser alterada com mais energia em baixo CAR repartida em direção ao crescimento e longe da função reprodutiva. Fêmeas com baixo CAR tendem a conceber mais tarde e parir mais tarde do que as com alto CAR, provavelmente atribuído a um atraso no primeiro estro (Arthur et al., 2005; Basarab et al., 2007; Donoghue et al., 2011). No entanto, vários estudos relatam que a seleção para CAR pós-desmame não tem qualquer efeito nas taxas de prenhes, taxas de parto e produtividade materna (Arthur et al., 2005; Basarab et al., 2007; Donoghue et al., 2011; Shaffer et al., 2011).

Shaffer et al. (2011) analisaram a relação entre CAR e fertilidade em novilhas de corte de um ano de raça britânica. Amostras de sangue foram coletadas semanalmente para determinar a idade na puberdade. As novilhas foram consideradas púberes quando as concentrações de progesterona ultrapassaram 1 ng / mL. Houve uma relação linear negativa entre CAR e idade na puberdade, onde um aumento de 1 unidade no CAR correspondeu a uma diminuição na idade a puberdade de 7,5 dias. Além disso, CAR teve uma correlação fenotípica fraca com a idade na puberdade ($r = -0,16$). Novilhas classificadas como alto CAR atingiram a puberdade 13 dias mais cedo do que novilhas com baixo CAR (414 vs. 427 dias de

idade). Independentemente da classificação do CAR, todas as novilhas atingiram a puberdade antes dos 14 meses de idade, e a seleção para CAR não atrasou o início da puberdade o suficiente para ser uma preocupação para a produtividade das vacas. Shaffer et al. (2011) concluíram, uma vez que havia uma grande variação na idade na puberdade, independentemente da classificação de CAR, a seleção para eficiência poderia pela seleção para maturidade reprodutiva mais precoce.

Novilhas que parem no início da primeira estação de parto tendem a parir mais cedo ao longo de suas vidas e têm maior produção de bezerros durante a vida (Randel e Welsh, 2013). A pesquisa atual sugere que fêmeas classificadas como baixo CAR parem mais tarde na estação de parto do que fêmeas com alta classificação, porque fêmeas mais eficientes tendem a atrasar a gestação como novilhas (Arthur et al., 2005; Basarab et al., 2007, 2011; Donoghue et al., 2011). Donoghue et al. (2011) realizaram um estudo para avaliar o desempenho reprodutivo no início da vida e o início da puberdade em novilhas Angus. Houve uma correlação fenotípica moderada entre a classificação de CAR e o dia do parto ($r_f = -0,45$), onde baixo CAR foi associado ao dia de parto tardio. Novilhas com baixo CAR pariram 8,1 dias mais tarde do que novilhas com alto CAR ($35,7 \pm 3,0$ vs. $27,6 \pm 2,4$ dias) devido a uma data de prenhes atrasada durante a primeira estação de acasalamento. A data de parto tardia foi mantida no parto subsequente, mas não afetou as taxas de prenhes ou partos. Crowley et al. (2011) relataram uma correlação genética negativa ($r_g = -0,29$) entre o CAR e a idade ao primeiro parto, indicando que a seleção para um CAR melhorado pode resultar em novilhas que concebem mais tarde na estação de parto. Em um estudo que examinou os efeitos da seleção divergente para CAR na produtividade materna, vacas com baixo CAR

tendiam ($P = 0,07$) a parir 5 dias mais tarde do que vacas com alto CAR (Arthur et al., 2005). Basarab et al. (2007) relataram resultados semelhantes onde vacas produzindo progênie mais eficientes pariram 5 a 6 dias mais tarde do que vacas produzindo progênie ineficientes. Entretanto, não houve diferença no intervalo de partos, indicando que mães que produzem novilhos classificados como baixo CAR foram criadas mais tarde na estação de monta como novilhas e continuamente reproduzidas mais tarde na estação de monta nos anos subsequentes. Em um estudo de Basarab et al. (2011), novilhas de baixa classificação de CAR tiveram menos bezerros nascidos no dia 28 da estação de parto do que novilhas de alta classificação (82,6% vs. 95,0%). O atraso no parto foi removido ajustando CAR para espessura de gordura dorsal por ultrassom e frequência de evento de alimentação. Esses resultados sugerem que a seleção para bovinos mais eficientes pode impactar negativamente a idade na puberdade, mas não afeta o desempenho reprodutivo e a produtividade de vacas maduras.

Conclusão

O CAR é independente do crescimento, mérito de carcaça e produtividade ao longo da vida, a seleção para CAR negativo ou gado eficiente, permitirá que os produtores recuperem os lucros de produtos como peso ao ano, leite, descendência e produção de carne enquanto economizam nos custos de alimentação. O modelo de CAR atual mede o consumo de ração esperado com base na regressão linear do CMS no GMD e PMMT. No entanto, correlações fracas entre CAR e características de carcaça indicam que o ajuste do CAR para composição corporal pode aliviar os efeitos fenotípicos da seleção ao longo prazo em medidas como espessura de

gordura dorsal. Esta pesquisa examinou diferentes modelos de CAR para avaliar se as medições do teste podem ser reduzidas mantendo a precisão do modelo de ingestão alimentar.

3. Hipótese

O período do teste de CAR pode ser reduzido sem prejuízo de confiabilidade e sem prejudicar a acurácia pesando os animais diariamente.

**Avaliação da duração do teste na estimativa do consumo alimentar
residual em bovinos de corte**

Leonardo Duarte Felix¹, Caroline Romeiro de Oliveira¹, Alexandre de Mello
Kessler¹, Jaime Urdapileta Tarouco¹

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Departamento de Zootecnia,
Porto Alegre, Brasil.

Resumo

A classificação por consumo alimentar residual (CAR) e o consumo de matéria seca (CMS) são variáveis importantes para determinação de dias ideais de medição dos animais, bem como o ganho médio de peso diário (GMD). Utilizou-se 22 touros da raça Brangus e 21 touros da raça Devon, obtidos por meio de uma parceria entre as associações de Brangus e Devon e a Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), os quais foram acompanhados por 70 dias. Os valores obtidos de CMS, GMD e Peso metabólico no meio do teste (PMMT) no fim do experimento, foram comparados aos 42 dias de teste, onde se viu correlação entre as variáveis nos dois tempos experimentais. Em relação ao CAR, comparou-se os 70 dias finais à 35 dias de experimentação, onde também se observou correlação entre as variáveis nos tempos em ambas as raças. Não houve diferenças significativas para GMD, peso inicial ou final para animais classificados como eficientes, médias ou ineficientes com base nos valores de CAR. Isso sugere que o uso de CAR como medida de eficiência não afetará outras características economicamente importantes. CMS foi significativamente diferente ($P < 0,0001$) entre as classificações de CAR.

Palavras-chave: CAR; consumo de matéria seca; eficiência alimentar;

ABSTRACT

The classification by residual feed intake (RFI) and dry matter intake (DMI) are important variables for determining the ideal days for measuring the animals, as well as the average daily weight gain (ADG). 22 Brangus bulls and 21 Devon bulls were used, obtained through a partnership between the Brangus and Devon associations and the Agronomic Experimental Station of the Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS), which were accompanied by 70 days. The values obtained for DMI, ADG, and metabolic midweight (MMWT) at the end of the experiment were compared to the 42 days of the test, where a correlation between the two experimental times was seen. Regarding the RFI, the final 70 days were compared to the 35 days of experimentation, where a correlation was also observed between the times in both races. There were no significant differences for ADG, initial or final weight for animals classified as efficient, medium, or inefficient based on RFI values. This suggests that using RFI as an efficiency measure will not affect other economically important characteristics. DMI was significantly different ($P < 0.0001$) between RFI ratings.

Keywords: dry matter intake; feed efficiency; RFI;

Introdução

Estima-se que o custo de alimentação para manutenção represente pelo menos 60 a 65% da necessidade total de alimentação do rebanho de corte (Arthur et al., 2001b). Uma das maiores ameaças que a cadeia de carne bovina enfrenta é sua grande dependência de alimentos armazenados, um insumo cujo custo não pode ser controlado devido a flutuações imprevisíveis do mercado. Além disso, espera-se que a população mundial ultrapasse 9 bilhões até 2050, com a demanda por produtos agrícolas crescendo 1,5% ao ano (Bruinsma e FAO das Nações Unidas, 2003). Portanto, melhorar a utilização e eficiência alimentar é importante para proteger a sustentabilidade de produção da carne bovina. Os programas de seleção podem melhorar a lucratividade reduzindo os insumos da ração sem comprometer características economicamente relevantes, como mérito de carcaça ou reprodução. As medidas tradicionais de eficiência alimentar, como a taxa de conversão alimentar (TCA), têm consequências de longo prazo associadas ao aumento do tamanho do animal adulto, requisitos de manutenção e CMS. O consumo alimentar residual (CAR) é uma medida de eficiência alimentar que é fenotipicamente independente da taxa de crescimento e do peso corporal (Archer et al., 1999; Arthur et al., 2001a). O CAR parece ser uma medida mais favorável de eficiência alimentar e tem menos efeitos antagônicos de seleção. Reduzir o CMS diário em apenas 0,91 kg/d poderia reduzir o custo da produção de carne em US\$ 1 bilhão anualmente nos Estados Unidos e incorporar CAR em programas de seleção poderia melhorar a lucratividade para os produtores de carne em até 33% (Herd, R. M.; Archer, J.A.; Arthur, P. F., 2003; Archer et al., 2004; Weaber 2012).

De acordo com as Diretrizes da Federação de Melhoramento da Carne (BIF, 2018), um período de teste de 70 dias é necessário para medir com precisão o consumo alimentar diário. No entanto, a redução da duração do teste pode ter um impacto financeiro significativo para os produtores de animais superiores que procuram avaliar geneticamente o gado para CAR. Reduzir o tempo que o gado fica em instalações das centrais de teste reduziria os custos iniciais associados à avaliação genética, além de permitir que mais gado fosse testados em um ano. As Diretrizes do BIF (2018) atualmente recomendam o cálculo do CAR pela regressão do CMS no GMD, que deve ser calculado por regressão linear, e PMMT. Enquanto que o CAR é fenotipicamente independente do peso corporal e ganho, estudos encontram correlações fracas entre CAR e características de carcaça (Arthur et al., 2001b; Basarab et al., 2003; Lancaster et al., 2009a, b; Nkrumah et al., 2004; Nkrumah et al., 2007; Schenkel et al., 2004). A fim de eliminar potenciais correlações antagônicas que a seleção genética para CAR pode ter no mérito da carcaça, algumas literaturas sugerem que medições por ultrassom da composição corporal devem ser incluídas no modelo do CAR (Basarab et al., 2003; Lancaster et al., 2009a, b; Mao, 2013). Além disso, um bom desempenho reprodutivo é essencial para manter a operação lucrativa de gado, e alguns estudos iniciais de curto prazo indicam que a seleção favorável por CAR pode causar um dia de parto posterior (Arthur et al., 2005; Basarab et al., 2007; Donoghue et al., 2011). Portanto, o objetivo desse estudo foi determinar os dias ideais de alimentação para medir com precisão o consumo alimentar e o GMD em touros Brangus e Devon.

Materiais e métodos

O estudo foi realizado na Estação Experimental Agronômica (EEA) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), situada em Eldorado do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. A altitude média do local é de 46 metros, com coordenadas geográficas 30° 05' 27" de latitude Sul e 51° 40' 18" de longitude Oeste. O clima da região é do tipo Cfa, segundo a classificação de Köppen, sendo subtropical úmido com verão quente. Apresenta precipitação média anual histórica de 1440 mm. As temperaturas médias mensais históricas variam de 14° e 25°C. No período do experimento a média foi de 26,7°C.

O estudo seguiu as diretrizes do Programa de Melhoramento da Carne, da *Beef Improvement Federation* (BIF, 2018).

Animais e Instalações

Foram utilizados 22 touros Brangus e 21 touros Devon, obtidos de uma parceria com as respectivas associações de Brangus e Devon. O setor de bovinos de corte da UFRGS possui o sistema Intergado (www.intergado.com.br) (JPL Comércio e Locação Ltda – Brasil) com 12 cochos eletrônicos (modelo AF 1000 MASTER GATE) e três bebedouros (modelo WD 1000 MASTER GATE), responsáveis pelos registros de consumo de alimentos, de água e o peso corporal dos animais de forma individualizada.

Durante o período do teste para CAR, os touros foram alocados em dois piquetes de 45/25 m, totalizando 1125 m², nos quais os animais foram divididos em função de sua raça. Os animais tiveram livre acesso a quatro cochos de alimentação e um bebedouro de reabastecimento automático. A distribuição dos animais por

piquete respeitou a capacidade de suporte do sistema que, segundo a recomendação da empresa, é de oito animais por equipamento. Portanto, foram distribuídos cinco animais por cocho, garantindo o consumo *ad libitum*.

O reconhecimento dos animais pelo equipamento foi realizado através do botton transponde rádio frequência passiva (FDX) de identificação, previamente cadastrado no sistema. Este processo permite que sejam coletados os dados do consumo individual da dietas sólida e líquida, bem como, avaliar o comportamento de consumo alimentar e a frequência de alimentação.

Avaliação dos animais

Durante o período do teste, os animais foram avaliados em três momentos (no dia 0, aos 35 dias e aos 70 dias do teste), quando foram realizadas as avaliações de espessura de gordura subcutânea. Os animais também foram pesados nesses períodos, além de serem pesados diariamente com a ajuda da balança corporal de medidas individuais que possuía nos bebedouros. A espessura de gordura subcutânea na costela (EGSUS) e na picanha (EGPSUS) foram avaliadas por ultrassonografia através das imagens geradas pelo equipamento de ultrassom Aloka SSD 500 V, transdutor linear UST 5049 com frequência de 3,5 MHz. As imagens foram obtidas à $\frac{3}{4}$ da linha média do *longissimus*, para EGSUS, e no sítio anatômico paralelamente aos ossos ílio e ísquio, no ponto de intersecção entre os músculos *gluteus medius* e bíceps femoris, para EGPUS. As imagens foram armazenadas e analisada com auxílio do software UICS (CUP Lab[®], LLC-USA) certificado e por profissional habilitado pelo Ultrasound Guidelines Council (UGC).

As características avaliadas foram: ganho médio diário (GMD), peso corporal (PV), peso metabólico no meio do teste (PMMT), consumo alimentar residual (CAR), consumo alimentar residual ajustado para espessura de gordura subcutânea (CARfat), consumo de matéria seca (CMS), espessura de gordura subcutânea (EGSUS), espessura de gordura na picanha (EGPUS).

Crêterios para exclusão de dados

Os dados foram editados para registros incompletos de alimenta o e idade dos touros. De acordo com as Diretrizes do BIF (BIF, 2018), os animais devem ter pelo menos 240 dias de vida no início do teste de alimenta o e não mais do que 390 dias no final do teste de alimenta o. A ingestão individual de ra o também foi verificada para garantir que a ingestão total estava dentro de ± 2 desvios padrão de seu grupo contemporâneo.

Testes de CAR

O experimento foi constituído de duas etapas: a fase de adapta o (21 dias) e a fase de avalia o de consumo (70 dias). O período de adapta o tem como finalidade adaptar os animais ao sistema de cochos eletrônicos de modo a que todos utilizem o sistema normalmente quando estiverem no período avaliativo. Além disso o período de adapta o também ajuda os animais a se adaptarem a dieta.

A dieta ministrada foi a mesma nas duas fases e ofertada em regime *ad libitum*. Os cochos tiveram abastecimento duas (2) vezes ao dia, respeitando a capacidade dos mesmos descritas pela empresa (Máx. 100 kg alimento / cocho). A

dieta foi composta por silagem de milho e ração concentrada a base de milho, soja e minerais, conforme tabela 1. Ela foi fornecida após mistura prévia com o auxílio de um vagão forrageiro IPACOL Modelo VFTM na proporção de 70% de silagem de milho e 30% da ração concentrada. Os valores de NDT e Proteína Bruta estão na tabela 2.

O consumo alimentar residual (CAR) é calculado como o CMS consumido menos o CMS predito para medir o crescimento e a energia de manutenção requeridos (Koch et al., 1963). Assumimos que o CAR é normalmente distribuído com uma média de zero. O CAR predito é obtido através do modelo base:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \text{GMD} + \beta_2 \text{PMMT} + e_i$$

Onde:

Y_i = CMS predito

β_0 = intercepto da regressão

$\beta_1 \text{GMD}$ = coeficiente de regressão parcial do CMS no GMD

$\beta_2 \text{PMMT}$ = coeficiente de regressão parcial do CMS no PMMT

e_i = CAR

O GMD individual do animal foi calculado a partir da diferença de peso final para o peso inicial dividida pelos dias no teste obtidas pela seguinte equação:

$$\text{GMD} = (\text{Peso final} - \text{Peso inicial}) / \text{dias no teste}$$

PMMT é derivado usando o GMD, resultando na seguinte equação:

$$\text{PMMT} = (\text{Peso final} - (0,5 * \text{dias no teste} * \text{GMD}))^{0,75}$$

Um valor de CAR foi determinado para cada touro individual usando a seguinte equação de predição:

$$\text{Modelo 1: } Y_i = \beta_0 + \beta_1 \text{ADG1} + \beta_2 \text{MMWT1} + e_1$$

Onde:

Y_i = CMS esperado

β_0 = intercepto da regressão

β_1 = coeficiente de regressão parcial de CMS em GMD

β_2 = coeficiente de regressão parcial de CMS em PMMT

e_i = CAR1

Uma vez que os valores de CAR foram determinados para os touros usando o modelo, os touros foram classificados em uma das três categorias. Touros classificados como altos ou ineficientes estavam com o CAR mais de 1 DP acima da média do grupo contemporâneo. Touros classificados como baixos ou eficientes estavam com o CAR mais de 1 DP abaixo da média do grupo contemporâneo. Touros dentro do 1 DP do grupo contemporâneo foram classificados como touros de CAR médio.

Análise Estatística

As análises foram realizadas no software GraphPrism (versão 9.3.1). A fim de verificar a normalidade da amostra, realizou-se o teste de Shapiro-Wilk. Após a confirmação da normalidade, realizou-se os testes de análise da variância de duas vias (ANOVA), seguida por teste post-hoc de Tukey. Em comparações entre dois

momentos diferentes, as amostras foram submetidas ao teste T pareado. A fim de verificar os valores de CAR em relação aos tempos de teste, uma análise de regressão linear foi realizada para determinar a correlação de Pearson.

Resultados

Os animais da raça Brangus tiveram um peso inicial de $365,4 \pm 49,6$ kg e um peso final de $507,5 \pm 51,8$ kg, obtendo um GMD de $2,0 \pm 0,2$ kg no período do teste. Para as características de carcaça, os animais tiveram $64,41 \pm 7,93$ cm² de AOL inicial e $90,65 \pm 7,96$ cm² de AOL final, $3,28 \pm 0,60$ cm de EGS inicial e $5,47 \pm 0,64$ cm de EGS final e $3,74 \pm 0,76$ cm de EGP inicial e $6,22 \pm 1,64$ cm de EGP final. Entre o peso vivo inicial e peso vivo final houve diferença estatística, já em GMD, EGPUS, EGSUS não foram significativos em relação aos tempos iniciais e finais de teste.

Já nos animais Devon, o peso inicial foi de $384,4 \pm 69,0$ kg e o peso final de $487,0 \pm 69,5$ kg, obtendo um GMD de $1,5 \pm 0,2$ kg no período de avaliação. Para as características de carcaça, os animais tiveram $60,95 \pm 10,73$ cm² de AOL inicial e $78,07 \pm 12,27$ cm² de AOL final, $3,48 \pm 0,81$ cm de EGS inicial e $5,56 \pm 1,92$ cm de EGS final e $4,06 \pm 1,65$ cm de EGP inicial e $8,03 \pm 2,72$ cm de EGP final. Houve diferença significativa entre os pesos iniciais e finais, mas em GMD, EGPUS e EGSUS não demonstraram variações significativas ao longo do tempo. No que se trata do CMS, houve correlação positiva entre os 42 e 70 dias de testes, tanto nos animais Brangus como Devon ($r=0,96$ e $r=0,98$, respectivamente). As estatísticas descritivas das variáveis consideradas e suas correlações estão descritas nas tabelas 3 e 4.

Em relação aos valores de CAR, esse parâmetro variou de -1,586 kg MS/dia a 1,255 kg MS/dia para os touros Brangus e -1,046 kg MS/dia a 0,886 kg MS/dia nos touros Devon. Em relação ao CMS e os valores de CAR para ambas as raças, observou diferença significativa no tempo final de teste ($P < 0,0001$).

A fim de avaliar a eficiência do período de teste considerando os valores de CAR, foi feita uma correlação entre os valores de CAR apresentados em 42 dias e 70 dias de teste, demonstrando uma correlação positiva entre os valores de CAR e os tempos aferidos para ambas as raças ($r = 0,9657$ – Brangus; $r = 0,9497$ - Devon). As correlações entre o CAR e os períodos de teste de ambas as raças podem ser observadas nas figuras 1 e 2.

Observou-se que os touros Devon classificados como CAR baixo consumiram, em kg MS/dia, 14,6% a menos que os classificados como CAR alto, o que representa uma diminuição do consumo de 1,56 kg de MS/dia.

Discussão

Neste estudo, buscou-se verificar os valores de CAR nos touros Brangus e Devon e verificar a possibilidade de redução de tempo de teste buscando avaliar a eficiência dos animais.

Os valores individuais de CAR variam entre diferentes estudos. Neste trabalho, o CAR variou de -1,046 kg de MS/dia a 0,886 kg de MS/dia e -1,586 a 1,255 kg de MS/dia para as raças Devon e Brangus, respectivamente, diferindo dos resultados de Davis et al (2016), que relataram amplitude maior na variação, -1,48 a 3,2. Já nos estudos de Lancaster et al (2009ab) e Brown et al. (2005), estes

obtiveram variações no desvio padrão, 0,77 a 0,86 e 0,66 e 0,88, respectivamente. Esses intervalos condizem com o desvio padrão de 0,83 para Brangus e 0,60 para Devon obtidos nesse estudo.

O CMS aumentou com o aumento da duração do teste de 42 dias para 70 dias, variando de 10,13 kg/d a 10,40 kg/d, uma diferença de 0,27 kg/d para Brangus e 9,75 kg/d a 9,57 kg/d, gerando uma diferença de 0,18 kg/d. Culbertson et al. (2015) relataram uma faixa de CMS ligeiramente superior (10,62 kg/d a 11,29 kg/d) de subconjuntos de duração de teste iguais. Entretanto, Culbertson et al. (2015) teve um tamanho de amostra muito maior (n= 612) de touros, novilhas e novilhos.

Estudos anteriores indicam que a medição precisa do CMS pode ser medida em menos de 70 dias (Archer et al., 1997; Archer e Bergh., 2000; Culbertson et al., 2015; Wang et al., 2006). O período de teste de 42 dias teve um coeficiente de correlação de Pearson de 0,96 ($P < 0,0001$) indicando que houve pouca mudança na classificação do gado para CMS em comparação a 70 dias de teste. Os resultados deste estudo indicam que o CMS coletado em um período de 42 dias são preditores equivalentes do CMS em comparação com o CMS em um período de 70 dias e seriam suficientes para medições precisas de CMS nessa população. Um teste de 42 dias pode ser a duração mais adequada do teste em termos econômicos, dependendo da disponibilidade de dados do pedigree.

Os resultados deste estudo estão de acordo com os relatos da literatura para o gado *Bos taurus*. Culbertson et al. (2015) recomendaram testes de encurtamento para 42 dias para a coleta de dados de CMS. Os coeficientes de correlação de Pearson relatados para um teste de 42 dias foram de 0,97 no estudo de Culbertson et al. (2015), que são equivalentes aos nossos resultados para um período de teste de 42

dias. Culbertson et al. (2015) relataram um coeficiente de correlação de de 0,97 para um teste de 42 d. Em um estudo conduzido por Archer et al. (1997), recomendou-se um teste de 35 d para o consumo diário de ração e relataram uma correlação fenotípica de 0,87 entre um teste de 35 d e 119 d. Também, Wang et al. (2006) relataram mudanças nas variâncias residuais fenotípicas para o CMS estabilizado após 35 dias no teste e as correlações de Pearson entre um teste de 35 dias e um teste de 91 dias alcançaram 0,93. Archer e Bergh (2000) relataram a variância residual para o CMS estabilizado em 56 d em bovinos *Bos taurus* e *Bos indicus* e um teste de 56 d foi apropriado para medir CMS.

Em relação ao GMD, o período de teste de 42 d teve um coeficiente de correlação de Pearson de 0,91 para os animais Brangus e 0,85 para os animais Devon indicando algumas mudanças de classificação do gado para GMD em comparação com um teste de 70 d. No entanto, esses resultados apoiam os de outros estudos que sugerem que o GMD é o fator limitante no cálculo do CAR e durações de testes mais longas são necessárias para medir o CAR em comparação com testes mais curtos para medir com precisão o consumo de ração (Archer et al., 1997; Archer e Bergh, 2000; Wang et al., 2006).

De maneira interessante, Culbertson et al. (2015) recomendou o encurtamento da duração do ensaio de ingestão de ração de 70 dias para 56 dias para a coleta de dados de GMD. O estudo de Culbertson et al. (2015) com touros *Bos taurus*, novilhos e novilhas relatou um coeficiente de correlação de Pearson para um teste de 56 dias de 0,95, 0,95, respectivamente, que são maiores do que os nossos achados para um teste de 42 dias. Culbertson et al. (2015) relataram um coeficiente de regressão de 0,80, ligeiramente inferior ao relatado neste estudo. Archer et al.

(1997) recomendou um período de teste de 70 dias para ensaios de CAR e relatou uma correlação fenotípica de 0,85 entre um teste de 70 d e 119 d. Em comparação com Archer et al. (1997), um coeficiente de correlação de Pearson semelhante de 0,86 foi relatado neste estudo para um teste de 42 d usando os valores de GMD. Wang et al. (2006) relataram mudanças de variâncias residuais fenotípicas para GMD que continuaram a flutuar ao longo do período de teste de 91 d, indicando que o GMD requer um período de teste mais longo e mais medições são necessárias para obter uma determinação precisa da duração do teste. No entanto, Wang et al. (2006) relataram que as correlações de Pearson e Spearman entre um teste de 63 d e um teste de 91 d foram de 0,90 e 0,87, respectivamente, e determinaram que um teste de 63 d foi suficiente para medir o GMD. Archer e Bergh (2000) relataram a variância residual para GMD estabilizada após 42 d, e um teste entre 42 d e 56 d é suficiente para medir GMD quando a regressão linear é usada para modelar peso versus tempo. Esses resultados também concordam com os achados de nosso estudo, onde 42 d é adequado para medir o GMD.

Há pouca dificuldade de estimar o PMMT em comprimentos de teste mais curtos. Os valores de PMMT do período de teste de 42 d demonstram um coeficiente de correlação de Pearson de 0,99 para os animais Brangus e 1,00 para os animais Devon. Culbertson et al. (2015) relataram resultados semelhantes para um teste de 28 d com um coeficiente de correlação de Pearson e coeficiente de correlação de Spearman de 1,02, 0,99, 0,99 e 0,99, respectivamente. Os resultados indicam que períodos de teste mais longos são necessários para medir o CAR devido ao GMD. O PMMT não é o fator limitante.

Em relação aos valores de CAR obtidos neste teste, os resultados obtidos sugerem que os testes podem ser encurtados, em função de haver correlação positiva entre os valores de CAR e os períodos observados. O período de teste de 42 d teve um coeficiente de correlação de Pearson de 0,97 ($P < 0,0001$) indicando pouca mudança na classificação do gado para CAR em comparação aos 70 d de teste. De 22 touros Brangus, somente um animal alterou de classificação quando o teste de 70 d foi reduzido para 42 d, o qual antes era considerado alto CAR passou para médio CAR. Já nos 21 touros Devon, quatro animais foram reclassificados quando o teste de 70 dias foi reduzido para 42 dias, onde três animais foram de alto CAR para médio CAR e um animal foi de CAR médio para baixo. Esses resultados sugerem que um teste de desempenho de 42 d poderia prever com segurança os valores de CAR resultantes de um teste de 70 d.

Estudos anteriores indicam que o encurtamento da duração do teste de 70 d para CAR pode ainda prever valores fenotípicos de CAR (Archer e Bergh, 2000; Culbertson et al., 2015; Wang et al., 2006). Culbertson et al. (2015) recomendaram um teste de encurtamento a 56 d para coleta de consumo de ração e peso corporal. Os coeficientes de correlação de Pearson e Spearman relatados para um teste de 56 d foram 0,94 e 0,95, respectivamente, que são semelhantes aos nossos achados quando os dados são coletados em um ensaio de 42 d. Culbertson et al. (2015) relataram um coeficiente de regressão mais forte de 1,00 ($P < 0,0001$) e um valor de r semelhante de 0,89 para um teste de 56 d. Archer et al. (1997) recomendaram um teste de 70 d para o consumo diário de ração e relataram uma correlação fenotípica de 0,91 entre um teste de 70 d e 119 d. Wang et al. (2006) relataram mudanças nas variâncias residuais fenotípicas para CMS estabilizado após 63 d no teste e as

correlações de Pearson e Spearman entre um teste de 63 d e um teste de 91 d foram de 0,90. Archer e Bergh (2000) relataram a variância residual para CAR estabilizada em 70 d para bovinos *Bos taurus* e *Bos indicus*, mas encurtar a duração do teste para 49 dias resultaria em apenas pequenas perdas na precisão para todas as raças. Vale ressaltar que neste trabalho, como a distribuição era normal, obtivemos apenas correlações de Pearson.

Os resultados deste estudo indicam que as medições precisas de CMS podem ser obtidas a partir de um teste de desempenho de 42 d. Enquanto os animais foram pesados diariamente neste estudo, as medições diárias do peso corporal forneceram uma medida mais precisa do GMD. Esses resultados apoiam a conclusão de que o GMD é o fator limitante na determinação da duração do teste para CAR. Portanto, a redução da duração do teste de CAR depende da precisão das medições de GMD.

Atualmente, a *Beef Improvement Federation* (BIF, 2018) recomenda um teste de 70 dias, precedido de um período de aclimatação de 21 dias, e aferição do peso corporal pelo menos a cada duas semanas. No entanto, a coleta de dados de peso corporal em intervalos mais frequentes permitiria uma medida mais precisa de GMD e CAR em um período de tempo mais curto. Gravar pesos ativos em intervalos periódicos durante o período de teste e calcular a taxa de ganho por regressão pode aumentar a precisão da taxa de ganho medida e permitir um período de teste ligeiramente mais curto. Como esperado, os resultados deste estudo são muito semelhantes aos relatados por Culbertson et al. (2015), pois o desenho experimental e os procedimentos seguem as recomendações da BIF. Wang et al. (2006) relataram que as durações dos testes para medir o GMD podem ser reduzidas para 63 dias quando os bovinos são pesados semanalmente. Archer e Bergh (2000) relataram a

duração de teste mais curta para medições de GMD em 42 d. No entanto, o gado foi pesado semanalmente e os animais foram mantidos em jejum por 12 horas antes das pesagem (Archer e Bergh, 2000). Isso não apenas fornece uma medida mais precisa do peso corporal, mas também reduz a variação nos pesos devido ao preenchimento do intestino, reduzindo o erro residual. No entanto, também perturba muito os padrões de alimentação, o que parece contraditório em um estudo de ingestão de alimentos projetado para encorajar a atividade alimentar normal. Archer et al., (1997) relataram que um teste de 70 d é necessário para medir o GMD, entretanto, uma das maiores limitações naquele estudo foi a frequência da pesagem. Os pesos foram coletados apenas em 1, 2, 5 e 10 semanas e, portanto, demorou mais para medir com precisão o GMD. Portanto, qualquer melhoria na precisão da medição no GMD, reduzindo a duração do teste, reduzirá automaticamente a duração do teste para características de eficiência (Wang et al., 2006).

As decisões não devem ser baseadas apenas em correlações fenotípicas entre testes mais curtos e a duração máxima do teste. Esta abordagem é problemática devido a autocorrelação, onde a correlação entre dois conjuntos dos mesmos dados em comprimentos semelhantes é, por definição, alta, e não considera que a característica medida é composta por variação biológica e outra variação, incluindo erro de medição (Archer e Bergh, 2000). Portanto, as estimativas de herdabilidade como um critério podem ser mais adequadas no contexto de programas de seleção porque a variância do resultado do teste reflete o erro residual biológico e inexplicável para uma característica particular de interesse (Archer e Bergh, 2000). Quando as correlações são altas entre os teste encurtados e um comprimento

máximo de teste, é mais provável devido à alta variância do erro residual e é um indicador menos preciso do potencial genético. Quando o mesmo traço é medido em testes de comprimentos diferentes, a quantidade de erro residual diminui a medida que aumenta o comprimento do teste; a variação biológica subjacente ao traço de interesse provavelmente permanecerá relativamente constante. Os testes de desempenho que analisam as mudanças na variância são mais confiáveis porque, uma vez que a variância residual se estabiliza; a variação restante é devida a efeitos genéticos aditivos, fornecendo uma medida mais precisa de herdabilidade. Embora as estimativas de herdabilidade não tenham sido estimadas neste estudo, nossos resultados são semelhantes aos relatados na literatura mais recente e suportam durações de teste mais curtas para avaliação genética do consumo de ração em bovinos de corte.

No entanto, enquanto os componentes de variância são capazes de fornecer a medida biologicamente mais precisa de uma característica, a duração do teste mais economicamente ideal pode ser muito menor do que a duração do teste, maximizando a precisão da medição (Archer e Bergh, 2000). A redução da duração do teste permite testar mais animais, além de reduzir custos. Se os programas de reprodução testam animais relacionados e os dados de parentes são usados em avaliações genéticas, os dados de pedigree extra podem compensar parcialmente a perda de precisão de um teste mais curto. Portanto, a duração ideal do teste pode ser diferente daquela determinada apenas pela avaliação fenotípica.

Os resultados deste estudo sugerem que testes de desempenho menores que 70 dias ainda podem prever com segurança o consumo de ração e o CAR. De acordo com Culbertson et al. (2015), as instalações poderiam executar um teste adicional

por ano ao reduzir as durações dos testes para 56 d, e reduzir os testes de CMS para 42 d aumentaria o número de animais testados em 33%. Considerando semelhanças entre este estudo e a literatura atual, não parece haver diferenças significativas entre as raças ou influências do sexo nos resultados de comprimentos de teste encurtados. Isso é significativo porque tem havido um interesse crescente em testar mais novilhas, mas a literatura relatada é escassa. Os produtores de reprodutores normalmente selecionam touros para avaliação genéticas, mas uma vez que a qualidade das novilhas de reposição determina em grande parte a qualidade do rebanho reprodutor, mais novilhas de reposição estão sendo geneticamente avaliadas quanto ao consumo de ração.

Conclusão

Em conclusão, esses dados indicam que a precisão da estimativa de CAR permaneceu a mesma quando a duração do teste foi reduzida para 42 d. Com base nesses resultados, pesquisas adicionais são necessárias e devem examinar um modelo CARbf de 42d, visto que esta diminuição não só resultaria em uma economia significativa de custos para os produtores que buscam medir o gado para CAR, mas também forneceria uma medida mais precisa da estimativa de CAR.

Implicações

Os resultados desse estudo sugerem que a duração do teste de desempenho para medir o consumo alimentar pode ser reduzido para 42 dias a partir da recomendação atual de 70 dias pelas diretrizes da Federação de Melhoramento da

Carne (BIF, 2018). Isso tem implicações econômicas significativas para os produtores de animais de reposição que buscam melhorar a eficiência alimentar em seu rebanho por meio de CAR. Com base nos resultados desse estudo, há uma diferença média de 3,77 kg / dia na alimentação consumida entre touros Brangus classificados com baixo e alto CAR ao longo do período de teste de 70 dias e 3,33 kg / dia na alimentação consumida entre touros Devon. Assumindo que o custo de alimentação seja de R\$ 0,68 / kg, há uma diferença de R\$ 2,26 / d no custo da alimentação entre os touros classificados com baixo e alto CAR. Contabilizando um período de adaptação de 21 dias, os touros estão na instalação por 91 dias. Isso equivale a uma diferença de R\$ 205,66 / animal no custo de alimentação acima de 91 d entre touros com baixo e alto CAR. Reduzindo a duração do teste para 42 d para medir o consumo de ração e contabilizando um período de adaptação de 21 d para um total de 63 d nas instalações do teste, há uma economia de R\$ 63,28 / animal de diferença no custo da ração para produtores que buscam testar o desempenho do seu rebanho.

Referências

Archer, J. A., et al. 1997. Optimum postweaning test for measurement of growth rate, feed intake, and feed efficiency in British breed cattle. **J. Anim. Sci.** **75**: 2024-2032.

Archer, J. A., et al. 1999. Potential for selection to improve efficiency of feed use in beef cattle: a review. **Aust. J. Agric. Res.** **50**:147-161.

Archer, J. A., and L. Bergh. 2000. Duration of performance tests for growth rate, feed intake, and feed efficiency in four biological types of cattle. **Livest. Prod. Sci.** **65**:47-55.

Archer, Z. A., et al., 2004. Effects of nutritional status and gonadal steroids on expression of appetite-regulatory genes in the hypothalamic arcuate nucleus of sheep. **J. Endocrinol.** **182**:409-419.

Arthur, P. F. et al. 2001a. Genetic and phenotypic variance and covariance components for feed intake, feed efficiency, and other postweaning traits in Angus cattle. **Journal of Animal Science** 79: 2805–2811,

Arthur, P.F., et al., 2001b. Genetic and phenotypic relationships among different measures of growth and feed efficiency in young Charolais bulls. **Livestock Production Science** 68:131-139.

Arthur, P. F. et al. Maternal productivity of Angus cows divergently selected for post-weaning residual feed intake. **Australian Journal of Experimental Agriculture** v. 45, p. 985-993, 2005.

Basarab, J.A. et al. 2003. Residual feed intake and body composition in young growing cattle. **Canadian Journal of Animal Science** 83: 189-204.

Basarab, J. A. et al. Relationships between progeny residual feed intake and dam productivity traits. **Canadian Journal of Animal Science.** v.87, p. 489-502, 2007.

BIF, Beef Improvement Federation. Guidelines for Uniform Beef Improvement Programs, 9th Ed revised (2018). Available at: <<http://beefimprovement.org/library-2/bif-guidelines>>. Accessed on: April 6, 2022.

Brown, E. G. 2005. Sources of biological variation in residual feed intake in growing and finishing steers. Thesis (D.Sc.) a Texas A&M Univ., College Station.

Bruinsma, J (ed) / FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2003. World Agriculture: Towards 2015/2030: An FAO Perspective. Earthscan, UK. www.fao.org/DOCREP/005/Y4252E/Y4252E00.HTML

Culbertson, M. M., et al., 2015. Optimum measurement period for evaluating feed intake traits in beef cattle. **J. Anim. Sci.** **93**:2482-2487. doi:10.2527/jas2014-8364

Donoghue, K. A., et al. 2011. Onset of puberty and early-life reproduction in Angus females divergently selected for post-weaning residual feed intake. **Animal Production Science** 51:183–190.

Herd, R. M., et al., 2003. Reducing the cost of beef production through genetic improvement in residual feed intake: Opportunity and challenges to application. **J. Anim. Sci.** **81(E. Suppl. 1): E9-E17.**

Koch, R. M., et al. 1963. Efficiency of feed use in beef cattle. **Journal of Animal Science** 22:486-494.

Lancaster, et al. 2009a. Characterization of feed efficiency traits and relationships with feeding behavior and ultrasound carcass traits in growing bulls. **Journal of Animal Science** 87:1528-1539.

Lancaster, P. A. et al. 2009b. Phenotypic and genetic relationships of residual feed intake with performance and ultrasound carcass traits in Brangus heifers. **Journal of Animal Science** 87:3887-3896.

Mao, F. et al. 2013. Phenotypic and genetic relationships of feed efficiency with growth performance, ultrasound, and carcass merit traits in Angus and Charolais steers. **Journal of Animal Science** 91: 2067-2076.

Nkrumah, J.D. et al. 2004. Different measures of energetic efficiency and their phenotypic relationship with growth, feed intake, and ultrasound and carcass merit in hybrid cattle. **Journal of Animal Science** 82:2451-2459.

Nkrumah, J. D. et al. 2007. Genetic and phenotypic relationships of feed intake and measures of efficiency with growth and carcass merit of beef cattle. **Journal of Animal Science** 85:2711-2720.

Schenkel, F. S; Miller. S. P. and Wilton J. W. 2004. Genetic parameters and breed differences for feed efficiency, growth, and body composition traits of young beef bulls. **Canadian Journal of Animal Science** 84:177-185.

Wang, Z., et al., 2006. Test duration for growth, feed intake, and feed efficiency in beef cattle using the GrowSafe System. **J. Anim. Sci.** **84:2289-2298.** doi:10.2527/jas.2005-715

Weaber, R. 2012. National program for the genetic improvement of feed efficiency in beef cattle. *In Proc. 38th International Committee for Animal Recording Session, Cork, Ireland, February.*

Tabela 1: Composição da dieta

Ingrediente	Quantidade (g kg⁻¹ de dieta)
Silagem de Milho	718
Milho Moído	163
Soja Integral	108
Núcleo Mineral ¹	11
Total	1000

¹Níveis de garantia do núcleo mineral: Cálcio 16 - 20%, Fósforo 8%, Sódio 9%, Magnésio 1,2%, Enxofre 1,2%, Cobre 750mg/kg, Ferro 5000mg/kg, Iodo 60mg/kg, Manganês 1400mg/kg, Selênio 25mg/kg, Cobalto 50mg/kg, Zinco 6000mg/kg, Flúor 800mg/kg.

Tabela 2: Níveis nutricionais da dieta total

Nutriente	Quantidade
NDT (g kg ⁻¹ de dieta)	754
Energia metabolizável (Mcal/kgMS)	2,91
Proteína Bruta (g kg ⁻¹ de dieta)	150

NDT: Nutrientes Digestíveis Totais

Tabela 3: Características de crescimento dos touros Devon e Brangus durante o período de teste.

	Brangus			Devon		
	0 dias	35 dias	70 dias	0 dias	35 dias	70 dias
Peso (kg)	365,4 ± 49,6	437,3 ± 50,3	507,5 ± 51,8***	384,4 ± 69,0	434,5 ± 67,4	487,0 ± 69,5***
GMD (kg/dia)	2,0 ± 0,8	2,1 ± 0,4	2,0 ± 0,2	2,3 ± 0,9	1,4 ± 0,5	1,5 ± 0,2
AOL (cm ²)	64,4 ± 7,9	76,1 ± 7,8	90,7 ± 8,0***	60,9 ± 10,7	69,6 ± 11,5	78,1 ± 12,3
EGS (cm)	3,3 ± 0,6	4,3 ± 0,6	5,5 ± 1,6	3,5 ± 0,8	4,2 ± 1,6	5,6 ± 1,9
EGP (cm)	3,7 ± 0,8	6,2 ± 1,6	8,5 ± 1,8	4,1 ± 1,7	5,9 ± 2,4	8,0 ± 2,7

Os dados apresentados estão representados em média ± DP. *** representa $p < 0,0001$ comparando os 70 dias de teste com o tempo inicial (0 dias).

Tabela 4: Correlação de Pearson entre os 42 e 70 dias de teste nas características aferidas nos touros Brangus e Devon.

	Brangus			Devon		
	42 dias	70 dias	r	42 dias	70 dias	r
CMS (kgMS/dia)	10,40	10,13	0,96	9,75	9,57	0,98
Peso (kg)	454,30	509,87	0,99	452,55	501,78	0,99
GMD (kg/dia)	1,25	1,54	0,91	1,08	1,35	0,85
PMMT (kg)	93,61	98,32	0,99	94,21	97,64	1,00

Os dados apresentados estão representados em média.

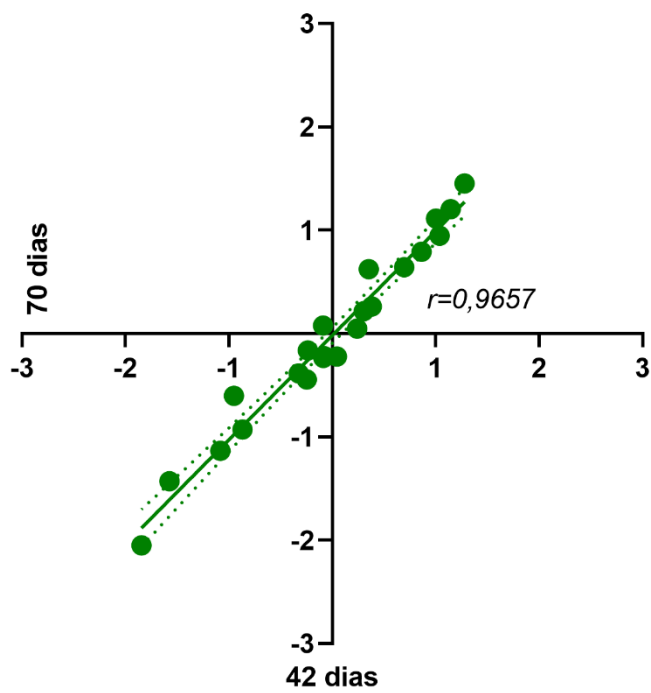


Figura 1. Correlação de Pearson do CAR em animais Brangus entre os 42 e 70 dias de observação.

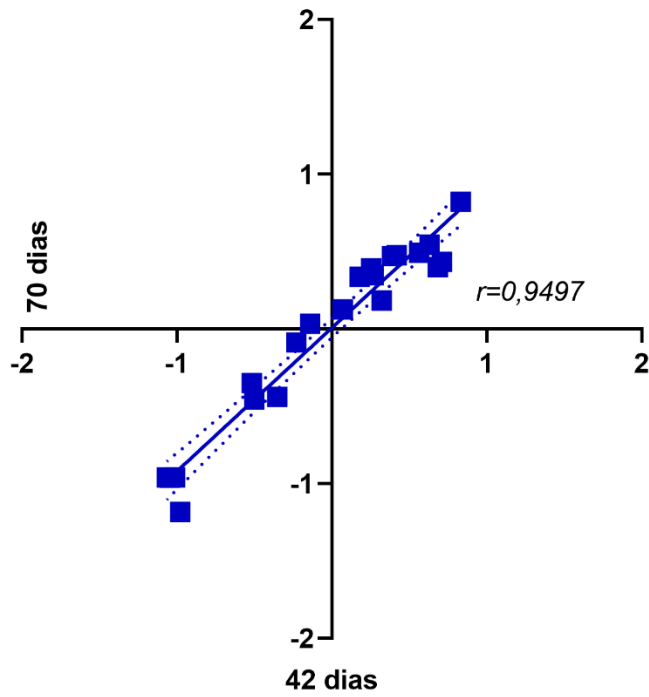


Figura 2. Correlação de Pearson do CAR em animais Devon entre os 42 e 70 dias de observação.

REFERÊNCIAS

- ARCHER, J. A. *et al.* Optimum postweaning test for measurement of growth rate, feed intake, and feed efficiency in British breed cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 75, n. 8, p. 2024-2032, 1997.
- ARCHER, J. A. *et al.* Potential for selection to improve efficiency of feed use in beef cattle: a review. **Australian Journal of Agricultural Research**, East Melbourne, v. 50, n. 2, p. 147-161, 1999.
- ARCHER, J. A.; BERGH, L. Duration of performance tests for growth rate, feed intake, and feed efficiency in four biological types of cattle. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 65, n. 1/2, p. 47-55, 2000.
- ARCHER, J. A. *et al.* Genetic variation in feed intake and efficiency of mature beef cows and relationships with postweaning measurements. *In: WORLD CONGRESS ON GENETICS APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION*, 7., 2002, Montpellier, France. **Proceedings of the [...]**. Montpellier: Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), 2002. p. 221-224.
- ARCHER, Z. A. *et al.* Effects of nutritional status and gonadal steroids on expression of appetite-regulatory genes in the hypothalamic arcuate nucleus of sheep. **The Journal of Endocrinology**, Bristol, v. 182, n. 3, p. 409-419, 2004.
- ARTHUR, P. F. *et al.* Net feed conversion efficiency and its relationship with other traits in beef cattle. **Proceedings of the Australian Society of Animal Production**, Melbourne, v. 21, p. 107-110, 1996.
- ARTHUR, P. F. *et al.* Relationship between post-weaning growth, net feed intake and cow performance. *In: CONFERENCE OF THE ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF ANIMAL BREEDING AND GENETICS*, 13., 1999, Mandurah. **Proceeding of the [...]**. Armidale: AAABG, 1999. p. 484-487.
- ARTHUR, P. F. *et al.* Genetic and phenotypic variance and covariance components for feed intake, feed efficiency, and other postweaning traits in Angus cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 79, p. 2805-2811, 2001a.
- ARTHUR, P. F. *et al.* Genetic and phenotypic relationships among different measures of growth and feed efficiency in young Charolais bulls. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 68, p. 131-139, 2001b.
- ARTHUR, P. F.; HERD, R. M.; ARCHER, J. A. Should measures of body composition be included in the model for residual feed intake in beef cattle? *In: CONFERENCE OF THE ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF ANIMAL BREEDING AND GENETICS*, 15., 2003, Melbourne. **Proceeding of the [...]**. Armidale: AAABG, 2003. p. 306-309.

- ARTHUR, P. F. *et al.* Maternal productivity of Angus cows divergently selected for post-weaning residual feed intake. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, East Melbourne, v. 45, n. 8, p. 985-993, 2005.
- BASARAB, J. A. *et al.* Residual feed intake and body composition in young growing cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 83, n. 2, p. 189-204, 2003.
- BASARAB, J. A. *et al.* Relationships between progeny residual feed intake and dam productivity traits. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 87, n. 4, p. 489-502, 2007.
- BASARAB, J. A. *et al.* Residual feed intake adjusted for backfat thickness and feeding frequency is independent of fertility in beef heifers. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 91, n. 4, p. 573-584, 2011.
- BERRY, D. P.; CROWLEY, J. J. Residual intake and body weight gain: a new measure of efficiency in growing cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 90, n. 1, p. 109-115, 2012.
- BIF - BEEF IMPROVEMENT FEDERATION. **Guidelines for uniform beef improvement programs**. 9th ed. rev. [Manhattan]: BEEF, 2018. Disponível em: <http://beefimprovement.org/library-2/bif-guidelines>. Acesso em: 6 abr. 2022.
- BROWN, E. G. **Sources of biological variation in residual feed intake in growing and finishing steers**. 2005. Thesis (D.Sc.) - Texas A&M University, College Station, 2005.
- BRUINSMA, J. (ed.). **World agriculture: towards 2015/2030: an FAO perspective**. Rome: FAO; London: Earthscan, UK, 2003. Disponível em: www.fao.org/DOCREP/005/Y4252E/Y4252E00.HTML. Acesso em: 17 mar. 2022.
- BYERLY, D. J. *et al.* Pregnancy rates of breed heifers bred either on pubertal or third estrus. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 65, n. 3, p. 645-650, 1987.
- CREWS, D. H. Jr. Genetics of efficient feed utilization and national cattle evaluation: a review. **Genetics and Molecular Research: GMR**, Ribeirão Preto, v. 4, n. 2, p. 152-165, 2005.
- CROWLEY, J. J. *et al.* Phenotypic and genetic parameters for different measures of feed efficiency in different breeds of Irish performance-tested beef bulls. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 88, n. 3, p. 885-894, 2010.
- CROWLEY, J. J. *et al.* Genetic relationships between feed efficiency in growing males and beef cow performance. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 89, n. 11, p. 3372-3381, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/jas.2011-3835>. Acesso em: 14 abr. 2022.
- CULBERTSON, M. M. *et al.* Optimum measurement period for evaluating feed intake traits in beef cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 93, n. 5, p. 2482-

2487, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8364>. Acesso em: 15 abr. 2022.

DICKERSON, G. E. Animal size and efficiency: basic concepts. **Animal Science**, Cambridge, v. 27, n. 3, p. 367-379, 1978.

DONOGHUE, K. A. *et al.* Onset of puberty and early-life reproduction in Angus females divergently selected for post-weaning residual feed intake. **Animal Production Science**, Melbourne, v. 51, n. 3, p. 183-190, 2011.

GILMOUR, A. R. *et al.* **ASREML reference manual**. Harpenden, UK: IACR-Rothamsted Experimental Station, 2000.

HERD, R. M. *et al.* Selection for residual feed intake improves feed conversion ratio on pasture. **Animal Production Australia**, Armidale, v. 24, p. 85-88, 2002.

HERD, R. M.; ARCHER, J. A.; ARTHUR, P. F. Reducing the cost of beef production through genetic improvement in residual feed intake: opportunity and challenges to application. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 81, n. 13, p. E9-E17, 2003. Supl. 1.

KOCH, R. M. *et al.* Efficiency of feed use in beef cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 22, n. 2, p. 486-494, 1963.

LANCASTER, P. A. *et al.* Characterization of feed efficiency traits and relationships with feeding behavior and ultrasound carcass traits in growing bulls. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 87, n. 4, p. 1528-1539, 2009a.

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, 2009b.

MACNEIL, M. D.; LOPEZ-VILLALOBOS, N.; NORTHCUTT, S. L. A prototype national cattle evaluation for feed intake and efficiency of Angus cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 89, n. 12, p. 3917-3923, 2011.

MADDOCK, T. D.; HENRY, D. D.; LAMB, G. C. The economic impact of feed efficiency in beef cattle. (AN217). Gainesville: University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences, 2015. Disponível em: <http://edis.ifas.ufl.edu/an217>. Acesso em: 28 mar. 2022.

MAHLER, L. E. **Recommended duration for evaluating feed intake and validating the residual feed intake model in Brangus heifers**. 2016. Thesis (Master's) - Faculty of Auburn University, Auburn, 2016.

MAO, F. *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**, Champaign, v. 91, n. 5, p. 2067-2076, 2013.

NIELSEN, M. K. *et al.* Review: Life-cycle, total industry genetic improvement of feed efficiency in beef cattle: blueprint for Beef Improvement Federation. **The Professional Animal Scientist**, Champaign, v. 29, n. 6, p. 559-565, 2013.

NKRUMAH, J. D. *et al.* Different measures of energetic efficiency and their phenotypic relationship with growth, feed intake, and ultrasound and carcass merit in hybrid cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 82, n. 8, p. 2451-2459, 2004.

NKRUMAH, J. D. *et al.* Genetic and phenotypic relationships of feed intake and measures of efficiency with growth and carcass merit of beef cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 85, n. 10, p. 2711-2720, 2007.

RANDEL, R. D.; WELSH, T. H. Jr. Joint alpharma-beef species symposium: interactions of feed efficiency with beef heifer reproductive development. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 91, n. 3, p. 1323-1328, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5679>. Acesso em: 28 mar. 2022.

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**, Champaign, v. 89, n. 11, p. 3452-3459, 2011.

SCHENKEL, F. S; MILLER, S. P.; WILTON, J. W. Genetic parameters and breed differences for feed efficiency, growth, and body composition traits of young beef bulls. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 84, n. 2, p. 177-185, 2004.

SHAFFER, K. S. *et al.* Residual feed intake, body composition, and fertility in yearling beef heifers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 89, n. 4, p. 1028-1034, 2011.

STORY, C. E. *et al.* Age of calf at weaning of spring-calving beef cows and the effect on cow and calf performance and production economics. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 78, n. 6, p. 1403-1413, 2000.

WANG, Z. *et al.* Test duration for growth, feed intake, and feed efficiency in beef cattle using the GrowSafe System. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 84, n. 9, p. 2289-2298, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/jas.2005-715>. Acesso em: 4 abr. 2022.

WEABER, R. National program for the genetic improvement of feed efficiency in beef cattle. *In*: INTERNATIONAL COMMITTEE FOR ANIMAL RECORDING SESSION, 38., 2012, Cork, Ireland. **Proceedings of the [...]**. Utrecht: ICAR, 2012. p. 114-118.