

Eficiência alimentar em bovino de corte

Egleu Diomedes Marinho Mendes¹, Mariana Magalhães Campos²

Resumo - A identificação de animais mais eficientes no aproveitamento do alimento consumido é uma das alternativas para vencer desafios, tais como aumento dos custos de produção, crescente percepção dos consumidores quanto à segurança alimentar, bem-estar animal e impactos ambientais da agropecuária. Como os gastos com alimentação representam o principal custo da atividade pecuária, diferenças entre os animais na conversão da dieta consumida em carne são de grande relevância. Animais que utilizam os alimentos de forma mais eficiente necessitam consumir menos para atingir o mesmo nível de produção e, dessa forma, são mais lucrativos e produzem mais alimentos por unidade de área. Além disso, o aumento da eficiência alimentar proporciona menor desperdício e excreção de nutrientes, com implicações ambientais positivas.

Palavras-chave: Gado de corte. Nutrição animal. Consumo alimentar residual. Sistema de produção.

Feed efficiency in beef cattle

Abstract - The identification of more efficient animals related to feed consumption is an alternative to overcome challenges such as higher production costs, increasing consumer awareness on food safety, animal welfare and environmental impacts of agriculture. As feed is the main input cost in livestock production systems, differences between animals feed intake converted into muscle (meat) are of great relevance. Efficient animals consume less feed to achieve same level of production, thus they are more profitable and produce more output (food) as units per hectare or acre. Besides that, increasing feed efficiency go towards to less nutrient waste, with positive environmental implications.

Keywords: Beef cattle feed. Animal nutrition. Livestock production system. Residual feed intake.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a pecuária nacional vem lidando com novos desafios, além do histórico aumento dos custos de produção, como: crescente percepção dos consumidores quanto à segurança alimentar, bem-estar animal e impactos ambientais da agropecuária. Nesse cenário de margens de lucro reduzidas, só existe um caminho a ser seguido: aumento da eficiência dos sistemas de produção.

Uma alternativa para vencer esses desafios é a identificação de animais mais eficientes no aproveitamento do alimento consumido. Como os gastos com alimentação representam o principal custo da atividade pecuária, diferenças entre os animais na conversão da dieta consumida em

carne são de grande relevância. Animais que utilizam os alimentos de forma mais eficiente necessitam consumir menos para atingir o mesmo nível de produção e, dessa forma, são mais lucrativos e produzem mais alimento por unidade de área. Além disso, o aumento da eficiência alimentar proporciona menor desperdício e excreção de nutrientes, com implicações ambientais positivas.

Inovar é uma palavra integrante do dicionário da bovinocultura de corte. A busca por inovações ampliou os conhecimentos na produção animal e trouxe resultados que hoje colocam a pecuária nacional como um dos principais exportadores de carne no cenário mundial. Buscando sempre melhorar as características da produção

animal, como peso aos 120 e 365 dias, ganho de peso, habilidade materna, perímetro escrotal, precocidade sexual e acabamento de carcaça, deve-se estar sempre atento a novidades que possam ser integradas ao sistema para reduzir os custos e elevar a produção, sem que isso prejudique todo o trabalho realizado ao longo dos anos.

O termo eficiência pode ser compreendido como a razão entre o que foi produzido (o que saiu; do inglês output) e o que foi necessário para produzir (o que entra no sistema; do inglês input). De forma simplificada, ao se avaliar o consumo individual pelo animal (input), com alguma característica de interesse (ex.: ganho de peso; output), está-se avaliando a eficiência alimentar.

¹Médico-veterinário, M.Sc., Analista EMBRAPA Pantanal, Corumbá, MS, egleu.mendes@embrapa.br

²Médica-veterinária, D.Sc., Pesq. EMBRAPA Gado de Leite, Juiz de Fora, MG, mariana.campos@embrapa.br

O principal motivo para avaliar a eficiência alimentar está relacionado com os custos de produção, uma vez que o alimento consumido pelos animais é uma das variáveis de maior peso no custo de produção em bovino de corte (ARTHUR et al., 2001). Uma melhora de 5% em eficiência alimentar possui impacto econômico quatro vezes maior, se comparado ao ganho de peso diário (GPD) (GIBB; MCALLISTER, 1999). Junto a isso, adicionam-se: elevada variabilidade no consumo pelos animais, o que demonstra potencial para seleção de animais com menor consumo (ARTHUR et al., 2001; BASARAB et al., 2007); crescimento populacional estimado para 9 bilhões de pessoas em 2050 (FAO, 2006); aumento da demanda por alimentos de origem animal, sendo estimada a necessidade de um aumento na produção de

carne de 229 milhões de toneladas (1999-2001) para 465 milhões de toneladas em 2050 (FAO, 2006); e diminuição de terras disponíveis para a produção animal, o que torna necessário maior eficiência no sistema para produzir uma quantidade igual de output em área mais reduzida.

EFICIÊNCIA ALIMENTAR

Diversas características de eficiência alimentar podem ser listadas, como: conversão alimentar (CA); eficiência alimentar bruta (EAB); eficiência parcial de crescimento; taxa de crescimento relativo; taxa de Kleiber; consumo alimentar residual (CAR) – residual feed intake (RFI) ou net feed intake (NFI); ganho de peso residual (GPR) – residual gain (RG) e consumo e ganho residual (CGR) (GRION, 2012). Dessas características, as mais utilizadas são a CA (consumo:ganho;

quilo de consumo por quilo de ganho) e seu inverso, a EAB (ganho:consumo).

O maior uso da CA e EAB é pela facilidade em obter informações de consumo e de ganho de peso. Medir consumo individual é um processo que demanda infraestrutura específica e mão de obra para coletar todos os dados (alimento fornecido e sobras). Sistemas de baias individuais (Fig. 1) e coleta de dados manual ficam restritos pela infraestrutura do sistema e mão de obra disponível. Mesmo em sistemas mais automatizados, como o sistema Calan Gate (Fig. 1), ainda há dificuldades em obter dados em larga escala. Com o avanço tecnológico, foram desenvolvidos sistemas automatizados capazes de ampliar a escala de avaliação de consumo individual. Como exemplo, citam-se os sistemas Intergado e o GrowSafe (Fig. 1).



Figura 1 - Sistemas de mensuração de consumo individual em bovinos

NOTA: A - Sistema GrowSafe; B - Sistema de Baia Individual; C - Sistema Calan Gate; D - Sistema Intergado.

A CA é uma medida grosseira de eficiência, pois não considera a partição com consumo entre manutenção e requerimentos de crescimento (CARSTENS; TEDESCHI, 2006). Apesar de ser uma característica com herdabilidade moderada, a CA apresenta correlação fenotípica e genética negativa, com características de crescimento, como o peso na idade adulta (CREWS JUNIOR, 2005). Como o aumento de peso na idade adulta está associado ao aumento de exigência de manutenção, a seleção de animais de melhor conversão aumenta o tamanho na idade adulta, elevando o consumo de alimentos (NKRUMAH et al., 2004; CREWS JUNIOR, 2005).

Um aspecto relacionado com a CA é o fato de ser uma característica com base em uma razão entre duas outras, o que pode dificultar no processo de seleção, pela variação entre os traços que a compõem (ARTHUR; HERD, 2012).

Na busca por uma característica que tenha os critérios de seleção para animais com menor consumo de alimento, sem alterar o desempenho, várias referências são encontradas nos estudos de Koch et al. (1963). Nesses estudos, avaliou-se a eficiência alimentar em função do consumo e do ganho, considerando o peso metabólico dos animais dentro de um período experimental. Resumidamente, o consumo seria comparado entre aquele esperado e o observado. Animais que consomem menos que o estimado são considerados mais eficientes, se comparados a animais que consomem mais que o estimado. Essa característica foi denominada CAR.

CONSUMO ALIMENTAR RESIDUAL

O CAR é a diferença entre o consumo esperado e o observado. Animais com o CAR negativo (consumo abaixo do esperado) são considerados mais eficientes, quando comparados com animais CAR positivo (consumo acima do esperado). O modelo básico para o CAR envolve regressão linear da ingestão de matéria seca (MS) no GPD e peso metabólico

animal (CREWS JUNIOR, 2005). Uma das principais vantagens na utilização do CAR como característica de seleção é por este ser independente fenotipicamente e geneticamente do nível de produção (CARSTENS; TEDESCHI, 2006). Em consequência, a seleção para aprimorar o CAR no rebanho não irá aumentar o peso e o tamanho do animal adulto e, com isso, não elevará o requerimento de manutenção dos animais. Com relação à herdabilidade (capacidade de a característica ser repassada às progênes), o CAR é considerado como herdabilidade moderada, que varia entre 0,16 e 0,52. Esses dados são obtidos a partir de 14 experimentos diferentes, todos com alimento à vontade para os animais, com uma variação da localidade (país) e das raças (ARTHUR; HERD, 2012). Na avaliação do CAR, é comum utilizar sua divisão em três categorias: CAR baixo (animais eficientes; média do CAR menos 0,5 desvio padrão (DP)), CAR médio (média do CAR \pm DP) e CAR alto (animais ineficientes; média do CAR mais 0,5 DP).

Consumo alimentar residual e correlação genética

Em um número limitado de experimentos, foi avaliada a correlação genética do CAR com outras características de interesse econômico. Herd e Arthur (2012) compilaram dados de 11 trabalhos com informações da correlação genética do CAR. Foram considerados apenas experimentos em que se avaliaram 600 ou mais animais (apenas dois estudos com 2 mil animais avaliados). Dos 11 estudos avaliados, identificaram-se que:

- o CAR possui correlação genética moderada a alta (0,30 a 0,70) com CA (ao melhorar o CAR a CA também melhora);
- o CAR possui correlação genética próxima a zero (considerando-se o erro padrão) com GPD e peso metabólico;
- o CAR não possui correlação ou possui pouca correlação com área de

olho de lombo para animais abaixo de 2 anos de idade;

- o CAR possui correlação genética baixa com gordura subcutânea, quando medida em animais jovens.

Consumo alimentar residual e espessura de gordura

Em estudos que avaliaram o CAR, já foi evidenciada a baixa correlação entre CAR e a espessura de gordura (EG), sendo que o animal com baixo CAR apresenta-se com menor deposição de gordura subcutânea, se comparado ao alto CAR. Apesar de bastante discutidas as implicações dessa correlação, foi proposta a inserção de medida de gordura animal no modelo para calcular o CAR como forma de se precaver possíveis consequências negativas dessa correlação (GRION, 2012; HILL; AHOLA, 2012).

Estudos que avaliam a correlação genética do CAR ajustada para gordura, muitas vezes divergem nos resultados. Schenkel, Miller e Wilton (2004), ao avaliarem 2.284 dados de eficiência alimentar oriundos de touros puros das raças Charolês, Limousin, Simmental, Hereford, Angus e Blonde d'Aquitaine, apresentaram correlação genética entre EG e CAR, e EG e CAR ajustada para espessura de gordura (CAR-EG), diminuindo de 0,16 para -0,01, respectivamente. Porém, Mao et al. (2013), ao avaliarem um total de 968 animais, 551 Angus e 417 Charolês, apresentaram correlação genética entre EG e CAR, e EG e CAR-EG, variando apenas de 0,33 para 0,19, respectivamente. Em trabalho realizado no Instituto de Zootecnia, Sertãozinho, SP, ao avaliar um total de 955 dados de consumo de animais da raça Nelore, oriundos de 21 testes de desempenho, Ceacero (2015) apresentou correlação genética entre EG e CAR, e EG e CAR-EG, que variou de 0,30 para 0,31, respectivamente.

Esses dados demonstram a importância em estar acompanhando as informações de acabamento dos animais, junto a outras características de interesse econômico, em

teste de eficiência alimentar, para evitar que qualquer correlação negativa cause um efeito desfavorável nas progênies ao longo dos anos.

Variação entre raça e consumo alimentar residual

A maioria dos estudos para avaliar o CAR é realizada dentro de uma mesma raça, porém já foi comprovada a existência de variabilidade na eficiência alimentar entre raças, indicando que existe fator genético no controle da eficiência alimentar. Três estudos relevantes consideraram a diferença entre raças, avaliando entre Charolês, Limousin, Blonde d' Aquitaine, Simmental, Angus, Hereford, Shorthorn, Brahman, Belmont Red e Santa Gertrudes. Para as quatro raças comuns nos três estudos (Charolês, Limousin, Angus e Hereford), Charolês e Limousin foram as que se apresentaram mais eficientes que a Angus, e a raça Hereford ficou como mediana (ARTHUR; HERD, 2012).

Apenas um estudo com número considerável de animais, totalizando 581, com variação entre 100% Angus e 100% Brahman, avaliou o efeito da heterose em características de eficiência alimentar. Nesse experimento, ficou demonstrado que a eficiência medida como CAR melhorou (tendência para baixo CAR) com o aumento da porcentagem de Brahman na raça, e que heterose não foi um fator significativo para CAR e CA (ARTHUR; HERD, 2012).

Antes de uma característica ser utilizada como critério de seleção no rebanho, esta deve ser avaliada detalhadamente e verificados seus efeitos diretos e indiretos no rebanho. Na busca por informações relacionadas com a eficiência alimentar, foram realizados, na Austrália, dois projetos pioneiros denominados Trangie Net Feed Conversion Efficiency Project (Trangie) e Cooperative Research Centre for Beef Genetic Technologies (Beef CRC)³, dividido em Beef CRC I (1993 a 2000) e Beef

CRC II (1997 e 2006) (ARTHUR; HERD, 2012; HERD; ARTHUR, 2012; ARTHUR; PRYCE; HERD, 2014).

Aprendizado a partir de projeto australiano

Serão relatados projetos realizados pelos australianos, ou seja, Projeto Trangie e Beef CRC. A importância desses Projetos está no fato de terem sido separados animais selecionados especificamente para CAR e avaliadas informações relacionadas com característica de várias gerações, incluindo desde aquelas de interesse produtivo até avaliação de mercado e aceitação do uso dessa característica pelos produtores.

Para o Projeto Trangie, foram avaliados 1.783 animais das raças Angus, Hereford e Shorthorn, nascidos entre 1993 e 1999, e divididos em nove grupos distintos. Vale ressaltar que, nesse Projeto, os animais foram selecionados apenas para CAR. Até 1998, os animais foram divididos apenas pelos valores obtidos diretamente do CAR do teste na desmama. Após, foram divididos conforme valores da diferença esperada na progênie (DEP) do CAR para desmama. Animais avaliados como mais eficientes (baixo CAR) foram separados

daqueles menos eficientes (alto CAR) e formados dois grupos, de linhagens distintas de eficiência alimentar (Gráfico 1). As linhagens de seleção para eficiência alimentar foram mantidas até 2011 (HERD; ARTHUR, 2012).

A cada ano, machos (entre três e seis animais), com menores/maiores valores para CAR, foram alocados nas linhagens de baixo e alto CAR, respectivamente. As fêmeas avaliadas na desmama foram restritas a apenas duas oportunidades de prenhez. Caso não ficassem prenhas na segunda tentativa, as vacas eram descartadas. Depois do segundo parto, a fêmea era separada e realizado novo teste de eficiência alimentar. Aproximadamente 751 fêmeas, dos 1.783 animais iniciais (grupos 1 a 9), foram testadas como vacas (HERD; ARTHUR, 2012).

Os resultados iniciais demonstraram variação genética para consumo, CA, CAR, em animais avaliados na desmama, com herdabilidade moderada (0,39; 0,29; 0,39, respectivamente), e redução do consumo com pouca ou nenhuma alteração no GPD, para animais mais eficientes para CAR na desmama. Para as vacas, também foram observadas variabilidade genética

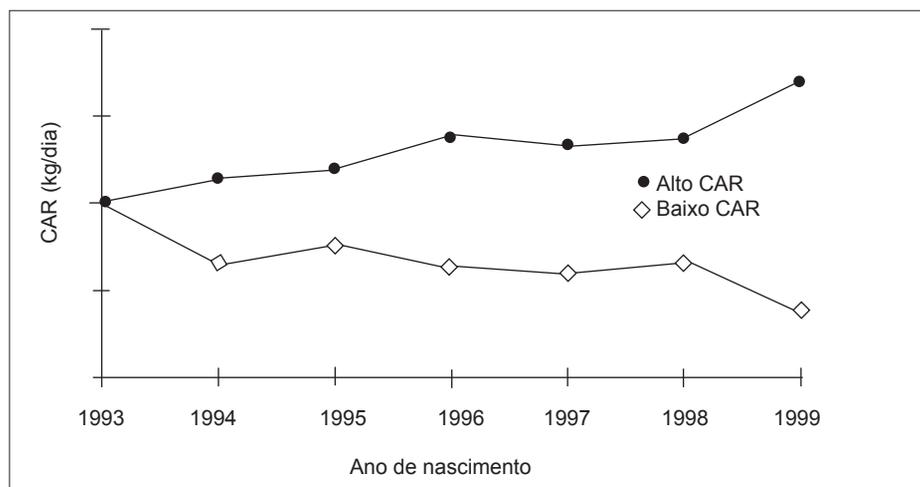


Gráfico 1 - Tendência na estimativa da diferença esperada na progênie (DEP) para consumo alimentar residual (CAR) na desmama para linhagens de baixo e alto CAR
 FONTE: Arthur, Herd e Basarab (2010).

³Informações sobre o Projeto Beef CRC podem ser encontradas em www.beefcrc.com

para CA e eficiência alimentar, com herdabilidade moderada, e que a seleção para a melhoria da eficiência alimentar do animal jovem também terá efeito na vaca adulta (HERD; ARTHUR, 2012).

Depois de cinco anos (duas gerações), animais selecionados para baixo CAR resultaram em progênie que consumia menos, com um pouco menos de gordura, sem afetar o desempenho do animal, comparado àqueles de alto CAR. Animais de baixo CAR consumiram 40% menos de alimento por dia (período de 10 dias), emitiram 25% menos metano por dia, 14% menos metano por quilo de alimento consumido, porém sem diferença na emissão de metano, quando considerado metano por CA consumido. Em modelos de emissão de metano, a seleção para animais de baixo CAR (lembrando que no experimento tais animais foram selecionados apenas para CAR) poderia reduzir a emissão de metano anual do animal em 16% (HERD; ARTHUR, 2012).

Nos referidos estudos também foram feitas avaliações de animais em condições de pastejo. Salienta-se que há dificuldade em obter dados precisos de consumo individual, quando os animais estão no pasto. Mesmo com o uso de indicadores de consumo ou fazendo-se estimativas de entrada e saída dos animais da área pastejada, ainda assim a precisão é muito baixa, se comparada a estudos realizados em confinamento com equipamentos automáticos ou baias individuais. As fêmeas avaliadas para CAR na desmama foram subsequentemente avaliadas aos três anos em condições de pasto de média qualidade (sem restrição), aos quatro anos, em pasto com restrição de alimento e, posteriormente, para CAR em confinamento com alimento à vontade. Identificou-se que fêmeas superiores para eficiência alimentar medida como CAR na desmama também eram superiores quando adultas em pasto de média qualidade e quando confinadas

com alimento à vontade, porém isso não foi evidenciado em animais sob pastejo restrito (HERD; ARTHUR, 2012).

Em resumo, no Projeto Trangie foram avaliados 1.783 animais e, no Projeto Beef CRC I, 1.481 animais, incluindo machos e fêmeas de diversas raças e de diversas linhagens de bovinos. Para avaliação precisa de eficiência alimentar medida como CAR, os animais foram selecionados em grupos, linhagens, divergentes para CAR (Gráfico 1), eficientes e ineficientes, avaliando-se as diferenças entre cada grupo para uma variedade de características de interesse econômico. Dentre os diversos resultados obtidos durante esses Projetos, pode-se resumir que foi encontrada grande variabilidade genética para CAR (demonstrando potencial para seleção), que a herdabilidade para CAR é média, variando entre 0,30

e 0,40, e que o CAR pode ser considerado como característica praticamente neutra, com pouco ou nenhum efeito em outros atributos produtivos, quando utilizado como critério de seleção (ARTHUR; ARCHER; HERD, 2004; HERD; ARTHUR, 2012) (Quadro 1).

O Programa de Melhoramento Genético Australiano, denominado Breedplan⁴, utiliza o CAR como característica de eficiência alimentar. Desde 2002, para a raça Angus, os australianos utilizam dados de testes de eficiência alimentar para obter DEP para CAR e incorporar os dados ao Breedplan.

Outro projeto que adicionou informações relevantes para a compreensão do uso do CAR como característica de seleção foi realizado por Basarab et al. (2007), em Alberta, Canadá, entre 2003 e

QUADRO 1 - Síntese de resultados em avaliações de intervalos de gerações para CAR

Característica	Grupo CAR baixo	Grupo CAR alto	⁽¹⁾ Valor de P
⁽²⁾ Crescimento e eficiência alimentar			
^(A) Peso ao nascimento (kg)	41,9	41,2	-
^(A) GPD até a desmama (kg)	1,04	1,06	-
^(B) Peso à desmama (kg)	232	228	-
^(B) Peso ao ano (kg)	384	380	-
^(B) GPD (kg/d)	1,44	1,40	-
^(B) Espessura da gordura (P8 mm)	6,70	8,80	P<0.05
^(B) Consumo diário (kg/d)	9,40	10,6	P<0.05
^(B) Consumo (kg): Ganho (kg)	6,60	7,80	P<0.05
^(B) CAR (kg/d)	-0,54	0,71	P<0.05
⁽³⁾ Produção materna			
^(B) Taxa de parição (%)	89,2	88,3	-
^(B) Taxa de desmame (%)	81,5	80,2	-
^(B) Produção de leite (kg/d)	7,50	7,80	-
^(A) Intervalo de partos (d)	384	381	-
⁽⁴⁾ Implicações ambientais			
^(B) Produção de metano (g/d)	142,3	190,2	P<0.05

FONTE: Dados básicos: (A) Basarab et al. (2007) e (B) Arthur, Herd e Basarab (2010).

NOTA: CAR - Consumo alimentar residual; P - Probabilidade de significância; GPD - Ganho de peso diário.

- (1) Valor de P menor que 0.05 significa que os grupos apresentaram diferença estatística.
- (2) Dados obtidos com 2 gerações de seleção. (3) Dados obtidos com 1.5 geração de seleção.
- (4) Dados obtidos com 2.4 gerações de seleção.

⁴Informações mais detalhadas sobre esse Programa podem ser encontradas em <http://breedplan.une.edu.au/>

2006. Nesse Projeto, foram avaliados 222 bezerras e suas respectivas mães, para estudar a relação entre CAR da progênie e dados produtivos das respectivas mães (Quadro 1).

Relação do consumo alimentar residual com outras características

Termografia por infravermelho

Montanholi et al. (2008b) sugeriram que animais mais eficientes (CAR negativo) tinham menor temperatura de superfície corporal que animais menos eficientes (CAR positivo).

Montanholi et al. (2008a) propuseram a utilização da termografia por infravermelho, em diferentes pontos corporais, para prever a produção de calor, produção de metano e detecção de eventos fisiológicos, como incremento calórico na alimentação em vacas em lactação. Utilizaram quatro vacas, e imagens termográficas foram tiradas dos flancos esquerdo e direito, garupa esquerda e membros anteriores (face traseira). Foram encontradas correlações de moderadas a altas (0,58 a 0,88) para temperaturas da superfície da pele e produção de calor. As temperaturas observadas nos membros anteriores tiveram alta correlação com a produção de calor (esquerda: 0,83; direita: 0,88; $P < 0,001$). A diferença de temperatura entre os flancos esquerdo e direito apresentou correlação de 0,53 com a produção de metano. Além disso, nas imagens termográficas, foram obtidas temperaturas que correlacionaram em 0,77 com o metano, quando os dados dos cinco pontos de avaliação nos tempos subsequentes para cada uma das duas refeições foram investigados ($P < 0,01$).

Montanholi et al. (2009) relataram que a extremidade dos membros posteriores e a temperatura da ganacha foram os locais do corpo mais indicados para avaliar indiretamente a eficiência alimentar em bovinos.

Colyn (2013) determinou o CAR de 61 novilhas de corte em ensaio de 113 dias após o desaleitamento. Os valores

de CAR variaram de -1,55 a 2,19 kg/d (desvio padrão = 0,78). As novilhas foram classificadas em baixo, médio ou alto CAR. As médias das temperaturas das imagens termográficas de diversos pontos foram feitas de quatro momentos. Os animais baixo e médio CAR tiveram ingestão de MS de 7,5% e 6,5%, respectivamente, menores quando comparados aos animais classificados como de alto CAR. Novilhas de baixo e de médio CAR obtiveram temperaturas médias de ganacha de 19,88 °C e 20,40 °C ($P > 0,05$), respectivamente, porém menores do que novilhas de alto CAR (21,29 °C; $P < 0,0001$). As médias das temperaturas do globo ocular tenderam a crescer nos grupos de baixo a alto CAR ($P = 0,0747$). Houve correlação de $r = 0,46$ ($P < 0,001$) da temperatura da ganacha com CAR. Esse autor concluiu que a mensuração de perda de calor irradiado na área da ganacha poderia prever a eficiência alimentar em novilhas, mas sugeriu a realização de mais ensaios para confirmar a correlação.

Em outro estudo, Montanholi et al. (2010) observaram que as temperaturas de ganacha foram positivamente correlacionadas com o CAR, ingestão de MS, ganho médio diário (GMD) e CA em bovinos de corte. Avaliaram potenciais preditores de eficiência alimentar pela termografia da área do globo ocular, ganacha, focinho e costelas, em 91 novilhas durante dois períodos de ensaio (ano 1 = 46; ano 2 = 45), com duração de 140 dias. Novilhas foram classificadas como de baixo, médio e alto CAR. Os animais de baixo CAR obtiveram menor ingestão de MS e temperaturas de ganacha e focinho mais baixas que animais menos eficientes (alto CAR) (28,1 °C x 29,2 °C e 30,0 °C x 31,2 °C, respectivamente), indicando melhor eficiência energética nos animais de CAR baixo.

Produção de calor e frequência cardíaca

Por definição, o somatório de produção de calor, associado a metabolismo basal, incremento calórico, respostas termorre-

gulatórias e atividades físicas, além da energia retida como produto (por exemplo: leite ou tecido), será igual ao consumo de energia metabolizável total. A energia retida pelos animais em crescimento é utilizada para a formação de proteína ou ganho de gordura, porém, há necessidade de mais energia para depositar gordura, quando comparada à formação de tecido muscular.

Paddock (2010) estudou 16 novilhas Brangus selecionadas para alto e baixo CAR e observou maior frequência cardíaca nos animais de alto CAR (97,7 vs 89,6 bat/min.) em detrimento dos animais de baixo CAR. Além disso, as novilhas com alto CAR consumiram mais oxigênio por batimento cardíaco (mL/bat) e, como resultado, o gasto energético (produção de calor) foi 17,4% maior nos animais de alto CAR, se comparado aos animais de baixo CAR.

Diversos autores demonstraram que animais eficientes produzem menos calor em relação aos ineficientes (BASARAB et al., 2003; ALMEIDA, 2005; NKRUMAH et al., 2006). A produção de calor foi 21% menor para animais de baixo CAR, quando comparados a animais de alto CAR, e 10% menor para animais de médio CAR, se comparados a animais de alto CAR, mostrando que um dos fatores que pode explicar a melhor eficiência dos animais baixo CAR é o menor gasto energético com produção de calor (NKRUMAH et al., 2006). A menor produção de calor em animais eficientes está relacionada com a menor exigência de manutenção, e isso pode ser consequência de mecanismos biológicos, como baixa produção de metano durante a digestão, baixa atividade física e menor resposta ao estresse (NKRUMAH et al., 2006).

Hafla et al. (2013) não estudaram a relação do CAR com a produção de calor, mas observaram como a classificação de CAR pode afetar algumas características de desempenho em 48 novilhas Bonsmara no meio da gestação, dentre estas a frequência cardíaca. Observaram que a frequên-

cia cardíaca das fêmeas classificadas em baixo CAR foi 7% menor em relação às fêmeas classificadas em alto CAR (66,1 vs 71,1 bat/min).

Parâmetros sanguíneos

Hormônios são componentes influenciados diretamente por fatores nutricionais, pois regulam a partição de nutrientes (insulina e glucagon) e determinam a taxa de metabolismo basal ou de deposição (hormônios do eixo somatotrópico, hormônio de crescimento, IGF-1 e hormônios da tireoide) (BELLMANN et al., 2004).

A leptina é reguladora do metabolismo energético e exerce influência no comportamento de consumo de alimentos e reprodução dos animais, sendo correlacionada com a massa de gordura corporal, pelas alterações que provoca na ingestão de alimentos (ZIEBA; AMSTALDEN; WILLIAMS, 2005). A insulina influencia a regulação da concentração de glicose circulante e é diretamente envolvida com o crescimento celular e o desenvolvimento dos animais (FOULADI-NASHTA; CAMPBELL, 2006). Atua também no hipotálamo, e influencia no mecanismo da fome-saciedade, e em tecidos corporais, como fígado, músculos, glândulas mamárias e ovário (CUNNINGHAM, 2004; VOLP; REZENDE; ALFENAS, 2008). O IGF-1 é liberado pelo fígado e tecidos periféricos. Atua na concentração de glicose e no metabolismo de aminoácidos e proteínas, com alteração nos processos de síntese e degradação, influenciando no crescimento, composição de carcaça e eficiência alimentar (LOBLEY, 1992).

Kelly et al. (2010) analisaram o plasma sanguíneo de novilhas cruzadas Limousin e Holandês e encontraram correlações significativas entre CAR e as concentrações de ácidos graxos não esterificados ($r = -0,21$) e β -hidroxibutirato ($r = 0,37$). Esses autores também encontraram correlações significativas entre CA e as concentrações sanguíneas de leptina ($r = 0,48$), ácidos graxos não esterificados ($r = -0,32$), β -hidroxibutirato ($r = 0,25$) e relação gli-

cose: insulina ($r = -0,23$). Concluíram que os processos biológicos do animal podem ser responsáveis pela variação da eficiência alimentar em gado de corte.

Em estudo realizado por Santos (2014), com o objetivo de avaliar associações entre desempenho, eficiência alimentar e parâmetros sanguíneos e CAR em bovinos Nelore ($n=118$), em fase de crescimento durante 84 dias, os animais foram classificados em baixo ($CAR < -0,128$ kg/d; $n=40$); médio (CAR entre $-0,128$ e $0,135$ kg/d; $n=42$) e alto CAR ($CAR > 0,135$ kg/d; $n=36$). Animais com baixo CAR consumiram, em média, 0,670 kg/d de MS a menos que animais com alto CAR. Dos parâmetros sanguíneos analisados, a ureia, IGF-I e a insulina apresentaram diferenças entre os grupos. Foram detectadas concentrações sanguíneas menores de ureia (5,58 vs 5,91 mmol/L) e maiores de insulina (4,45 vs 3,70 μ IU/mL) e IGF-I (433 vs 399 ng/mL), para, respectivamente, animais com baixo CAR, quando comparados a animais com alto CAR.

Em outro estudo foi encontrado que animais mais eficientes tiveram menores níveis sanguíneos de ureia, cortisol e insulina, e maiores níveis de triglicerídeos. Tais respostas possivelmente estão relacionadas com a reciclagem dos tecidos, em mudanças na composição corporal e a uma resposta ao estresse (RICHARDSON; HERD, 2004).

Comportamento animal

Richardson et al. (2004), ao estudarem padrões de alimentação de novilhos selecionados para CAR, demonstraram que animais menos eficientes permanecem 5% mais tempo se alimentando.

Nkrumah et al. (2006), ao trabalharem com 27 novilhos cruzados Angus x Charolês, concluíram que os animais menos eficientes ficaram mais tempo se alimentando a cada visita ao cocho e apresentaram número de visitas superior, quando comparados com novilhos baixo CAR, e menor digestibilidade da MS e da proteína bruta (PB). Esses autores en-

contraram correlações significativas entre tempo de alimentação e digestibilidade da MS (0,55), digestibilidade da PB (0,47) e energia digestiva (0,55). Já os animais mais eficientes tiveram menor gasto de energia em relação à taxa de alimentação e à de mastigação.

Nkrumah et al. (2007) avaliaram o CAR de novilhos da raça Angus e Charolês, e verificaram que os mais eficientes permaneceram menos tempo se alimentando, visitaram menos vezes o cocho e apresentaram menor gasto energético com essas atividades, quando comparados a animais menos eficientes.

Egawa (2012), ao estudar fêmeas da raça Nelore, não detectou diferença significativa entre as classes de CAR para tempo de ruminação. Entretanto, quando comparou o tempo de ruminação destinado para cada quilograma de MS ingerida, observou que os animais mais eficientes (baixo CAR) gastaram maior tempo ruminando, aproveitando os alimentos de forma mais eficiente.

Fontes de variação metabólica da eficiência alimentar

São necessários mais estudos para compreender os fatores metabólicos e a participação de cada um nas diferenças de eficiência alimentar entre os animais. Esse entendimento facilitará a opção por melhores estratégias de manejo dos animais e maior avanço nos Programas de Melhoramento Genético.

De acordo com estudo conduzido por Herd, Oddy e Richardson (2004), cerca de 10%, 9%, 5% e 10% da variação observada no CAR em gado de corte pode vir da digestão, do incremento calórico, da composição corporal e de diferenças de atividade física, respectivamente. Dessa forma, 66% da variação do CAR em bovinos de corte permanecem sem resposta. Porém, segundo esses autores, essa variação pode estar relacionada com a energia requerida por processos biológicos, como bombeamento de pró-

tons na mitocôndria, turnover proteico e bombeamento de íons.

Animais com baixo CAR demonstram melhor digestibilidade, com menor perda de energia fecal. De acordo com Nkrumah et al. (2006), animais com baixo CAR apresentaram menores perdas de energia fecal e metano, porém as perdas energéticas via urina foram semelhantes aos animais com CAR positivo, o que correspondeu a uma diferença de 6,3% em energia metabolizável entre animais com baixo e alto CAR. Hegarty et al. (2007) também encontraram diferença em perda de energia em metano, quando animais foram alimentados *ad libitum*. Paddock (2010) concluiu que a maior variância do CAR é, provavelmente, relacionada com gastos de energia entre os animais.

Estudos com gado de corte em crescimento têm demonstrado que 4% a 9% da variação no CAR está associada a diferenças na composição da carcaça (LANCASTER et al., 2009). Correlações genéticas positivas de baixas a moderadas entre as características de carcaça e gordura mostram que bezerras com baixo CAR têm composição corporal ligeiramente mais magra. Esse fato poderia causar preocupação de que a seleção para CAR poderia levar a um rebanho mais magro, porém, ajustando o modelo para algumas características de carcaça, pesquisadores poderiam explicar essas diferenças na composição corporal. A variação no CAR pode ser explicada pelas diferenças nas taxas de crescimento e composição corporal, sugerindo que a maior parte da variação da energia metabolizável total entre bovinos em crescimento com fenótipos de baixo e alto CAR é, provavelmente, associada a diferenças entre produção de calor entre animais.

De acordo com Brosh (2007), os principais fatores que afetam a partição de energia nos ruminantes são: nível de consumo alimentar, condições ambientais, gasto energético ou produção de calor, nível de produção de leite ou ganho em tecido corporal e variabilidade individual

entre animais com respeito à eficiência de utilização de energia para manutenção e produção. Ao calcular o equilíbrio energético do animal, a produção de calor apresenta-se como um componente substancial do balanço de energia dos ruminantes.

GANHO DE PESO RESIDUAL E CONSUMO E GANHO RESIDUAL

Outras duas características também podem ser utilizadas na avaliação da eficiência alimentar. São elas: GPR, proposta por Koch et al. (1963), e CGR, proposta por Berry e Crowley (2012).

O GPR considera a mesma equação do CAR, porém, para ganho de peso. O GPR é a diferença entre o GPD observado e o estimado com base na ingestão da MS e do peso vivo (PV) metabólico, ou seja, a característica avalia o ganho de peso para cada quilograma de ingestão de alimento, considerando o mesmo peso corporal. Sua unidade é quilo de ganho por dia, e, por isso, valores mais altos de GPR são desejáveis (GRION, 2012). Dessa forma, podem-se identificar animais eficientes com elevada taxa de crescimento sem correlação com peso corporal.

O CGR é a soma do CAR com o GPR, sendo que o CAR é somado com -1 , por causa dos valores negativos, ou seja, o CGR é a combinação entre o resíduo de equação de ajuste da ingestão de MS referente ao CAR, com o resíduo da equação de ajuste do GPD do GPR. A equação do CGR é similar a um índice com pesos iguais para CAR e GPR. Valores mais altos de CGR são desejáveis (GRION, 2012).

EFICIÊNCIA ALIMENTAR NO BRASIL

A variação da metodologia em testes de eficiência alimentar é um grande limitador para obter dados consistentes sobre eficiência alimentar. Junto a isso, foram inseridos os custos elevados para obter dados de consumo individual, restringindo o número total de animais avaliados e,

consequentemente, os dados finais apresentaram elevada variabilidade. Dessa forma, as comparações dos resultados entre testes de eficiência alimentar apresentam diferenças muitas vezes difíceis de ser explicadas, dificultando tomadas de decisões sobre a característica avaliada (ARTHUR; HERD, 2012; HERD; ARTHUR, 2012). Ao considerar a situação brasileira, onde a maioria do rebanho de corte é de animal *Bos indicus*, os dados de eficiência alimentar ainda são mais desafiadores, uma vez que a maioria dos resultados de projetos e experimentos foi realizada em animais *B. taurus*, isso sem levar em consideração os cruzamentos e o efeito da heterose.

Em agosto de 2012, foi realizada reunião técnica na Associação Brasileira de Criadores de Zebu (ABCZ), com a presença de pesquisadores, produtores e nomes de referência relacionados com a eficiência alimentar, para estabelecer as diretrizes-bases de mensuração de consumo individual de alimento. A partir dessa reunião discutiu-se como seriam padronizados os testes de eficiência alimentar no Brasil, finalizando, em julho de 2013, com o documento denominado: Procedimentos para a Mensuração de Consumo Individual de Alimento em Bovinos de Corte (MENDES; GOMES, 2013). Nesse documento, foram estabelecidos padrões básicos para realizar teste de eficiência alimentar, considerando-se pontos como, dimensionamento das instalações, idade para teste, uniformização dos grupos de manejo, adaptação à dieta e instalações, amostragem da dieta para análise, período de teste, processo de pesagem dos animais e registro de eventos durante o teste. A importância em padronizar o teste de eficiência alimentar visa diminuir correções estatísticas e erros que possam aparecer ao comparar resultados de diferentes testes.

Algumas das considerações listadas em Mendes e Gomes (2013) foram que:

- a) a idade mínima para teste de eficiência alimentar é de 8 meses (animal após a desmama), sugerido para testes, visando à obtenção das DEPs;

- b) deve-se utilizar animais entre 8 e 27 meses de idade ao início da prova e, ao término, a idade não deve exceder 30 meses;
- c) o grupo avaliado deve possuir uniformização (grupo de manejo similar) padrão, com variação máxima da idade entre os animais de 90 dias;
- d) animais de grupos de manejos diferentes devem ser submetidos a um período de uniformização prévio, visando à padronização;
- e) o período mínimo para teste é de 70 dias (não se considerando período de adaptação à dieta e ao sistema de mensuração);
- f) o mínimo de dias de consumo utilizáveis, dias totais de teste menos dias perdidos por problemas gerais, como chuva forte, queda de energia

em sistema automático e problemas no fornecimento de alimento é de 50 dias;

- g) as pesagens dos animais podem ser múltiplas, a cada 14 dias, a partir do início do teste, inicial e final, dois dias consecutivos no início do teste e dois dias ao final do teste.

Atualmente, no Brasil, têm-se vários centros de teste para eficiência alimentar espalhados pelo País (Quadro 2), muitos em instituições públicas – Instituto de Zootecnia (IZ); Universidade Federal de Uberlândia (UFU); Embrapa Pecuária Sudeste; Embrapa Gado de Corte; Centro de Desempenho Animal da Embrapa Arroz e Feijão; Faculdades Associadas de Uberaba (Fazu) e outros centros de testes em instituições privadas – Rancho da Matinha; CRV Lagoa; Grama Senepol

e Nelore Qualitas. Importante ressaltar que, para obter DEPs para eficiência alimentar, deve-se ter um número de animais avaliados relativamente elevado. Como o processo de obtenção dos dados é relativamente caro, é importante ressaltar que os dados obtidos nos centros de testes para eficiência alimentar devem estar padronizados, para futuras comparações. Acredita-se que o número total de bovinos avaliados para eficiência alimentar até o momento (2016) seja próximo a 7 mil, incluindo bovinos de corte e de leite e animais avaliados em sistemas automatizados e baias individuais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No processo de evolução do rebanho por meio do melhoramento genético, várias características de interesse econômico

QUADRO 2 - Centro de Teste para Eficiência Alimentar no Brasil

Organização	Sistema	Localização	Raça	Animais testados
^(A) CRV Lagoa	GrowSafe	Sertãozinho, SP	Angus, Guzerá e Senepol	737
^(B) Embrapa Gado de Corte	Intergado	Campo Grande, MS	Nelore	112
^(B) Embrapa Gado de Leite	Intergado	Juiz de Fora, MG	Girolando	-
^(C) Embrapa Pecuária Sudeste	GrowSafe	São Carlos, SP	Mestiços, Nelore e Canchim	330
^(B) Faculdades Associadas de Uberaba (Fazu)	Intergado	Uberaba, MG	Nelore, Guzerá, Sindi, Tabapuã e Brahman	232
^(B) Gramma Senepol	Intergado	Pirajuí, SP	Senepol	863
^(D) Instituto de Zootecnia (IZ)	Intergado	Sertãozinho, SP	Nelore, Senepol e Bonsmara	1.317
	GrowSafe			
^{(1)(E)} Nelore Qualitas/ Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” (Unesp)	Intergado	Botucatu, SP	-	-
^{(2)(E)} Nelore Qualitas/ Universidade Federal de Goiás (UFG)	Baia Individual	Goiânia, GO	Nelore	720
^(B) Paranoá Senepol	Intergado	Três Lagoas, MS	Senepol	31
^(C) Rancho da Matinha/ABS Pecplan	Growsafe	Uberaba, MG	Nelore	1.796
^(C) Universidade de Uberlândia (UFU)	GrowSafe	Uberlândia, MG	Nelore e Senepol	238
	Intergado	Igarapé, MG	Nelore	78
^(B) Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)				
^{(1)(B)} Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)	Intergado	Porto Alegre, RS	-	-
Total de animais avaliados	-	-	-	6.454

NOTA: Os dados foram obtidos de pessoas vinculadas ao centro de teste de eficiência no mês de junho de 2016, conforme: (A) Cesar Franzon - CRV Lagoa; (B) Marcelo Neves Ribas - Intergado; (C) Eglen D. M. Mendes; (D) Maria Eugênia Zerlotti Mercadante - IZ; (E) Emerson Guimarães - Nelore Qualitas.

(1) Recém-instalado. (2) Centro desativado.

são avaliadas criteriosamente, para que o processo seja satisfatório e sustentável ao longo das gerações. A decisão para utilizar um animal mais eficiente para CAR ou para outra característica deve ser feita com um critério preestabelecido, muitas vezes utilizando-se um índice onde várias características de interesse econômico sejam contempladas (ARTHUR; HERD, 2012).

É praticamente impossível que um animal tenha todas as qualidades desejadas dentro de um processo de seleção criterioso, e que a utilização de um índice com pesos diferenciados para determinadas características poderá facilitar o processo de identificação de animais superiores.

Ao avaliar o crescimento populacional mundial e considerando que o Brasil é um país que tem como base a produção primária, sendo um dos maiores exportadores de carne do mundo, é de esperar investimentos em processos para melhorar a pecuária nacional. Deve-se enfatizar que o objetivo final, ao selecionar animais mais eficientes, seja por menor consumo de alimento, por elevado ganho de peso, seja, ainda, por outra inovação tecnológica, é aumentar a produção de alimento (carne) com custos cada vez mais desafiadores para o produtor rural. A seleção para animais mais eficientes ainda terá um longo caminho a seguir, pois o processo de seleção é demorado e, muitas vezes, com elevados investimentos iniciais. Porém, como se verifica na evolução do rebanho nacional, por meio do melhoramento genético que ocorreu nas últimas décadas, pode-se perceber que o futuro para um animal mais eficiente está no uso de características devidamente estudadas e avaliadas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. de. **Consumo e eficiência alimentar de bovinos em crescimento**. 2005. 181f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- ARTHUR, P.F.; ARCHER, J.A.; HERD, R.M. Feed intake and efficiency in beef cattle: overview of recent Australian research and challenges for the future. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 44, n. 5, p. 361-369, Jan. 2004.
- ARTHUR, P.F.; HERD, R.M. Genetic improvement of feed efficiency. In: HILL, R.A. (Ed.). **Feed efficiency in the beef industry**. Ames: J. Wiley, 2012. cap. 7, p.93-103.
- ARTHUR, P.F.; HERD, R.M.; BASARAB, J.A. The role of cattle genetically efficient in feed utilization in an Australian carbon trading environment. **Australian Farm Business Management Network**, v.7, n.2, p.5-14, 2010.
- ARTHUR, P.F.; PRYCE, J.E.; HERD, R.M. Lessons learnt from 25 years of feed efficiency research in Australia. In: WORLD CONGRESS OF GENETICS APPLIED TO LIVESTOCK PRODUCTION, 10., Vancouver, 2014. **Proceedings...** Champaign: ASAS, 2014. Disponível em: <https://asas.org/docs/default-source/wcgalp-proceedings-oral/110_paper_10178_manuscript_1215_0.pdf?sfvrsn=2>. Acesso em: 24 maio 2016.
- 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**, v. 79, n.11, p. 2805-2811, Nov. 2001.
- BASARAB, J.A. et al. Relationships between progeny residual feed intake and dam productivity traits. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 87, n. 4, p. 489-502, Dec. 2007.
- BASARAB, J.A. et al. Residual feed intake and body composition in young growing cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 83, n. 2, p. 189-204, June 2003.
- BELLMANN, O. et al. Beef versus dairy cattle: a comparison of metabolically relevant hormones, enzymes, and metabolites. **Livestock Production Science**, v. 89, n. 1, p.41-54, Aug. 2004.
- BERRY, D.P.; CROWLEY, J.J. Residual intake and body weight gain: a new measure of efficiency in growing cattle. **Journal of Animal Science**, v. 90, n. 1, p. 109-115, Jan. 2012.
- BROSH, A. Heart rate measurements as an index of energy expenditure and energy balance in ruminants: a review. **Journal of Animal Science**, v. 85, n.5, p. 1213-1227, May 2007.
- CARSTENS, G.E.; TEDESCHI, L.O. Defining feed efficiency in beef cattle. In: ANNUAL MEETING AND ANNUAL RESEARCH SYMPOSIUM, 38., 2006, Choctaw, Mississippi. **Proceedings...** [S.l.]: BEEF Improvement Federation, 2006. p. 12-21.
- CEACERO, T.M. **Correlação entre características de eficiência alimentar, de crescimento e de carcaça em bovinos nelore**. 2015. 48f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal Sustentável) – Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Instituto de Zootecnia, Nova Odessa, 2015.
- COLYN, J.J. **Relationship of radiated heat loss measured by infrared thermography to residual feed intake in beef heifers**. 2013. 111p. Thesis (Master of Science in Animal Science) – Faculty of Graduate Studies and Research, University of Alberta, Edmonton, 2013.
- CREWS JUNIOR, D.H.D. Genetics of efficient feed utilization and national cattle evaluation: a review. **Genetics and Molecular Research**, v. 4, n. 2, p.152-165, June 2005.
- CUNNINGHAM, J.G. **Tratado de fisiologia veterinária**. 3.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. 590p.
- EGAWA, L.T. **Desempenho, comportamento ingestivo e reatividade de fêmeas Nelore classificadas pelo consumo alimentar residual**. 2012. 87f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal Sustentável) – Instituto de Zootecnia, Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Nova Odessa, 2012.
- FAO. **FAO statistical databases**. Roma, 2006. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 6 mar. 2012.
- FOULADI-NASHTA, A.A.; CAMPBELL, K.H.S. Dissociation of oocyte nuclear and cytoplasmic maturation by the addition of insulin in cultured bovine antral follicles. **Reproduction**, v. 131, n. 3, p. 449-460, Mar. 2006.
- GIBB, D.J.; MCALLISTER, T.A. The impact of feed intake and feeding behaviour of cattle on feedlot and feedbunk management. In: WESTERN NUTRITION CONFERENCE

- ON MARKETING TO THE 21ST CENTURY, 20., 1999. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1999. p. 101-116.
- GRION, A.L. **Parâmetros genéticos de medidas indicadoras de eficiência alimentar de bovinos de corte**. 2012. 92f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal Sustentável) – Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Instituto de Zootecnia, Nova Odessa, 2012.
- HAFLA, A.N. et al. Relationships between postweaning residual feed intake in heifers and forage use, body composition, feeding behavior, physical activity, and heart rate of pregnant beef females. **Journal of Animal Science**, v. 91, n. 11, p. 5353-5365, Nov. 2013.
- HEGARTY, R.S. et al. Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. **Journal of Animal Science**, v. 85, n. 6, p. 1479-1486, June 2007.
- HERD, R.M.; ARTHUR, P.F. Lessons from the Australian experience. In: HILL, R.A. (Ed.). **Feed efficiency in the beef industry**. Ames: J. Wiley, 2012. cap. 5, p.61-73.
- HERD, R.M.; ODDY, V.H.; RICHARDSON, C. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle: 1 - review of potential mechanisms. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 44, n. 5, p.423-430, 2004.
- HILL, R.A.; AHOLA, J.K. Feed efficiency interactions with other traits: growth and product quality. In: HILL, R.A. (Ed.). **Feed efficiency in the beef industry**. Ames: J. Wiley, 2012. cap. 10, p. 145-158.
- KELLY, A.K. et al. Effect of divergence in residual feed intake on feeding behavior, blood metabolic variables, and body composition traits in growing beef heifers. **Journal of Animal Science**, v. 88, n. 1, p.109-123, Jan. 2010.
- KOCH, R.M. et al. Efficiency of feed use in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.22, n. 2, p. 486-494, May 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**, v. 87, n. 4, p. 1528-1539, Apr. 2009.
- LOBLEY, G.E. Control of the metabolic fate of amino acids in ruminants: a review. **Journal of Animal Science**, n. 70, n. 10, p. 3264-3275, Oct. 1992.
- MAO, F. et al. Phenotypic and genetic relationships of feed efficiency with growth performance, ultrasound, and carcass merit traits in Angus and Charolês steers. **Journal of Animal Science**, v.91, n.5, p.2067-2076, May 2013.
- MENDES, E.D.M.; GOMES, R. da C. **Procedimentos para mensuração de consumo individual de alimento em bovinos de corte**. Uberaba: ABCZ, 2013. 28p.
- MONTANHOLI, Y.R. et al. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bos taurus*). **Journal of Thermal Biology**, v. 33, n. 8, p. 468-475, Dec. 2008a.
- MONTANHOLI, Y.R. et al. Assessing feed efficiency in beef steers through feeding behavior, infrared thermography and glucocorticoids. **Animal**, v. 4, n. 5, p.692-701, May 2010.
- MONTANHOLI, Y.R. et al. On the determination of residual feed intake and associations of infrared thermography with efficiency and ultrasound traits in beef bulls. **Livestock Science**, v. 125, n. 1, p. 22-30, Oct. 2009.
- MONTANHOLI, Y.R. et al. Relationships between residual feed intake and infrared thermography and glucocorticoid levels in feedlot steers from three different sire breeds. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 88, n. 1, p. 179, Mar. 2008b. Abstracts, Canadian Nutrition Congress, 2007.
- NKRUMAH, J.D. et al. Different measures of energetic efficiency and their phenotypic relationships with growth, feed intake, and ultrasound and carcass merit in hybrid cattle. **Journal of Animal Science**, v. 82, n. 8, p. 2451-2459, Aug. 2004.
- NKRUMAH, J.D. et al. Genetic and phenotypic relationships of feed intake and measures of feed efficiency with growth and carcass merit of beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 85, n. 10, p. 2711-2720, Oct. 2007.
- NKRUMAH, J.D. et al. Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behaviour with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.84, n. 1, p. 145-153, Jan. 2006.
- PADDOCK, Z.D. **Energy expenditure in growing heifers with divergent residual feed intake phenotypes effects and interactions of metaphylactic treatment and temperament on receiving steers**. 2010. 51p. Thesis (Master of Science) – Texas A&M University, College Station.
- RICHARDSON, E.C.; HERD, R.M. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle: 2 - synthesis of results following divergent selection. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 44, n. 5, p.431-440, Jan. 2004.
- RICHARDSON, E.C. et al. Metabolic differences in Angus steers divergently selected for residual feed intake. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 44, n. 5, p.441-452, Jan. 2004.
- SANTOS, G.P. dos. **Eficiência alimentar, parâmetros sanguíneos e comportamento ingestivo de machos e fêmeas da raça Nelore**. 2014. 66f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal Sustentável) – Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Instituto de Zootecnia, Nova Odessa, 2014.
- SCHENKEL, F.S.; MILLER, S.P.; WILTON, J.W. Genetic parameters and breed differences for feed efficiency, growth, and body composition traits of young beefs bulls. **Canadian Journal of Animal Science**, v.84, n.2, p.177-185, June 2004.
- VOLP, A.C.P.; REZENDE, F.A.C.; ALFENAS, R.C.G. Insulina: mecanismo de ação e a homeostase metabólica. **Revista Brasileira Nutrição Clínica**, v. 23, n.2, p.158-164, 2008.
- ZIEBA, D.A.; AMSTALDEN, M.; WILLIAMS, G.L. Regulatory roles of leptin in reproduction and metabolism: a comparative review. **Domestic Animal Endocrinology**, Amsterdam, v. 29, n. 1, p. 166-185, July 2005.