



Tecnologias de precisão na avaliação da eficiência alimentar

bigstockphoto.com

Mariana Magalhães Campos¹ - CRMV-MG 8402, Juliana Mergh Leão² - CRMV-MG 15859
Juliana Aparecida Mello Lima³, Fernanda Samarini Machado⁴ - CRMV-MG 11138

¹ Doutor Zootecnia UFMG - Embrapa Gado de leite

² Doutoranda Zootecnia UFMG - EV.UFMG

³ Doutor Zootecnia UFMG - Pós doc Embrapa/UFSJ

⁴ Doutor Zootecnia UFMG - Embrapa Gado de leite

Introdução

Nos últimos anos, além do histórico aumento dos custos de produção, a pecuária leiteira nacional vem lidando com novos desafios, como a 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: o aumento da eficiência dos sistemas de produção de leite.

Uma alternativa para vencer esse desafio é a identificação de animais mais eficientes no aproveitamento do alimento consumido. Como os gastos com alimentação represen-

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.

tam o principal custo da atividade pecuária, diferenças entre os animais na conversão da dieta consumida em leite e 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.

Na bovinocultura brasileira, a seleção para eficiência alimentar vem sendo aborda-

da somente nos últimos anos, e ainda está restrita à pecuária de corte. Esse atraso no melhoramento genético para eficiência alimentar pode ser atribuído principalmente à dificuldade de mensurar o consumo alimentar, particularmente em sistemas a pasto. No processo de busca pelo aumento da eficiência produtiva e ambiental, a aplicação do conceito de pecuária de precisão vem se tornando cada vez mais frequente, e pode ser definido como: o uso de tecnologias para mensurar, de forma individualizada, indicadores produtivos, fisiológicos e comportamentais dos animais. Dessa maneira, a utilização de tecnologias de precisão para avaliação de eficiência alimentar surge como oportunidade para o estudo da variabilidade individual e para acelerar o processo de seleção e melhoramento genético dos animais.

Algumas tecnologias de precisão já vêm sendo utilizadas em fazendas leiteiras, como o registro diário da produção de leite e do peso vivo, o uso de detectores de estro e monitores da condutividade do leite. Outras tecnologias de precisão também têm sido propostas para mensurar consumo de alimentos e água, comportamento alimentar, batimento cardíaco, frequência respiratória, temperatura da superfície corporal, pH ruminal, atividade e posição dos animais, entre outras.

Métodos de Avaliação de Eficiência Alimentar

Várias medidas foram propostas ao longo dos anos para avaliar a eficiência alimentar, tais como: conversão alimentar e

eficiência alimentar bruta. Em bovinos existe variação genética tanto na conversão alimentar como na eficiência alimentar bruta. Contudo, esses índices possuem limitações como características de seleção, por estarem correlacionados com ganho de peso e peso à idade adulta. A utilização dessas medidas compromete a eficiência produtiva de sistemas a pasto, por haver aumento no tamanho adulto dos animais e, por conseguinte, das suas exigências de manutenção, além de comprometer a eficiência reprodutiva em condições nutricionais limitantes.

A eficiência de conversão alimentar não considera a mobilização de reservas corporais e, conseqüentemente, os animais que perdem condição corporal para produção de leite podem parecer mais eficientes.

Assim, a seleção baseada na eficiência de conversão alimentar pode favorecer vacas com balanço energético negativo acentuado no início da lactação.

Um índice alternativo para medir eficiência alimentar é o Consumo Alimentar Residual (CAR), definido como a diferença entre o consumo real e a quantidade estimada de alimento que um animal deveria ingerir,

com base no seu peso vivo médio e no ganho de peso ou produção de leite. A estimativa da ingestão de matéria seca esperada pode ser predita a partir dos dados de peso e de produção, utilizando-se as normas e padrões de alimentação (por exemplo, NRC, 2001), ou por regressão, usando-se dados de alimentação real do ensaio, dentro de um grupo contemporâneo. Dessa forma, animais mais eficientes têm um CAR negativo (consumo observado menor que o esperado), e os menos eficientes

Um índice alternativo para medir eficiência alimentar é o Consumo Alimentar Residual (CAR), definido como a diferença entre o consumo real e a quantidade estimada de alimento que um animal deveria ingerir, com base no seu peso vivo médio e no ganho de peso ou produção de leite.

têm um CAR positivo (consumo observado maior que o estimado).

Coleman *et al.* (2010) estudaram definições alternativas de eficiência alimentar e mostraram que as definições convencionais, tais como a eficiência de conversão alimentar ou consumo alimentar residual podem ser medidas inadequadas de eficiência para vacas em lactação. O parâmetro alternativo proposto pelos autores foi a produção de sólidos residuais, que permitiu a identificação de animais que produzem maiores quantidades de sólidos de leite em relação ao consumo de alimento, sem mobilização excessiva de tecido corporal, e com melhores índices de fertilidade. Obtiveram também resultados que evidenciam a existência de diferenças entre as linhagens de Holandês-Friesian e entre genótipos de um mesmo grupo racial, assim as melhorias na eficiência de alimentação podem ser realizadas se a definição apropriada de eficiência alimentar é incorporada em programas de melhoramento.

Os principais índices e forma de cálculo de eficiência alimentar são:

- Conversão Alimentar: relação entre o consumo médio em kg de matéria seca dividido pelo ganho de peso diário (GPD) em kg (animais em crescimento e touros) ou pela produção diária de leite e pela produção diária de sólidos no leite (fêmeas em lactação).
- Eficiência Leiteira: relação entre a produção de leite não corrigida para gordura com a ingestão de matéria seca em kg.
- Eficiência alimentar ou eficiência de ingestão de matéria seca: relação entre a produção de leite corrigido para gordura e ingestão de matéria seca (kg).
- Desempenho em relação ao peso vivo: Ganho de peso (kg) ou produção de leite e produção de sólidos no leite (kg) dividido pelo peso vivo (kg).

- Consumo de matéria seca total em relação ao peso vivo: consumo de matéria seca (kg) dividido pelo peso vivo (kg).
- Consumo alimentar residual (CAR): calculado pela diferença entre o consumo médio de MS mensurado ao longo do experimento e o consumo estimado (kg/dia de MS). O consumo estimado será calculado pela equação de regressão do tamanho metabólico e do ganho de peso (GMD, kg/dia) sobre o consumo.
- Ganho residual (GR) ou Ganho de Peso Residual: diferença da estimativa do GPD baseado na ingestão de MS e no peso vivo com o GPD observado em kg.
- Consumo e Ganho Residual (CGR): associa o CAR e o GR; é a soma do CAR multiplicado por -1 e o GR; $CGR = CAR \times (-1) + GR$.
- Produção Residual de Leite: diferença da estimativa da produção de leite baseada na ingestão de MS e no peso vivo com a produção de leite observada em kg.
- Produção Residual de Sólidos no Leite: diferença da estimativa da produção de sólidos no leite baseada na ingestão de MS e no peso vivo com a produção de sólidos observada em kg.

Evidentemente, é importante assegurar que os animais metabolicamente mais eficientes não apresentem características indesejáveis de reprodução e saúde. Berry e Crowley (2013) estimaram que a herdabilidade para CAR esteja entre 0,13 e 0,82, portanto existe variação genética suficiente para permitir respostas positivas à seleção genética.

No entanto, um dos maiores desafios para avaliação da eficiência alimentar como parâmetro de seleção a ser utilizada em rebanhos comerciais, independentemente do índice e forma de cálculo utilizado, seria a mensuração individual do consumo de matéria seca.

Tecnologias de precisão na mensuração do consumo

Em ruminantes o consumo pode ser estimado por métodos diretos e indiretos. Em sistemas de alimentação em confinamento, a mensuração do consumo é feita de forma direta; medem-se os consumos dos alimentos e das eventuais sobras. Por outro lado, nos sistemas de alimentação a pasto, a determinação desse consumo é complexa, devido ao procedimento de mensuração em si, ou do método de estimativa a empregar e do grande número de variáveis envolvidas. Apesar da sua complexidade, a mensuração do consumo a pasto pode ser feita de forma direta, pela diferença do peso ou altura da pastagem antes e após o pastejo, ou indireta, através da técnica dos indicadores, cálculos matemáticos, mudança no peso do animal, entre outros.

Independentemente da adoção de métodos diretos ou indiretos, a realização da mensuração do consumo, em grande número de animais e de forma confiável, ainda representa uma etapa muito laboriosa. Nos últimos anos, outra forma de mensuração do consumo tem ganhado destaque. Trata-se do uso de dispositivos eletrônicos de monitoramento de consumo baseado na tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID). Várias empresas comerciais apresentam dispositivos eletrônicos que utilizam esse sistema para a mensuração do consumo e comportamento alimentar, entre elas: Growsafe, no Canadá; CalanGattes, nos Estados Unidos da América; BioControl e Insentec, na

Trata-se do uso de dispositivos eletrônicos de monitoramento de consumo baseado na tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID) ... para a mensuração do consumo e comportamento alimentar.

Europa; e Intergado, no Brasil.

Basicamente, esses sistemas funcionam da seguinte forma: quando o animal, devidamente identificado com bóton eletrônico, se aproxima do leitor de radiofrequência colocado na entrada do cocho de alimentação, este

capta o sinal do bóton eletrônico, transferindo a informação para o banco de dados do sistema. Ao mesmo tempo, células eletrônicas de carga instaladas sob o cocho registram a quantidade de alimento presente no cocho antes da entrada e após a saída do animal, e por diferença calcula a quantidade consumida.

De acordo com Eradus e Jansen (1999), os sistemas computadorizados que utilizam tecnologias baseadas em RFID permitem a avaliação simultânea de grande número de animais alojados em grupos, o que facilita a mensuração de características únicas de um determinado animal. Esses equipamentos têm sido utilizados em diversos estudos (DeVries *et al.*, 2003; Svennson e Jensen, 2007; Lancaster *et al.*, 2009) e, além das aplicações na identificação e seleção de animais mais eficientes e, portanto, mais lucrativos para os sistemas, as informações geradas por esses sistemas podem ser valiosas na identificação precoce de doenças, dada a possível relação entre a modificação do comportamento natural de consumo com o surgimento de enfermidades diversas (Quimby *et al.*, 2001; Robles *et al.*, 2007; Weary *et al.*, 2009). Em experimentos objetivando a validação desses equipamentos, observou-se que os sistemas baseados em RFID são fontes confiáveis para medir o consumo animal e o comportamento

alimentar dos animais (Schwartzkopf-Genswein *et al.*, 1999; Chapinal *et al.*, 2007; Chizzotiti *et al.*, 2015).

No Brasil, pesquisas com tecnologia de precisão na mensuração do consumo já estão sendo conduzidas na Embrapa Gado de Leite, em parceria com a Universidade Federal de Minas Gerais e a empresa nacional Intergado, para avaliação da eficiência alimentar em vacas em lactação e em bezerras e novilhas em crescimento, bem como para o estudo da associação da eficiência alimentar com fertilidade e saúde animal. Esses animais estão sendo diariamente monitorados quanto ao consumo de alimentos, água e peso vivo por um sistema automático, composto por cochos e bebedouros eletrônicos associados a estações de pesagem corporal dos animais. Além de fornecer informações de consumo de alimento e água, o sistema permite monitorar: a frequência de visitas ao cocho e ao bebedouro, bem como a duração dessas visitas; os horários preferenciais de alimentação; a taxa de ocupação dos cochos; os horários dos tratamentos; monitoramento das sobras e pesagem corporal automática cada vez que o animal acessa o bebedouro.

Atualmente, a utilização de cochos eletrônicos tem aumentado e, com o aumento da oferta de equipamentos e redução nos custos de implantação, tende a seguir ascendente e em ritmo acelerado. A facilidade de coleta e armazenamento dos dados gerados, a confiabilidade dessas informações e a possibilidade de se avaliar simultaneamente grupos de animais ou um único indivíduo são algumas das razões que justificam essa tendência.

Apesar da maior ascensão de tecnolo-

gias que facilitam a mensuração do consumo individual e consequentemente a determinação da eficiência alimentar (EA), tecnologias de mensuração indireta, como a termografia por infravermelho (TIV), mensuração de produção de calor (PC) e frequência cardíaca (FC), produção de metano, metabólitos e comportamento alimentar também têm se mostrado como ferramentas alternativas.

Termografia por Infravermelho

Montanholi *et al.* (2007) sugeriram que animais mais eficientes tinham menor temperatura de superfície corporal que animais menos eficientes (CAR positivo). Montanholi *et al.* (2008) 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. Os autores utilizaram quatro vacas, e imagens termográficas foram tiradas dos flancos esquer-

do e direito, garupa esquerda, membros anteriores (face traseira). Foram encontradas correlações moderadas a altas (0,58-0,88) para temperaturas da superfície da pele e a 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 subse-

Montanholi et al. (2007) sugeriram que animais mais eficientes tinham menor temperatura de superfície corporal que animais menos eficientes (CAR positivo).

quentes para cada uma das duas refeições foram investigados ($P < 0,01$).

Em 2009, Montanholi *et al.* 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 CAR de 61 novilhas de corte em ensaio de 113 dias após o desaleitamento. Os valores de CAR variaram de -1,55 a 2,19kg/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 IMS 7,5% e 6,5%, respectivamente, menores quando comparados aos animais classificados como alto CAR. Novilhas de baixo e 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; $P < 0,0001$). Médias das temperaturas do globo ocular tenderam a crescer nos grupos de baixo ao alto CAR ($P = 0,0747$). Houve correlação de $r = 0,46$ ($P < 0,001$) da temperatura da ganacha com CAR. O 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 ao CAR, IMS, ganho médio diário e conversão alimentar em bovinos de corte.

Montanholi *et al.* (2010) 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 baixo, médio e alto

CAR. Os animais de baixo CAR obtiveram menor IMS 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 (PC) associado ao metabolismo basal, incremento calórico, respostas termorregulatórias 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 formação de proteína ou ganho de gordura, porém há necessidade de mais energia para depositar gordura quando se compara à formação de tecido muscular.

Paddock (2010) estudou 16 novilhas Brangus selecionadas para alto e baixo CAR e observou maior FC nos animais de alto CAR (97,7 vs. 89,6bat/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 em comparação 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, quando comparados a animais de alto CAR, mostrando que um dos fatores que pode explicar a melhor eficiência dos animais de baixo CAR é o menor gasto energé-

tico com produção de calor (Nkrumah *et al.*, 2006). A menor produção de calor em animais eficientes está relacionada à 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).

A menor produção de calor em animais eficientes está relacionada à 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.

Leão *et al.* (2015) avaliaram a produção de calor em bezerras Holandês x Gir (F1) aos 50 dias de idade, com diferentes fenótipos para CAR, medindo as trocas gasosas respiratórias pelo método da máscara facial. Dezoito animais foram alojados em baias individuais com cama de areia. Todos os animais foram alimentados com 6L/dia de leite integral (11,75% de sólidos totais), divididos em 2 refeições iguais (7 e 15h). A dieta sólida consistiu em 95% de ração peletizada (88% MS, 20% PB e 3% de gordura) e 5% de feno de tifton 85 (81% MS; 13,4% de PB; 72,8% FDN; 32,3% FDA) *ad libitum*. A água foi fornecida *ad libitum* desde o primeiro dia de vida. Animais foram classificados em CAR baixo (eficientes) e alto (ineficientes). Dados de consumo de oxigênio, dióxido de carbono e produção de metano foram registrados utilizando-se o sistema Sable (Sable Systems, Henderson, NV) acoplado à máscara facial, e cada leitura foi feita em 20 minutos, 3 horas após o fornecimento do leite da manhã, em dois dias consecutivos. A frequência cardíaca (FC) foi registrada durante 20 minutos com transmissor equino Polar (RS800CX G3, Polar Electro Inc., Finlândia). O gasto energético foi calculado como a produção de calor estimada a partir da equação de Brouwer (1965). Bezerras de alto CAR obtiveram 12,39% a mais de consumo de MS ($P < 0,05$) do que o

grupo de baixo CAR (1,07 e 0,941kg/dia, respectivamente), mas o peso corporal foi superior em 0,6% ($P < 0,05$) para o grupo CAR baixo. A frequência cardíaca não diferiu entre os grupos, porém animais de alto CAR apresentaram maior produção de calor (177,64kcal / kg de peso metabólico - PM) do que os animais de baixo

CAR (144,40 kcal / kg de PM).

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 elas a frequência cardíaca. Os autores observaram que a FC das fêmeas classificadas em baixo CAR foi 7% menor em relação às fêmeas classificadas em alto CAR (66,1 vs. 71,1 bat/min).

Produção de Metano

A eficiência dos sistemas pecuários brasileiros ainda é passível de melhorias, existindo possibilidades de aumento na quantidade de produto final, mantendo ou reduzindo a emissão de gases do efeito estufa (GEE). Quanto maior a proporção de vacas em lactação em uma propriedade, menor a emissão de GEE por kg de leite produzido. Toda ação que melhore a eficiência do sistema de produção reduz, proporcionalmente, a emissão de metano, uma vez que mais produto (carne, leite, lã, etc.) será produzido em relação aos recursos utilizados (Guimarães Jr. *et al.*, 2010).

Com a seleção de animais de baixo CAR, há possibilidade de reduzir a pegada de carbono da produção de leite e carne, já que esses animais apresentam menores exigências

nutricionais e, consequentemente, menor demanda para a produção de alimentos, assim como menor quantidade de dejetos produzidos. Nkrumah *et al.* (2007) observaram que a produção de metano por kg de peso corporal metabólico foi 34% maior em animais de alto CAR em comparação com novilhos de baixo CAR. Do mesmo modo, a produção de metano (g/dia) foi 25% menor em novilhos de baixo CAR em comparação com os de alto CAR (Hegarty *et al.*, 2007).

Yan *et al.* (2010) avaliaram dados obtidos em 20 estudos sobre metabolismo energético realizados em câmaras respirométricas de fluxo aberto, envolvendo 579 vacas em lactação, com variação no mérito genético, número e fase da lactação e peso corporal. Os autores estudaram as taxas de emissão de metano entérico em relação a variáveis de eficiência de utilização de energia e de produtividade animal. Os resultados indicaram que a perda de energia na forma de CH₄ como proporção da energia bruta (EB) ingerida ou da energia do leite foi negativamente relacionada aos níveis de produção leiteira, metabolizabilidade da energia (q) e eficiência de utilização da energia metabolizável para lactação (K_l). Portanto, a seleção de vacas leiteiras com elevados níveis de produção e eficiência de utilização de energia representa estratégia eficiente para mitigação de metano.

Parâmetros sanguíneos relacionados à Eficiência Alimentar

Hormônios são componentes influenciados diretamente por fatores nutricionais, pois regulam a partição de nutrientes (insulina e glucagon) e determinam a taxa de

A seleção de vacas leiteiras com elevados níveis de produção e eficiência de utilização de energia representa estratégia eficiente para mitigação de metano.

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, exercendo influência no comportamento de consumo de alimentos e reprodução dos animais, sendo correlacionada à massa de gordura corporal, devido às alterações que provoca na ingestão de alimentos (Zieba *et al.*, 2005). A insulina influencia a regulação da concentração de glicose circulante e é diretamente envolvida com o crescimento celular e desenvolvimento dos animais (Fouladi-Nashta e Campbell, 2006). Atua também no hipotálamo, influenciando no mecanismo da fome-saciedade e em tecidos corporais, como fígado, músculos, glândulas mamárias e ovário (Cunningham, 2004; Volp *et al.*, 2008). O IGF-1 é liberado pelo fígado e tecidos periféricos, atuando 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.* (2009) 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 ($r = 0,37$). Os mesmos autores também encontraram correlações significativas entre conversão alimentar e as concentrações sanguíneas de leptina ($r = 0,48$), ácidos graxos não esterificados ($r = -0,32$), β -hidroxibutirato ($r = 0,25$) e relação glicose:insulina ($r = -0,23$), concluindo 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 consumo alimentar residual (CAR) em bovinos Nelore (n = 118), em fase de crescimento, durante 84 dias, os animais foram classificados em baixo (CAR < -0,128kg/d; n = 40); médio (CAR entre -0,128 e 0,135kg/d; n = 42) e alto CAR (CAR > 0,135kg/d; n = 36). Animais de baixo CAR consumiram, em média, 0,670kg/d de matéria seca a menos que animais de alto CAR. Dos parâmetros sanguíneos analisados, a ureia, IGF-I e insulina apresentaram diferenças entre os grupos. Foram detectadas concentrações sanguíneas menores de ureia (5,58 vs. 5,91mmol/L) e maiores de insulina (4,45 vs. 3,70µIU/mL) e IGF-I (433 vs. 399ng/mL) para, respectivamente, animais de baixo CAR quando comparados aos animais de alto CAR.

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

Comportamento Alimentar

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

Nkrumah *et al.* (2006), trabalhando 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 de baixo CAR, apresentando menor digestibilidade da matéria seca e da proteína bruta. Os autores encontraram correlações significativas entre tempo de alimentação e digestibilidade da matéria seca (0,55), digestibilidade da proteína bruta (0,47) e energia digestiva (0,55). Já os animais mais eficientes tiveram menor gasto de energia em relação à taxa de alimentação e taxa 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 um menor gasto energético com essas atividades quando comparados a animais menos eficientes. Aldrighi (2013) avaliou animais jovens da raça Nelore (machos e fêmeas) e encontrou diferença significativa entre as classes de CAR (baixo, médio e alto CAR) no tempo utilizado para alimentação.

Egawa (2012), estudando 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 kg de matéria seca ingerida, observou que os animais mais eficientes (baixo CAR) gastaram maior tempo ruminando, aproveitando os alimentos de forma mais eficiente.

...animais mais eficientes tiveram menores níveis sanguíneos de ureia, cortisol e insulina, e maiores níveis de triglicérides; essas respostas possivelmente estão relacionadas com a reciclagem dos tecidos, mudanças na composição corporal e uma resposta ao estresse.

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 as melhores estratégias de manejo dos animais e o maior avanço nos programas de melhoramento genético. Na Tabela 1 são apresentadas as principais fontes de variação metabólica do consumo alimentar residual.

De acordo com o estudo conduzido por Herd *et al.* (2004), cerca de 10%, 9%, 5% e 10% da variação observada no CAR em gado de corte pode vir da digestão, do incremento calórico, composição corporal e diferenças de atividade física, respectivamente. Dessa forma, 66% da variação do CAR em bovinos de corte permanecem sem resposta. Porém, segundo os autores, essa variação pode estar relacionada à energia requerida por processos biológicos, como bombeamento de prótons 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 às dos animais CAR positivo, o que correspondeu a uma diferença de 6,3% em energia metabolizável entre animais de baixo e de alto CAR. Hegarty *et al.* (2007)

também encontraram uma 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 aos 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 bezerros com baixo CAR têm composição corporal ligeiramente mais magra. Esse fato poderia causar

uma 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 (EMT) entre bovinos

em crescimento com fenótipos de baixo e de alto CAR estão provavelmente associadas a diferenças entre produção de calor (PC) 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 (PC), nível de produção de leite ou ganho em tecido corporal e variabilidade individual entre animais com respeito à eficiência de utilização de energia para man-

...os principais fatores que afetam a partição de energia nos ruminantes são: nível de consumo alimentar, condições ambientais, gasto energético ou produção de calor (PC), nível de produção de leite ou ganho em tecido corporal e variabilidade individual ... com respeito à eficiência de utilização de energia para manutenção e produção.

Tabela 1. Fontes de variação metabólica do consumo alimentar residual (CAR) em bovinos de corte

Característica	Descrição	Correlação com CAR
Requisito de energia metabolizável	Menos energia é usada nos processos fisiológicos para os requisitos de manutenção para animais de baixo CAR (Castro Bulle <i>et al.</i> , 2006).	0,421 (P <0,10)
Composição corporal (ganho de gordura)	Animais de baixo CAR têm menor teor de gordura no corpo e maior teor de proteína; assim, há uma correlação positiva entre CAR e ganho de gordura. Tamanho de vísceras é um grande fator que contribui para aumentar a produção de calor e uso de energia. Animais de baixo CAR têm menores órgãos viscerais (Herd e Arthur, 2008)	0,375 (P <0,10)
Ingestão de matéria seca (IMS)	Machos de alto CAR consumiram 17%-18% a mais que os animais de baixo CAR (Castro Bulle <i>et al.</i> , 2006; Lancaster <i>et al.</i> , 2009).	0,44 (P <0,001)
Digestibilidade	A digestibilidade pode ser influenciada pela variação em fatores como comportamento de alimentação, tempo de retenção no rúmen, mecanismo de digestão e absorção. Animais de baixo CAR têm melhor digestibilidade de matéria seca do que animais de alto CAR (Oddy e Herd, 2001).	-0,33 a -0,44
Produção de calor (PC)	Diferença de até 21% em PC existe entre animais de baixo e de alto CAR. Órgãos viscerais são responsáveis por 40%-50% de PC. Animais de alto CAR têm níveis mais elevados de PC e também maior tamanho de órgãos viscerais (Basarab <i>et al.</i> , 2003; Nkrumah <i>et al.</i> , 2006).	0,68
Atividade	10% da variação do CAR podem ser explicados pela atividade física em machos em crescimento. Duração de permanência no cocho de animais de baixo CAR é de 25min/dia menor que animais de alto CAR (Richardson <i>et al.</i> , 2004; Lancaster <i>et al.</i> , 2005).	0,32
Produção de metano	Animais de baixo CAR produzem 28% menos metano que os de alto CAR. Produção de 16.100L menos metano/ano. Há associação positiva entre a ingestão de energia e produção de metano (Nkrumah <i>et al.</i> , 2006).	0,44
Turnover de proteína	Os animais com maiores requisitos de manutenção têm maior volume de <i>turnover</i> de proteína. Animais de baixo e de alto CAR produzem tecido corporal na mesma taxa, porém animais de baixo CAR podem ter volume de <i>turnover</i> de proteína reduzido (Richardson e Herd, 2004).	0,44

Adaptado de Hendricks *et al.* (2013).

tença e produção. Ao calcular o equilíbrio energético do animal, a produção de calor se apresenta como um componente substancial do balanço de energia dos ruminantes.

Considerações Finais

Tecnologias de precisão têm possibilitado a qualificação de fenótipos para eficiência alimentar, permitindo o entendimento da variabilidade individual. Assim, será possível incorporar essas características nos programas de melhoramento e impactar positivamente no desempenho econômico e ambiental dos sistemas de produção.

Métodos alternativos indiretos que envolvem o uso de dispositivos de precisão, como a termografia por infravermelho, avaliação de produção de calor e frequência cardíaca, são capazes de prever CAR e podem ser exploradas para a identificação da variabilidade entre animais.

Referências Bibliográficas

1. ALMEIDA, R. *Consumo e eficiência alimentar de bovinos em crescimento*. 2005. 181 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo. Piracicaba.
2. BASARAB, J.A., PRICE, M.A., AALHUS, J.L., et al, Residual feed intake and body composition in young growing cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 83, 189-204.2003.
3. BELLMANN, O., WEGNER, J., REHFELDT, C, 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, 2004.
4. BROSH, A. Heart rate measurements as an index of energy expenditure and energy balance in ruminants: A review. *J Anim Sci*, 85: 1213-1227.2007.
5. CASTRO BULLE, F.C.; PAULINO, F.C.P.; SANCHES, A.C. et al, Growth, carcass quality, and protein and energy metabolism in beef cattle with different growth potentials and residual feed intakes. *J Anim Sci*, 85: 928-936. 2007.
6. CHIZZOTTI, M. L., F. S. MACHADO, E. E. L. VALENTE, L. G. R. PEREIRA, M. M. CAMPOS, T. R. TOMICH, S. G. COELHO, AND M. N. RIBAS. Technical note: validation of a system for monitoring individual feeding behavior and individual feed intake in dairy cattle. *J DAIRY SCI.* 98:3438-3442. 2015.
7. COLEMAN, J., BERRY, D.P., PIERCE, K.M. et al. Dry matter intake and feed efficiency profiles of 3 genotypes of Holstein -Friesian within pasture-based systems of milk production. *J. Dairy Sci.*, v.93, p.4318-4331, 2010.
8. COLYN, J.J. *Relationship of Radiated Heat Loss Measured by Infrared Thermography to Residual Feed Intake in Beef Heifers*. 2013.111p (Doctoral dissertation, University of Alberta).
9. CUNNINGHAM, J.G. Tratado de fisiologia veterinária. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.p.579.
10. EGAWA, L. T. Desempenho, comportamento ingestivo e reatividade de fêmeas nelore classificadas pelo consumo alimentar residual. 2012. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Zootecnia APTA/SAA, Nova Odessa, SP, 2012.
11. FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAO statistical databases. Rome, 2006. Disponível em <http://faostat.fao.org>. Acesso em 15 de setembro de 2015.
12. 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, 2006.
13. GUIMARÃES JÚNIOR, R., MARCHAO, R.L., VILELA, L., PEREIRA, L.G.R. Produção animal na integração lavoura-pecuária. In: Simpósio Mineiro de Nutrição de Gado de Leite, 5., 2010, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: UFMG. p. 111-123, 2010.
14. HAFLA, A.N., CARTENS, G.E., FORBES, T.D.A., 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. *J Anim Sci*, 91: 5353-5365. 2013.
15. HEGARTY, R.S., GOOPY, J.P., HERD, R. M. & McCorkell, B., Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. *J Anim. Sci.* 85, 1479-1486. 2007.
16. HENDRIKS J, SCHOLTZ MM, NESER FWC (2013) Possible reasons for differences in residual feed intake: An overview. *South Afr J Anim Sci* 43: s103-s106.
17. HERD, R.M. & ARTHUR, P.F., 2008. Physiological basis for residual feed intake. *J. Anim. Sci.* 87, 64-71.
18. HERD, R. M.; ODDY, V. H. AND RICHARDSON, C. 2004. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 1. Review of potential mechanisms. *Aust J Exp Agr*, 44: 423-430.
19. KELLY, A.K.; McGEE M.; CREWS D. H.; FAHEY A. G., WYLIE A. R.; KENNY D. A. 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, p.109-123, 2009.

20. KOCH, R.M.; SWIGER, L.A.; CHAMBERS, D. AND GREGORY, K.E. 1963. Efficiency of feed use in beef cattle. *J Anim Sci*, 22: 486-494.
21. LANCASTER, P.A.; CARSTENS, G.E.; RIBEIRO, F.R.B.; TEDESCHI, L.O. AND CREWS, D.H. 2009. Characterization of feed efficiency traits and relationships with feeding behavior and ultrasound carcass characteristics in growing bulls. *J Anim Sci*, 87: 1528-1539.
22. LANCASTER, P.A., CARSTENS, G.E., CREWS, D.H. & WOODS, S.A., 2005. Evaluation of feed efficiency traits in growing bulls and relationships with feeding behavior and ultrasound carcass estimates. *Proc. West. Sect. Am. Soc. Anim. Sci.* 56, 461-464.
23. LEÃO J.M., MACHADO F.S., FERREIRA A.L. et al. Energy expenditure in crossbred (Holstein x Gyr) calves differing in phenotypic residual feed intake. *J. Anim. Sci.* Vol. 93, Suppl. s3/J. Dairy Sci. Vol. 98, Suppl. 2. W 381. p.752-753. 2015.
24. LOBLEY, G. E. Control of the metabolic fate of amino acids in ruminants: a review. *Journal of Animal Science*, n.70, p.3264-3275, 1992.
25. MONTANHOLI Y.R., SWANSON K.C., MILLER S.P., PALME R. AND SCHENKEL F.S. Relationships between residual feed intake and infrared thermography and glucocorticoid levels in feedlot steers from three different sire breeds. *Canadian J Ani Sci* v.88, p.179. 2007.
26. MONTANHOLI Y.R., ODONGO N.E., SWANSON K.C., SCHENKEL F.S., MCBRIDE B.W. AND MILLER S.P. 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, p.469-475. 2008.
27. MONTANHOLI Y.R., SWANSON K.C., SCHENKEL F.S., MCBRIDE B.W., CALDWELL T.R., MILLER S.P. On the determination of residual feed intake and associations of infrared thermography with efficiency and ultrasound traits in beef bulls. *Livest Sci* v.125, p.22-30. 2009.
28. MONTANHOLI, Y. R., K. C. SWANSON, R. PALME, F. S. SCHENKEL, B. W. MCBRIDE, D. LU, AND S. P. MILLER. Assessing feed efficiency in beef steers through feeding behavior, infrared thermography and glucocorticoids. *Anim. Sci.* v.4, p.692. 2010.
29. NKRUMAH, J.D.; OKINE, E.K.; MATHISON, G. W.; SCHMID, K.; LI, C.; BASARAB, J.A.; PRICE, M.A.; WANG, Z. AND MOORE, S.S. 2006. Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behaviour with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. *J Anim Sci*, 84: 145-153.
30. NKRUMAH, J.D.; BASARAB, J.A.; WANG, Z.; LI, C.; PRICE, M.A.; OKINE, E.K.; CREWS, D.H. AND MOORE, S.S. 2007. Genetic and phenotypic relationships of feed intake and different measures of feed efficiency with growth and carcass merit of beef cattle. *J Anim Sci*, 85: 2711-2720.
31. NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. Nutrient requirements of dairy cattle. 7.rev.ed. Washinton, D.C.: 2001. 381p.
32. ODDY, V.H. & HERD, R.M., 2001. Potential mechanisms for variation in efficiency of feed utilization in ruminants. In: Proc. Feed Efficiency Workshop. Univ. New England, Australia. pp. 30-34.
33. PADDOCK, Z.D. 2010. Energy expenditure in growing heifers with divergent residual feed intake phenotypes. effects and interactions of metaphylactic treatment and temperament on receiving steers. Thesis (Master of Science). Texas A&M University. College Station. Texas, EUA. 62 pp.
34. RICHARDSON, E.C. & HERD, R.M., 2004. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 2. Synthesis of results following divergent selection. *Aust. J. Exp. Agric.* 44, 431-440.
35. RICHARDSON, E.C., HERD, R.M., ARCHER, J.A. & ARTHUR, P.F. Metabolic differences in Angus steers divergently selected for residual feed intake. *Aust. J. Exp. Agric.* 44, 441-452. 2004.
36. SANTOS, G. P., *Eficiência alimentar, parâmetros sanguíneos e comportamento ingestivo de machos e fêmeas da raça Nelore*. 2014. 66 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Zootecnia APTA/SAA, Nova Odessa, SP, 2014.
37. 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.158-64, 2008.
38. YAN, T.; MAYNE, C.S.; GORDON, F.G. Mitigation of enteric methane emissions through improving efficiency of energy utilization and productivity in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.93, p.2630-2638, 2010.
39. 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, p. 166-185, 2005.