

# Capítulo 13

## Pecuária leiteira e meio ambiente

*Thierry Ribeiro Tomich<sup>1</sup>, João Paulo Pacheco Rodrigues<sup>2</sup>, Rogério Martins Maurício<sup>3</sup>, Rafael Sandin Ribeiro<sup>3</sup>, Luiz Gustavo Ribeiro Pereira<sup>1</sup>*

**Nesse capítulo serão discutidos os impactos ambientais da pecuária de leite e apresentadas estratégias para redução do impacto da pecuária no meio ambiente. Serão apresentados também avaliações e novos modelos preditivos para estimar a emissão de metano entérico, o principal GEE na atividade leiteira. Para a avaliação dos modelos disponíveis e desenvolvimento de novas equações de predição utilizou-se banco de dados gerados em experimentos conduzidos em condições de clima tropical brasileiro.**

### 1. INTRODUÇÃO

Dentre os desafios que o setor pecuário enfrenta estão aqueles relacionados à premente necessidade de atendimento de questões ambientais, para que os sistemas produtivos se tornem ambientalmente adequados, tecnicamente eficientes, economicamente viáveis e aceitos socialmente.

A pecuária leiteira é complexa, sendo que o componente ambiental e a alimentação dos animais constituem aspectos centrais a ser abordados. É uma atividade que requer a adoção de estratégias cientificamente embasadas para que ocorra produção eficiente dos alimentos, precisão no balanceamento e no fornecimento das dietas e redução na geração e emissão de resíduos. Inovações tecnológicas têm contribuindo para ampliar a adequação ambiental dos sistemas de produção de leite sem prejuízo para as viabilidades técnica e econômica.

A avaliação do impacto climático da produção de diferentes alimentos deve levar em consideração o valor nutricional dos mesmos. SMEDMAN et al. (2010) utilizaram uma unidade funcional, que combina a densidade de nutrientes do alimento com a emissão de gases de efeito estufa (GEE) do processo de produção (Densidade Nutricional/Impacto climático - DNIC). Os autores compararam a emissão de GEE para a produção de leite, refrigerantes, suco de laranja, cerveja, vinho, água mineral gasosa e bebidas de soja e aveia. Foram gerados para produção de leite, para cada 100g do produto, 99g de equivalente CO<sub>2</sub>, um dos valores mais elevados quando comparado às demais bebidas. Entretanto, quando a comparação foi realizada levando-se em consideração o DNIC, o leite apresentou vantagem (0,54) em relação aos demais alimentos (0,28, 0,25 e 0,07 para suco de laranja, bebida de aveia e de soja, respectivamente).

Ainda sob o aspecto ambiental, deve ser destacado que não há apenas um sistema de produção de leite ideal. Dependendo da intensidade das tecnologias adotadas, tanto os sistemas confinados quanto os sistemas a pasto podem gerar menos impactos ambientais e serem considerados ambientalmente adequados.

### 2. IMPACTOS DA ATIVIDADE LEITEIRA NO MEIO AMBIENTE

O impacto ambiental associado à atividade leiteira está geralmente relacionado ao uso de recursos naturais (solo

<sup>1</sup> Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora/MG, Brasil

<sup>2</sup> Universidade Federal do Pará, Xinguara/PA, Brasil

<sup>3</sup> Universidade Federal de São João del Rei, São João del Rei/MG, Brasil

e água), de energia (elétrica e combustíveis fósseis), insumos externos ao sistema (adubos, alimentos e medicamentos) e à geração de resíduos com potencial poluidor.

Assim, a avaliação dos impactos positivos ou negativos sobre o ambiente em sistemas de produção de leite deve abranger múltiplos aspectos. O AMBITEC-AGRO (RODRIGUES et al., 2003), sistema proposto para avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária, considera os aspectos da eficiência tecnológica, da conservação e da recuperação ambiental em função do alcance da adoção da tecnologia. A eficiência tecnológica está relacionada aos usos de agroquímicos (pesticidas e fertilizantes), de energia (combustíveis fósseis, biomassa e eletricidade) e de recursos naturais (água e solo). Enquanto a conservação ambiental abrange os impactos sobre a atmosfera (GEE, material particulado/fumaça, odores e ruídos), sobre a capacidade produtiva do solo (erosão, compactação e perdas de matéria orgânica/nutrientes) e sobre a água (perda de qualidade). Já a recuperação ambiental considera a biodiversidade (perda de vegetação natural, de corredores de fauna e de espécies/variedades locais) e a perspectiva de recuperação ambiental (solos, ecossistemas degradados, áreas de preservação permanente e de reserva legal).

### 3. EXCREÇÃO DE NUTRIENTES POR ANIMAIS LEITEIROS

Os resíduos gerados nos sistemas de produção de leite podem causar contaminações do solo, água (superficial e subterrânea) e atmosfera. A principal fonte de resíduos nesses sistemas é representada pelos dejetos (urina e fezes). Para efeito de planejamento na atividade leiteira, García-Vaquero (1981) considera que uma vaca de leite produz dejetos diários da ordem de 9-11% do peso vivo, o que corresponde a aproximadamente 45 kg/dia para cada Unidade Animal – 450 kg de peso vivo. Nitrogênio (N), fósforo

(P), enxofre (S) e matéria orgânica – carbono (C) estão presentes no dejetos em concentrações distintas dependendo do manejo nutricional dos animais e podem apresentar alto potencial poluidor quanto disponibilizados em quantidades elevadas em áreas geográficas e espaços de tempo restritos.

Estudo conduzido por Cela et al. (2014), abordando a incorporação de nutrientes com potencial poluidor por sistemas de produção de leite, avaliou o balanço de N e P em fazendas leiteiras no estado Americano de Nova York e apontou que o saldo positivo (incorporação) no balanço anual de N pode chegar até 259 kg/ha e o de P até 51 kg/ha, sendo considerado por esses autores que a principal contribuição para esse balanço positivo deriva da importação de nutrientes para a propriedade, especialmente pela compra de alimentos produzidos em outros locais.

Atualmente, devido à importância para as mudanças que vem ocorrendo no clima, tem sido dada ênfase à emissão de GEE associados à atividade agropecuária. Segundo Pereira et al. (2015), o metano ( $\text{CH}_4$ ) entérico produzido nos processos digestivos de ruminantes tem representatividade de 15% do total de  $\text{CH}_4$  antropogênico gerado no globo terrestre e entre 3-6% dos gases de efeito estufa relacionados ao aquecimento global. Já para o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), considera-se que sua contribuição relativa para o efeito estufa representa 5% e 39,4% das emissões antrópicas desse GEE são por dejetos dos bovinos nas pastagens (Brasil, 2009).

A tendência ou obrigação legal para mitigar os efeitos deletérios dos resíduos da atividade agropecuária sobre o meio ambiente tem sido objeto de pesquisas atuais e os avanços tecnológicos gerados nesses estudos geralmente estão relacionados à redução relativa na geração/emissão de resíduos em função do produto gerado (forragem, leite e carne) ou ao tratamento dos dejetos para redução do seu potencial em gerar impacto negativo.

#### 4. PRODUÇÃO EFICIENTE DE ALIMENTOS PARA GADO DE LEITE

A adoção da estratégia de produção de alimentos na propriedade deve ser positivamente correlacionada à redução no aporte de insumos externos e à maximização do uso dos insumos disponíveis no próprio sistema para suporte à produção de leite pretendida. Nesse caso, a produção de alimentos em quantidade e qualidade adequadas é fundamental para que ocorra a respectiva redução na necessidade de aquisição de insumos para alcance e manutenção de produtividade e escala de produção de leite economicamente compatíveis.

Como exemplo, por ser uma cultura mais rústica que a do milho e requerer menos insumos, o cultivo do sorgo para confecção da silagem destinada à alimentação dos animais em sistemas leiteiros confinados tem sido testado e indicado para regiões que apresentem déficit hídrico (SANTOS et al., 2013; RODRIGUES et al., 2014; NEVES et al., 2015). Nesse caso, o uso de genótipos melhorados de sorgo permite obtenção de elevadas produtividades de forragem, produção de silagem com valor nutritivo semelhante às silagens de milho com economia no uso de insumos.

Uma vez definido, pela estratégia de produção regional de alimentos, o que será produzido, são importantes inovações tecnológicas com foco na redução de impactos ambientais negativos, como plantio direto, sistemas integrados de produção e adubação de precisão. Sendo uma modalidade do cultivo mínimo, o plantio direto ocorre sem as etapas de aração e gradagem, empregadas normalmente no preparo convencional do solo. Plantas em desenvolvimento e resíduos de culturas são mantidos para cobertura do solo, garantindo sua proteção contra impacto direto da chuva, escoamento superficial de água e erosão eólica. Essa cobertura também controla o aparecimento de plantas daninhas, favorece a infiltração lenta da água e a manutenção de umidade no solo,

contribui para elevação da concentração de matéria orgânica e armazenamento de nutrientes, fertilizantes e corretivos. Como o solo é trabalhado somente no momento do plantio (aplicação de agroquímicos – fertilizantes e pesticidas – pode estar associada), também há redução no uso de máquinas e equipamentos (tratores, arados e outros implementos), com as correspondentes reduções da compactação do solo e de possíveis processos erosivos associados.

O plantio direto tem sido adotado cada vez mais no país e, conforme informação do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2016), sendo que mais da metade da área plantada no Brasil já é ocupada por esse sistema. Embora essa informação não esteja relacionada apenas aos sistemas de produção de leite, o alcance dessa tecnologia favorece a redução de possíveis impactos ambientais decorrente de sistemas leiteiros tradicionais, com efeitos positivos e significativos na avaliação de impacto ambiental decorrente das tecnologias agropecuárias, como eficiência técnica (reduz o uso de agroquímicos, energia e recursos naturais – área ocupada e água), conservação ambiental (reduz a emissão de poluentes para a atmosfera e a possibilidade de contaminação de água, aumenta a capacidade produtiva do solo, favorecendo a biodiversidade) e a recuperação ambiental (reduz a incidência de solos degradados, favorecendo as áreas de preservação permanente e reserva legal). Esse sistema de plantio é um passo para outra inovação tecnológica na agropecuária, que é a produção em sistemas integrados.

Esses sistemas de produção são caracterizados por serem planejados para explorar sinergismos, como os que integram lavoura, pecuária e floresta. Destes, os que têm o componente de produção animal são contemplados nas seguintes modalidades de integração: Agropastoril (integração Lavoura-Pecuária), Silvipastoril (integração Pecuária-Floresta) e Agrossilvipastoril (integração Lavoura-Pecuária-Floresta). A correta

implantação desses sistemas demanda a existência de condições edafoclimáticas favoráveis: solo corrigido, pluviometria adequada, temperatura e luz não limitantes e água disponível em quantidade e qualidade adequadas. Também se preconiza a utilização de alguns princípios fundamentais: manejo e conservação do solo e água, manejo integrado de insetos-praga, doenças e plantas daninhas, aptidão de uso da terra, zoneamento climático agrícola e agroecológico, redução da pressão para abertura de novas áreas, estímulo ao cumprimento da legislação ambiental, principalmente quanto à regularização das reservas legais (regeneração ou compensação) e das áreas de preservação permanente, melhorias dos serviços ambientais, adoção de boas práticas agropecuárias, certificação da produção e balanço energético positivo (BALBINO et al., 2011).

Ainda conforme Balbino et al. (2011), a adoção dos sistemas integrados para produção propicia a eficiência no uso dos recursos naturais com vantagens para os componentes técnicos, cujos benefícios estão associados ao aumento da matéria orgânica, à redução de perdas de produtividade devido aos veranicos, minimiza a ocorrência de doenças e plantas daninhas, favorece o bem-estar animal devido ao maior conforto térmico, maior eficiência no uso de insumos e amplia o balanço positivo de energia. Dentre os benefícios ambientais destacam-se a redução da pressão para abertura de novas áreas, melhoria na utilização dos recursos naturais pela complementariedade e sinergia entre os componentes vegetais e animal, diminuição no uso de agroquímicos para controle de insetos, pragas e, doenças, redução do riscos de erosão, aumento de disponibilidade e qualidade da água, mitigação do efeito estufa como resultado da maior capacidade de sequestro de carbono pelo sistema, promoção da biodiversidade e favorecimento de novos nichos e habitats para agentes polinizadores e inimigos naturais de insetos-praga,

intensificação da ciclagem de nutrientes, aumento da capacidade de biorremediação (redução de contaminantes pela ação de microrganismos) do solo.

O processo tradicional de adubação do solo consiste em corrigir as diferenças entre a exigência pela planta cultivada e a disponibilidade média do nutriente na área total utilizada para o cultivo. Dessa forma, não considera as variações na disponibilidade de nutrientes em áreas distintas no local de cultivo, o que pode acarretar excesso ou escassez pontuais de nutrientes para o desenvolvimento ótimo da cultura.

Para assegurar a expressão do potencial produtivo máximo da cultura sem o uso excessivo de corretivos e adubos, a correção e a adubação devem considerar as diferenças nas características físicas e disponibilidade dos nutrientes no solo nas distintas áreas do local de plantio e entregar adubos e corretivos em taxas variáveis conforme preconizado na agricultura de precisão. Nesse caso, ferramentas de georreferenciamento são empregadas para elaboração de mapas de fertilidade e de aplicação de corretivos e adubos para atender as necessidades da cultura com precisão.

## **5. NUTRIÇÃO DE PRECISÃO E A REDUÇÃO DOS IMPACTOS DA PECUÁRIA NO MEIO AMBIENTE**

A nutrição de precisão envolve o fornecimento de nutrientes em quantidades e tempo exatos para que as exigências nutricionais dos animais sejam atendidas de forma a garantir o potencial produtivo máximo com o uso mínimo de nutrientes respeitando a variabilidade animal, temporal e espacial no sistema de produção. Há crescente pressão sobre produtores de leite e nutricionistas para fornecer soluções práticas que resultem em redução no desperdício de nutrientes com potencial poluidor, especialmente nitrogênio (N) e fósforo (P), GEE, sobretudo CH<sub>4</sub>.

A aplicação dos conceitos de nutrição de precisão pode colaborar para a

redução da pressão sobre o meio ambiente em produzir alimentos para os animais e reduzir a geração de resíduos nocivos. Conforme Branco e Osmari (2010), o balanço de massa de nutrientes tem sido adotado com frequência cada vez maior em sistemas de produção animal e agrícola. É uma estimativa que usa os registros e dados da propriedade, contabilizando os nutrientes importados ao sistema por meio da fixação de N (estimada), de fertilizantes, de alimentos e animais, e os exportados do sistema, como venda de produtos (leite, carne), animais, grãos e dejetos. A diferença entre a importação e a exportação representa o balanço de massa. Essas informações permitem a adoção de medidas que visem reduzir o uso de insumos e as emissões e fontes de contaminação ambiental.

Experimento clássico com vacas leiteiras de leite conduzido por Colmenero e Broderick (2006) indicou que dietas com 16,5 % de proteína bruta (PB) são capazes de suportar máximas produções de leite com mínima excreção de N para o meio ambiente em comparação às dietas com mais altas concentrações proteicas. Foi verificado nesse estudo que o aumento de 13,5% para até 19,4% de PB na dieta resultou em aumentos lineares no consumo de PB, no teor de nitrogênio ureico no leite (NUL) e nas excreções de N, sem que a elevação no teor proteico da dieta tenha resultado em variações significativas no

ganho de peso dos animais, na produção de leite ou nos teores de gordura, proteína verdadeira e lactose do leite (Tabela 1).

De acordo com Sniffen e Chalupa (2015), o consumo excessivo de proteína, N urinário e NUL são altamente correlacionados e, embora não se faça monitoramento periódico do N excretado na urina ou nas fezes, o NUL tem sido rotineiramente monitorado. O excesso de N nas dietas tem sido frequente, tendo sido observado por anos o padrão para alimentação de vacas de alta produção com dietas contendo 17-18% de PB. Nesse caso, buscava-se NUL entre 14 e 18 mg/dL. Porém, sabe-se que vacas de alta produção podem ser eficientemente alimentadas com dieta de 14-15% de PB, buscando conseguir valores de NUL próximos a 10 mg/dL.

Além do teor proteico, a composição da dieta pode afetar a amplitude da excreção de N para o meio ambiente. Nesse caso, devem ser consideradas as necessidades de sincronização das taxas de liberação de energia e de N no rúmen e de quantidades não limitantes de aminoácidos essenciais na fração de proteína metabolizável da dieta. Revisão feita por Oldham et al. (1984) sobre a inter-relação entre proteína e energia da dieta de vacas leiteiras apontou que a forma de energia afeta a utilização da proteína e do amido, possibilitando, muitas vezes, reduzir o uso de proteína na dieta. Diversos estudos (HERRERA-

**Tabela 1.** Efeito do teor de proteína bruta na dieta sobre o consumo proteico, excreção de N para o meio ambiente, peso corporal, produção e composição do leite

| Item                           | Proteína bruta na dieta (% da MS) |                    |                    |                   |                    |
|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
|                                | 13,5                              | 15,0               | 16,5               | 17,9              | 19,4               |
| Consumo de proteína bruta kg/d | 3,02 <sup>c</sup>                 | 3,32 <sup>d</sup>  | 3,78 <sup>c</sup>  | 4,00 <sup>b</sup> | 4,44 <sup>a</sup>  |
| Excreção urinária de N g/d     | 113 <sup>c</sup>                  | 140 <sup>d</sup>   | 180 <sup>c</sup>   | 213 <sup>b</sup>  | 257 <sup>a</sup>   |
| Excreção fecal de N g/d        | 196 <sup>a</sup>                  | 176 <sup>b</sup>   | 196 <sup>a</sup>   | 197 <sup>a</sup>  | 210 <sup>a</sup>   |
| Alteração de peso vivo kg/d    | 0,49 <sup>a</sup>                 | 0,46 <sup>a</sup>  | 0,70 <sup>a</sup>  | 0,55 <sup>a</sup> | 0,64 <sup>a</sup>  |
| Produção de leite kg/d         | 36,3 <sup>a</sup>                 | 37,2 <sup>a</sup>  | 38,3 <sup>a</sup>  | 36,6 <sup>a</sup> | 37,0 <sup>a</sup>  |
| Composição de leite %          |                                   |                    |                    |                   |                    |
| Gordura %                      | 3,14 <sup>b</sup>                 | 3,27 <sup>ab</sup> | 3,27 <sup>ab</sup> | 3,47 <sup>a</sup> | 3,44 <sup>ab</sup> |
| Proteína verdadeira %          | 3,09 <sup>a</sup>                 | 3,15 <sup>a</sup>  | 3,09 <sup>a</sup>  | 3,18 <sup>a</sup> | 3,16 <sup>a</sup>  |
| N ureico mg/dL                 | 7,7 <sup>d</sup>                  | 8,5 <sup>d</sup>   | 11,2 <sup>c</sup>  | 13,0 <sup>b</sup> | 15,6 <sup>a</sup>  |
| Lactose %                      | 4,91 <sup>a</sup>                 | 4,89 <sup>a</sup>  | 4,94 <sup>a</sup>  | 4,91 <sup>a</sup> | 4,92 <sup>a</sup>  |

Letras diferentes na mesma linha diferem entre si (P<0,05)

Fonte: Adaptado de Colmenero e Broderick (2006).

SALDANA et al., 1990; KLOVER et al., 1998; CASPER et al., 1999) mostraram que a sincronização no suprimento de N e de energia em substratos para síntese proteica microbiana no rúmen pode maximizar a utilização do N disponível no rúmen, a eficiência da síntese proteica microbiana e o fluxo de proteína microbiana para o duodeno, resultando em efeito poupador para a proteína dietética, possibilitando a redução na excreção de N.

Trabalhos focados em nutrição proteica para vacas mestiças criadas em condições de clima tropical são mais escassos. Assim, as formulações no Brasil são geralmente baseadas nas recomendações do NRC (2001), o que pode resultar em dietas com alto teor de PB e proteína degradável por rúmen, resultando em excreção excessiva de N e gasto energético com metabolismo. A utilização de nitrogênio ureico para monitorar a qualidade da dieta é crescente no Brasil, mas prática ainda pouco utilizada, principalmente nas fazendas menos tecnificadas. Os valores adotados como referência para nitrogênio ureico do leite no Brasil, ainda são baseadas nas recomendações estrangeiras de valores desejados entre 10 a 14 mg/dL, sendo estes baseados em dados de rebanhos americanos.

Guimarães et al. (2018) realizaram experimento em condições brasileiras com gado Girolando para avaliar o efeito

da redução da concentração de proteína bruta (PB) em dietas com mesmo teor de proteína metabolizável sobre o consumo, o desempenho, o balanço de nitrogênio e a digestibilidade de nutrientes. Os teores de PB das dietas avaliadas foram 127, 132, 139 e 156 g kg/matéria seca (MS). O consumo de MS não foi afetado pelos tratamentos. O consumo e a digestibilidade da PB aumentaram linearmente com a elevação dos teores de PB. A produção de leite ( $23,7 \pm 3$  kg por dia) e os teores de proteína ( $3,3 \pm 0,2\%$ ) e de gordura no leite ( $3,8 \pm 0,5\%$ ) não foram afetados pela redução da PB. O nitrogênio ureico no leite e no plasma apresentou aumentos lineares com o aumento da PB nas dietas, assim como a excreção urinária de nitrogênio (Tabela 2). A eficiência de utilização de nitrogênio foi de 29,8 e 22,4% quando a PB foi de 127 e 156 g kg<sup>-1</sup> de MS, respectivamente. Os autores concluíram que o aumento nas concentrações de PB não influenciou a produção e composição do leite em vacas Girolando, mas aumentou a excreção de nitrogênio pela urina, reduzindo a eficiência de uso de N para produção de leite e aumentando sua excreção. Assim, os autores indicaram a redução nos teores de PB da dieta como estratégia para minimizar o impacto da pecuária no meio ambiente.

Conforme Knowlton (2011), o animal utiliza o P de forma ineficiente excretando de 60%-80% do total consumido, fazendo com que a maior parte do P permaneça

**Tabela 2.** Produção, composição e nitrogênio ureico no leite, e concentração de nitrogênio no plasma e na urina de vacas Girolando alimentadas com dietas contendo diferentes concentrações de PB

|                                                          | Concentração de PB na dieta (% MS) |      |      |      | EPM <sup>(1)</sup> | Valor-P <sup>(2)</sup> |
|----------------------------------------------------------|------------------------------------|------|------|------|--------------------|------------------------|
|                                                          | 12,7                               | 13,2 | 13,9 | 15,6 |                    |                        |
| Produção de leite (corrigida para 4% de gordura, kg/dia) | 23,9                               | 21,5 | 23,7 | 22,8 | 0,22               | 0,34                   |
| Gordura (%)                                              | 3,9                                | 3,7  | 3,9  | 3,8  | 0,03               | 0,89                   |
| Lactose (%)                                              | 4,4                                | 4,6  | 4,7  | 4,7  | 0,01               | 0,01 <sup>(3)</sup>    |
| Proteína (%)                                             | 3,3                                | 3,2  | 3,4  | 3,3  | 0,02               | 0,82                   |
| N ureico no leite (mg/dL)                                | 8,1                                | 12,2 | 14,4 | 18,5 | 0,32               | 0,01 <sup>(4)</sup>    |
| N plasmático (mg/dL)                                     | 10,2                               | 13,9 | 15,6 | 19,6 | 0,75               | <0,01 <sup>(5)</sup>   |
| N urinário (g/dia)                                       | 116                                | 155  | 172  | 247  | 8,46               | 0,01 <sup>(2)</sup>    |

(1) Erro padrão da média. (2) P, significância. (3) Efeito Quadrático ( $p \leq 0.01$ ;  $y = -0.076x^2 + 2.2032x - 11.186$ ,  $R^2 = 0.99$ ).

(4) Efeito linear ( $p \leq 0.01$ ;  $y = 3.2262x - 30.576$ ,  $R^2 = 0.93$ ). (5) Efeito linear ( $p \leq 0.01$ ;  $y = 3.2262x - 30.576$ ,  $R^2 = 0.93$ ).

FONTE: Adaptado de Guimarães et al. (2018).

na fazenda ao invés de ser exportado na carne ou no leite. De acordo com Morse et al. (1992), o P tem sido frequentemente fornecido acima das exigências das vacas de leite e não se sabe se essa estratégia traz benefícios ou prejuízos para a saúde ou produção. Esses autores observaram aumento linear na excreção com o aumento no consumo de P (0,30%, 0,41% ou 0,56% da MS na dieta) e verificaram que as fezes são a principal rota para excreção desse mineral. Observaram ainda que vacas com consumo restrito a 20 kg de MS/dia, consumindo 0,30% de P na MS da dieta apresentaram excreção de P 22,7% inferior à de vacas alimentadas com a mesma restrição de consumo e 0,56% de P na MS da dieta. Esses resultados mostraram que a redução no teor de P das dietas pode ser uma estratégia para reduzir excreção de P em dejetos de vacas de leite.

O uso de P acima das exigências de vacas de leite tem sido justificado principalmente devido ao conceito de que dietas altas em P são capazes de melhorar o desempenho reprodutivo. Todavia, estudo conduzido por Satter e Wu (1999) sumarizando resultados de desempenho de vacas em lactação obtidos em 13 experimentos e 393 dados não verificaram diferenças significativas nos índices reprodutivos para os animais que receberam dietas com mais alto teor de P (Tabela 3). Outros estudos (WU e SATTER, 2000; WU et al., 2000) também não apontaram comprometimento no desempenho reprodutivo quando as vacas foram alimentadas abaixo do recomendado pelo NRC (2001). Além disso, experimentos de longa duração (KUIPERS et al., 1999; WU e SATTER, 2000; WU et al., 2000) não

apontaram diferenças nas produções de leite quando as vacas foram alimentadas com quantidades de P ligeiramente inferiores às exigências preconizadas pelo NRC (2001). Ainda Cerosaletti et al. (2004), avaliando modificações nas dietas de dois rebanhos para alcançar a média de 25% de redução do teor de P, observaram reduções de 33% da concentração de P nas fezes sem que houvesse comprometimento da produção de leite. Esses autores concluíram que modificações nas dietas podem resultar em grandes reduções na entrada de P via alimentos adquiridos pelas fazendas leiteiras, no balanço geral de P da fazenda e nas excreções.

Dois sistemas de alimentação predominam em fazendas leiteiras: os animais têm acesso ilimitado aos volumosos e as suplementações de concentrado, mineral e vitaminas ocorrem de forma individual; ou quando os animais são alimentados com mistura completa ou dieta total contendo todos os alimentos. A diferença é que no primeiro se busca o atendimento das exigências nutricionais individualmente e no segundo para grupos ou lotes de vacas definidos em função da ordem de parição, da produção de leite, período da lactação e do escore de condição corporal. Tanto as suplementações individuais quanto os lotes de alimentação visam sempre aproximar a composição da dieta às exigências nutricionais dos animais.

Os programas empregados para formulação de dietas utilizam dados médios de exigências nutricionais dos lotes de alimentação sem considerar as variações das exigências observadas nesses lotes. Além disso, os valores de nutrientes

**Tabela 3.** Desempenho reprodutivo de vacas de leite em lactação alimentadas com dietas com alto ou baixo teor de fósforo (P) – 393 dados de 13 experimentos

| Item                 | Baixo P      | Alto P       |
|----------------------|--------------|--------------|
| P na dieta (% da MS) | 0,32 – 0,40  | 0,39 – 0,61  |
| Dias para o 1º cio*  | 46,8 ± 10,9  | 51,6 ± 13,8  |
| Dias vazias*         | 103,5 ± 21,4 | 102,1 ± 13,0 |
| Taxa de prenhez*     | 92% ± 6%     | 85% ± 5%     |

\*Médias ± desvio padrão, sem diferenças estatísticas significativas.

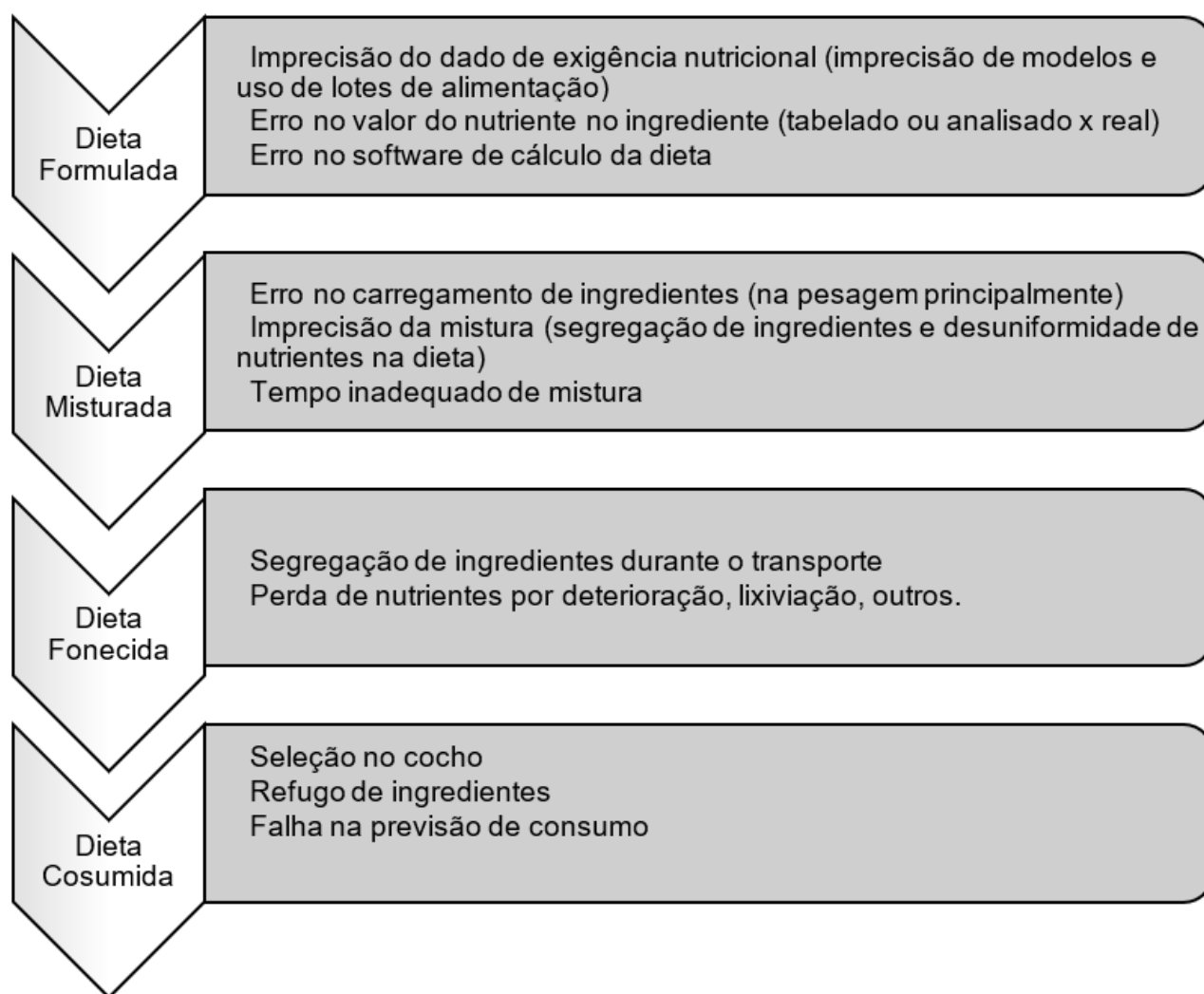
Fonte: Satter e Wu (1999).

das bibliotecas de alimentos usadas nesses programas podem não representar a composição do alimento utilizado. Dessa forma, há etapas no processo de alimentação do gado de leite que podem ser associadas às falhas de precisão na nutrição (Figura 1) e representam pontos que requerem atenção, controle e ajustes eventuais.

Conhecendo as possíveis diferenças entre a dieta formulada para a misturada, para a fornecida e para a consumida pelos animais, o primeiro passo para melhorar a precisão é aproximar ao máximo o valor nutritivo utilizado na formulação àquele do alimento que comporá a dieta fornecida. Nesse caso, sempre que viável, é recomendado substituir o uso de dados tabelados por dados gerados em análises

de amostras dos alimentos realmente utilizados.

Quanto à formulação de dietas para o atendimento mais acurado das exigências nutricionais, trabalho conduzido por White e Capper (2014), modelando o aumento da frequência de formulação (trimestral, mensal ou semanal) em diferentes condições climáticas, mostrou que a reformulação foi capaz de influenciar positivamente o consumo de energia e de nutrientes, o consumo de matéria seca (CMS), o balanço de energia metabolizável e a produção de leite. Esses autores consideraram que a reformulação mais frequente possibilitou maior CMS em períodos de balanço energético negativo do que formulações menos frequentes e que o balanceamento semanal das dietas possibilitou aumento na



**Figura 1.** Fluxo do processo de alimentação e exemplos de falhas na precisão para atendimento das exigências nutricionais.

produção individual de leite de 0,59 kg/d em relação à estratégia de balanceamento trimestral, podendo melhorar o retorno econômico sobre os custos variáveis. Apontaram, ainda, que a formulação mensal, em vez de trimestral, apresenta maior viabilidade para ser implementada e que, em regra, também resulta em ganhos econômicos.

Com foco na nutrição de precisão, aferições quantitativa e qualitativa de consumo devem ser permanentes. Nesse caso, a leitura de cocho fornece uma informação que é rotineiramente empregada nas fazendas para avaliar o consumo e definir estratégias de manejo alimentar. A quantificação e qualificação das sobras associadas aos dados de fornecimento de alimentos e nutrientes permitem ganhos de precisão na informação sobre a estimativa do consumo de nutrientes, mas a acurácia dessa informação é comprometida quando são considerados os dados de lotes de alimentação e não os de animais individualmente.

Adicionalmente, como regra, o manejo alimentar nas fazendas leiteiras é definido em função de lotes de produção e o balanceamento das rações é geralmente delineado para atender os animais mais exigentes do lote visando reduzir perdas produtivas. Mesmo trabalhando com lotes homogêneos em termos de exigências nutricionais, os animais mais exigentes representam cerca de 20%-30% do total e sempre haverá situações de super ou subalimentação para animais do lote.

Para a etapa de mistura da dieta, falhas em equipamentos de pesagem para medir acuradamente a quantidade do ingrediente representam um problema adicional que pode afastar a composição de nutrientes calculada na formulação da dieta fornecida aos animais. Recomendam-se a aferição e a calibração dos equipamentos de pesagem nos intervalos estipulados pelos fabricantes. Misturadores com sistema de roscas horizontais, de rotor ou por tombamento são comuns no Brasil e cada um apresenta características, capacidades

operacionais e necessidades singulares de regulação e manutenção para se produzir uma ração com mistura homogênea.

Cada ingrediente apresenta características próprias, capazes de interferir na homogeneidade da ração (tamanho de partícula, densidade e capacidade para reter umidade). Assim, entre as orientações para obter dietas com mistura uniforme inclui-se a ordem de carregamento do misturador, sendo indicado inserir primeiro os ingredientes com maior tamanho de partícula, como as forragens, seguidos por aqueles com menor tamanho de partícula, os concentrados. O uso de forragem úmida ou de subprodutos úmidos e de ingredientes líquidos podem favorecer uma mistura uniforme e dificultar a segregação de ingredientes durante o transporte ou pela seleção no cocho. Recomenda-se ainda que ingredientes incluídos em quantidades pequenas em relação ao total da ração, como os núcleos minerais e aditivos, sejam primeiramente misturados com outro ingrediente isoladamente antes de serem inseridos na mistura total, de forma a permitir a distribuição uniforme em toda a ração. O tempo ótimo de mistura também deve ser considerado para que a apresentação da ração tenha mínima variação em ingredientes e nutrientes, dificultando a possibilidade de seleção em rações que não apresentam composição homogênea devido ao reduzido tempo de mistura, ou pela mistura excessiva capaz de produzir a segregação de partículas pelas diferenças em densidade.

O aumento na frequência de fornecimento dos alimentos para vacas leiteiras geralmente aumenta a produção de leite e minimiza a ocorrência de problemas de saúde, principalmente devido à manutenção de condições mais estáveis no rúmen. Assim, fracionar o fornecimento da ração e aumentar o número de tratos diários pode favorecer a digestibilidade da dieta, o consumo e a precisão no atendimento das exigências nutricionais das vacas, além de reduzir os impactos

ambientais causados pela excreção do excesso de nutrientes da dieta. Manter alimentos recém misturados no cocho pode reduzir as perdas de nutrientes por espoliação, deterioração ou lixiviação, ocorrências que são dependentes das condições climáticas. Hutjens (2011) considera adequado entre 5% e 10% de sobras do alimento fornecido para o gado de leite, mas deve-se progredir para sobras entre 2% e 5%, condição atualmente verificada em sistemas bem manejados.

Uma das estratégias para aumentar a eficiência com a alimentação e poupar nutrientes utilizados para a produção de leite é aumentar o número dos lotes de alimentação para uniformizá-los e favorecer gestão dos nutrientes. Essa alternativa adiciona desafios relativos ao aumento de custos com trabalho para alimentação e à crescente necessidade de adaptação dos animais aos lotes e às alterações nas dietas. O uso de sistemas robóticos de alimentação pode proporcionar o refinamento das rações para atender de forma mais precisa as exigências nutricionais (SNIFFEN e CHALUPA, 2015).

## 6. PECUÁRIA DE LEITE E GASES DE EFEITO ESTUFA

O  $\text{CH}_4$  é produzido no rúmen por microrganismos do domínio *Archaea*, utilizando predominantemente hidrogênio livre ( $\text{H}_2$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) como substrato. De acordo com Martin et al. (2010), as estratégias de nutrição de ruminantes para mitigação do  $\text{CH}_4$  devem focar um ou mais dos seguintes objetivos: redução da produção de  $\text{H}_2$  no rúmen sem afetar negativamente a digestão; estímulo do uso de  $\text{H}_2$  no rúmen por produtos alternativos, inibição de *Archaea* metanogênicas (número e/ou atividade) associada à estimulação de vias que consomem  $\text{H}_2$  para evitar os efeitos negativos do aumento da pressão parcial de  $\text{H}_2$  no rúmen. Segundo Pereira et al. (2015), as estratégias tecnológicas que estão sendo consideradas para mitigação

do  $\text{CH}_4$  entérico incluem modificações da composição e qualidade da dieta, adição de lipídios, uso de aditivos (ionóforos, ácidos orgânicos, extratos de plantas), vias alternativas para uso de  $\text{H}_2$  no rúmen (probióticos acetogênicos, nitrato e sais de sulfato), vacinação contra organismos metanogênicos ruminais, uso de bacteriófagos e bacteriocinas, variações no manejo de pastagem e uso de sistemas de produção integrados.

Considerando as alterações na dieta, Pereira et al. (2015) destacou que o aumento nos índices zootécnicos, principalmente quando relacionados ao uso mais eficiente de forragem associado à nutrição adequada, pode constituir uma estratégia importante para mitigação de GEE de origem entérica em ruminantes. Estudo com vacas de leite conduzido por Hristov et al. (2015) mostrou a capacidade da molécula 3-nitrooxypropanol para reduzir a emissão de  $\text{CH}_4$  entérico sem afetar o consumo de alimento, a produção de leite ou a digestibilidade da fibra.

Com a necessidade de atender os anseios da sociedade pela busca de alimentos nutritivos e produzidos respeitando o meio ambiente, as universidades e instituições brasileiras de pesquisas desenvolveram estudos relacionadas a avaliação de gases de efeito estufa na agropecuária, o que possibilitou desenvolver e validar metodologias acuradas de mensuração da emissão de metano e gerar banco de dados nacional. Com o resultado desse esforço multi-institucional foi possível avaliar modelos de predição disponíveis na literatura e desenvolver modelos nacionais, que podem ser utilizados em inventários de gases de efeito estufa, cálculos de ciclo de vida e pegada de carbono, além de serem importantes para a busca de estratégias de mitigação de GEE na pecuária.

Os resultados das pesquisas conduzidas nos projetos da rede de Pesquisa RumenGases e INCT-Ciência Animal geraram um conjunto de dados de consumo, composição da dieta, digestibilidade e emissões de  $\text{CH}_4$  entérico

com 677 observações individuais e 40 médias de tratamentos, fruto de 37 estudos realizados no Brasil (Tabela 4). O conjunto de dados foi dividido em três grupos: todos os dados (GERAL), vacas em lactação (LACT) e gado em crescimento e vacas secas (CRESC). Os dados foram obtidos em câmaras respirométricas de circuito aberto, técnica do gás traçador SF<sub>6</sub> ou pelo sistema GreenFeed®.

A acurácia e precisão de 41 modelos

desenvolvidos principalmente na Europa e Estados Unidos foram testados utilizando o banco de dados gerado no Brasil (Apêndice I). Embora alguns modelos tenham apresentado acurácia e precisão para condições específicas, ficou claro a necessidade do desenvolvimento de modelos nacionais de predição. Como exemplo, a adoção do TIER 2 recomendado pelo IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) superestimou

**Tabela 4.** Características da dieta e da emissão de metano (CH<sub>4</sub>) por bovinos no Brasil

| Item <sup>1</sup>                 | Geral (GERAL)  |         |         |        |       | Vacas em Lactação (LAC) |         |         |        |       | Animais em Crescimentos e vacas secas (CRESC) |         |         |        |       |
|-----------------------------------|----------------|---------|---------|--------|-------|-------------------------|---------|---------|--------|-------|-----------------------------------------------|---------|---------|--------|-------|
|                                   | n <sup>3</sup> | Míni-mo | Máxi-mo | Mé-dia | EP    | n <sup>3</sup>          | Míni-mo | Máxi-mo | Mé-dia | EP    | n <sup>3</sup>                                | Míni-mo | Máxi-mo | Mé-dia | EP    |
| Peso Corporal, kg                 | 717(40)        | 150     | 841     | 451    | 121,3 | 284(5)                  | 338     | 841     | 532    | 75,2  | 433(35)                                       | 150     | 799     | 398    | 116,2 |
| GPM, kg/d                         | 343(27)        | -1,64   | 1,82    | 0,64   | 0,642 | 107(0)                  | -1,64   | 1,11    | 0,02   | 0,502 | 236(27)                                       | -0,06   | 1,82    | 0,93   | 0,476 |
| Produção de Leite, kg/d           | 284(5)         | 4,1     | 33,2    | 16,3   | 5,94  | 284(5)                  | 4,1     | 33,2    | 16,3   | 5,94  | -                                             | -       | -       | -      | -     |
| Composição <sup>2</sup> , g/kg MS |                |         |         |        |       |                         |         |         |        |       |                                               |         |         |        |       |
| MO                                | 717(40)        | 797     | 993     | 934    | 23,3  | 284(5)                  | 900     | 954     | 931    | 16,5  | 433(35)                                       | 797     | 993     | 936    | 26,8  |
| PB                                | 717(40)        | 76      | 209     | 151    | 23,1  | 284(5)                  | 136     | 202     | 162    | 20,5  | 433(35)                                       | 76      | 209     | 143    | 21,4  |
| FDN                               | 717(40)        | 232     | 780     | 405    | 109,4 | 284(5)                  | 232     | 507     | 372    | 59,0  | 433(35)                                       | 236     | 780     | 427    | 127,9 |
| EE                                | 717(40)        | 9,5     | 82,0    | 31,9   | 12,82 | 284(5)                  | 14,0    | 51,9    | 30,1   | 7,23  | 433(35)                                       | 9,5     | 82,0    | 33,1   | 15,32 |
| CNF                               | 717(40)        | 29      | 555     | 347    | 104,2 | 284(5)                  | 203     | 480     | 366    | 53,2  | 433(35)                                       | 29      | 555     | 335    | 125,5 |
| Energia Bruta, MJ/kg              | 717(40)        | 11,8    | 25,9    | 18,2   | 1,51  | 284(5)                  | 15,3    | 25,9    | 18,6   | 1,23  | 433(35)                                       | 11,8    | 21,7    | 18,0   | 1,63  |
| Nível de Concentrado, g/kg DM     | 717(40)        | 0       | 827     | 378    | 162,0 | 284(5)                  | 182     | 562     | 394    | 79,2  | 433(35)                                       | 0       | 827     | 367    | 197,7 |
| Consumo, kg/d                     |                |         |         |        |       |                         |         |         |        |       |                                               |         |         |        |       |
| MS                                | 717(40)        | 1,9     | 24,3    | 10,0   | 4,49  | 284(5)                  | 5,9     | 24,3    | 14,3   | 3,7   | 433(35)                                       | 1,9     | 13,4    | 7,3    | 2,24  |
| MO                                | 717(40)        | 1,8     | 22,0    | 9,4    | 4,14  | 284(5)                  | 5,6     | 22,0    | 13,3   | 3,3   | 433(35)                                       | 1,8     | 12,4    | 6,8    | 2,13  |
| PB                                | 717(40)        | 0,3     | 4,5     | 1,5    | 0,83  | 284(5)                  | 0,8     | 4,5     | 2,3    | 0,7   | 433(35)                                       | 0,3     | 2,0     | 1,0    | 0,33  |
| FDN                               | 717(40)        | 0,6     | 9,0     | 3,9    | 1,66  | 284(5)                  | 2,1     | 9,0     | 5,3    | 1,4   | 433(35)                                       | 0,6     | 7,3     | 3,1    | 1,17  |
| EE                                | 717(40)        | 0,03    | 1,07    | 0,31   | 0,165 | 284(5)                  | 0,18    | 1,07    | 0,43   | 0,147 | 433(35)                                       | 0,03    | 0,81    | 0,24   | 0,133 |
| CNF                               | 717(40)        | 0,1     | 9,9     | 3,6    | 1,99  | 284(5)                  | 2,1     | 9,9     | 5,2    | 1,7   | 433(35)                                       | 0,1     | 5,8     | 2,5    | 1,28  |
| Energia Bruta, MJ/d               | 717(40)        | 34      | 434     | 183    | 80,9  | 284(5)                  | 123     | 434     | 264    | 65,2  | 433(35)                                       | 34      | 223     | 130    | 38,8  |
| CMSPC, g/kg                       | 717(40)        | 7,5     | 44,9    | 22,1   | 7,05  | 284(5)                  | 10,0    | 44,9    | 26,9   | 6,2   | 433(35)                                       | 7,5     | 40,1    | 18,9   | 5,69  |
| Digestibilidade EB, kJ/MJ         | 660(13)        | 462     | 944     | 714    | 81,0  | 263                     | 552     | 925     | 711    | 77,7  | 255(25)                                       | 462     | 944     | 714    | 92,3  |
| CH <sub>4</sub> emissões          |                |         |         |        |       |                         |         |         |        |       |                                               |         |         |        |       |
| g/d                               | 717(40)        | 38      | 499     | 202    | 95,5  | 284(5)                  | 128     | 499     | 292    | 75,9  | 433(35)                                       | 38      | 319     | 144    | 51,0  |
| g/kg de CMS                       | 717(40)        | 6,6     | 38,7    | 20,5   | 4,85  | 284(5)                  | 10,4    | 31,8    | 20,9   | 3,97  | 433(35)                                       | 6,6     | 38,7    | 20,2   | 5,33  |
| MJ/d                              | 717(40)        | 2,1     | 27,7    | 11,2   | 5,30  | 284(5)                  | 7,1     | 27,7    | 16,2   | 4,21  | 433(35)                                       | 2,1     | 17,7    | 8,0    | 2,83  |
| kJ/MJ de EBI                      | 717(40)        | 21,4    | 113,3   | 62,5   | 14,66 | 284(5)                  | 32,2    | 94,4    | 62,1   | 11,06 | 433(35)                                       | 21,4    | 113,3   | 62,7   | 16,61 |

<sup>1</sup> Item: GMP = ganho médio de peso; MS = matéria seca; MO = matéria orgânica; PB = proteína bruta; FDN = fibra detergente neutro; CNF = carboidrato não fibroso; CMSPC = CMS em relação ao peso corporal; CMS = consumo de matéria seca; CEB = consumo de energia bruta.

<sup>2</sup> A composição das dietas foram padronizadas para a produção dos animais

<sup>3</sup> Número de observações e média dos tratamentos entre parênteses.

Fonte: Ribeiro et al. (2020)

em 0,55, 0,62 e 0,50 MJ/d de CH<sub>4</sub>, considerando os dados GERAL, LAC e CRESC, respectivamente. Assim, foram desenvolvidos e avaliados 144 modelos baseados nos dados brasileiros (Apêndice II) que são apresentadas nas tabelas 5, 6, 7 e 8. Os modelos nacionais baseados em diferentes variáveis preditoras são apresentadas nas tabelas a seguir.

O aumento da complexidade do modelo resulta em maior precisão, mas demanda a utilização de variáveis de difícil obtenção. As equações desenvolvidas podem ser úteis para uma estimativa adequada das emissões de CH<sub>4</sub> em condições tropicais, seja para fins de inventário, cálculos de pegada de carbono ou para avaliação de estratégias

de mitigação. Além disso, os resultados proporcionam melhor compreensão das características alimentares e dos animais que influenciam a produção e o rendimento de CH<sub>4</sub> entérico em sistemas de produção situados em países de clima tropical.

## 7. TRATAMENTO DE RESÍDUOS

O tratamento de resíduos e efluentes (resíduos líquidos) gerados em sistemas de produção de leite tem objetivos de transformá-los em co-produtos aproveitáveis dentro ou fora do próprio sistema e/ou reduzir seu potencial de causar prejuízo para o ambiente. Para os resíduos orgânicos gerados nesses sistemas, as técnicas de compostagem (empregadas para estimular a decomposição de material

**Tabela 5** Equações para predição da produção de metano (MJ/d) em diferentes categorias de bovinos criados em condições tropicais usando diferentes variáveis preditoras

| Ref.                                  | Equações                                                               | CIA   | Avaliação do modelo <sup>2</sup> |       |       |                |                  |                 |                 |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------|----------------------------------|-------|-------|----------------|------------------|-----------------|-----------------|
|                                       |                                                                        |       | QMEP <sub>%</sub>                | CCC   | Cv    | r <sub>c</sub> | ECT <sub>%</sub> | ER <sub>%</sub> | EA <sub>%</sub> |
| GERAL (n=153)                         |                                                                        |       |                                  |       |       |                |                  |                 |                 |
| GERAL.1                               | 1,10054(0,2749)+0,906(0,0456)*CMS                                      | 611,1 | 13,60                            | 0,956 | 0,998 | 0,958          | 1,79             | 2,18            | 96,02           |
| GERAL.3                               | 1,947(0,4691)+0,934(0,0524)*CMS-<br>-0,032(0,0107)*EE                  | 612,5 | 13,05                            | 0,959 | 0,998 | 0,961          | 1,49             | 2,15            | 96,35           |
| GERAL.17                              | -0,3(0,599)+0,753(0,0676)*CMS+0,007(0,0021)*PV                         | 614,5 | 12,92                            | 0,959 | 0,997 | 0,962          | 1,83             | 2,14            | 96,03           |
| GERAL.19                              | 0,494(0,694)+0,775(0,0715)*CMS+0,008(0,0021)*P-<br>V-0,037(0,011)*EE   | 612,9 | 12,19                            | 0,964 | 0,998 | 0,966          | 1,53             | 2,16            | 96,31           |
| GERAL.33                              | 1,961(0,4949)+1,070(0,0787)*CMS-0,1(0,0378)*-<br>CMS%PV                | 612,6 | 13,13                            | 0,959 | 0,998 | 0,961          | 1,67             | 2,03            | 96,30           |
| GERAL.49                              | 1,067(0,3322)+0,051(0,0025)*CEB                                        | 616,7 | 13,53                            | 0,956 | 0,997 | 0,959          | 2,21             | 2,03            | 95,76           |
| GERAL.51                              | 2,048(0,4359)+0,052(0,0024)*CEB-0,038(0,0104)*EE                       | 614,0 | 13,03                            | 0,959 | 0,998 | 0,961          | 1,80             | 2,09            | 96,11           |
| GERAL.65                              | -0,448(0,54)+0,041(0,0034)*CEB+0,008(0,0019)*PV                        | 619,9 | 13,16                            | 0,958 | 0,996 | 0,961          | 2,05             | 2,44            | 95,50           |
| GERAL.67                              | 0,734(1,0047)+0,041(0,0054)*CEB+0,009(0,0019)*P-<br>V-0,040(0,0105)*EE | 625,7 | 11,36                            | 0,969 | 0,998 | 0,971          | 1,52             | 2,06            | 96,41           |
| Vacas em lactação (LAC, n=43)         |                                                                        |       |                                  |       |       |                |                  |                 |                 |
| LAC.1                                 | 4,15(1,5272)+0,822(0,1355)*CMS                                         | 213,0 | 11,79                            | 0,815 | 0,966 | 0,848          | 5,37             | 4,47            | 90,16           |
| LAC.49                                | 3,353(1,5195)+0,047(0,0067)*CEB                                        | 218,9 | 12,04                            | 0,809 | 0,966 | 0,841          | 5,60             | 4,23            | 90,16           |
| Crescimento e vaca seca (GCNL, n=110) |                                                                        |       |                                  |       |       |                |                  |                 |                 |
| CRESC.1                               | 1,006(0,5774)+0,9072(0,0909)*CMS                                       | 383,4 | 9,94                             | 0,947 | 0,994 | 0,953          | 2,83             | 2,57            | 94,61           |
| CRESC.3                               | 1,943(0,6314)+0,943(0,0902)*CMS-<br>-0,037(0,0103)*EE                  | 380,4 | 9,38                             | 0,953 | 0,995 | 0,958          | 2,44             | 2,54            | 95,02           |
| CRESC.19                              | 0,97(0,763)+0,813(0,104)*CMS+0,0054(0,0025)*PV-<br>-0,0403(0,0103)*EE  | 388,2 | 9,23                             | 0,955 | 0,995 | 0,959          | 2,27             | 2,58            | 95,15           |
| CRESC.49                              | 1,002(0,3348)+0,0497(0,0036)*CEB                                       | 402,1 | 11,89                            | 0,923 | 0,990 | 0,932          | 3,97             | 1,85            | 94,18           |
| CRESC.51                              | 1,597(0,6025)+0,0563(0,0051)*CEB-0,04(0,0128)*EE                       | 396,1 | 10,61                            | 0,939 | 0,993 | 0,946          | 3,07             | 2,40            | 94,53           |
| CRESC.65                              | 0,983(0,572)+0,0368(0,0038)*CE-<br>B+0,0098(0,0019)*BW                 | 410,0 | 11,35                            | 0,930 | 0,993 | 0,937          | 2,62             | 1,76            | 95,62           |

CMS = consumo de matéria seca (kg / d); EE = extrato etéreo (g / kg de MS); PV = peso corporal (kg); CMS%PV = consumo de matéria seca em proporção do peso corporal; CEB = consumo energia bruta (MJ / d). <sup>1</sup>CIA = Critério de informação AKAIKE; <sup>2</sup>QMEP<sub>%</sub> = Quadrado médio do erro de predição dos valores observados; CCC = coeficiente de correlação de concordância; r<sub>c</sub> = coeficiente de correlação; Cv = fator de correção de viés; ECT<sub>%</sub> = erro devido ao viés geral de predição como porcentagem do quadrático médio do erro de predição; ER<sub>%</sub> = erro devido ao desvio da inclinação da regressão da unidade como porcentagem do erro do quadrado médio de predição; EA<sub>%</sub> = erro aleatório como porcentagem do erro quadrático médio de predição.

**Tabela 6.** Equações para predição da produção de metano (MJ/d) em diferentes categorias de bovinos criados em condições tropicais usando diferentes variáveis preditoras e incluindo digestibilidade da energia bruta como preditor.

| no.                                  | Desenvolvimento <sup>1</sup>                                                                       | CIA   | Avaliação do modelo <sup>2</sup> |       |       |                |                  |                 |                 |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------------------------|-------|-------|----------------|------------------|-----------------|-----------------|
|                                      | Equação estimada                                                                                   |       | QMEP <sub>%</sub>                | CCC   | Cv    | r <sub>c</sub> | ECT <sub>%</sub> | ER <sub>%</sub> | EA <sub>%</sub> |
| Geral (LAC, n=122)                   |                                                                                                    |       |                                  |       |       |                |                  |                 |                 |
| GEN.12                               | -3,746(1,8489)+0,990(0,0538)*CMS-0,003(0,0010)<br>*NC+0,008(0,0029)*GEd                            | 501,1 | 13,75                            | 0,951 | 0,998 | 0,953          | 1,74             | 3,79            | 94,47           |
| GEN.28                               | -6,062(1,8175)+0,772(0,0769)*CMS+0,009(0,0024)<br>*PV-0,002(0,001)*NC+0,008(0,0026)*GEd            | 498,5 | 12,59                            | 0,958 | 0,998 | 0,960          | 1,83             | 2,65            | 95,52           |
| GEN.41                               | -0,597(1,451)+1,203(0,0831)*CMS-0,168(0,0408)<br>*CMS%PV+0,005(0,0021)*GEd                         | 487,6 | 13,23                            | 0,954 | 0,998 | 0,956          | 1,80             | 3,24            | 94,96           |
| GEN.60                               | -4,44(1,883)+0,056(0,0032)*CEB-0,003(0,0010)<br>*NC+0,009(0,0028)*GEd                              | 504,6 | 13,55                            | 0,952 | 0,997 | 0,954          | 1,71             | 3,09            | 95,20           |
| GEN.74                               | -8,146(2,4164)+0,042(0,0038)*CEB+0,001(0,0021)<br>*PV+0,005(0,002)*FDN+0,007(0,0024)*GEd           | 503,8 | 12,70                            | 0,957 | 0,997 | 0,960          | 1,78             | 2,34            | 95,88           |
| GEN.76                               | -6,541(1,8624)+0,044(0,0045)*CEB+0,009(0,0023)<br>*PV-0,003(0,0010)*NC+0,009(0,0028)*GEd           | 502,6 | 12,65                            | 0,957 | 0,997 | 0,960          | 1,77             | 2,54            | 95,69           |
| GEN.90                               | -5,144(2,4413)+0,067(0,0044)*CEB-0,138(0,0384)<br>*CMS%PV+0,005(0,002)*FDN+0,007(0,0025)*GEd       | 503,5 | 13,18                            | 0,954 | 0,998 | 0,957          | 1,75             | 3,22            | 95,03           |
| GEN.92                               | -4,060(1,897)+0,067(0,0042)*CEB-0,122(0,039)<br>*CMS%PV-0,003(0,001)*NC+0,009(0,0028)*GEd          | 502,5 | 13,14                            | 0,955 | 0,998 | 0,957          | 1,72             | 3,31            | 94,97           |
| Crescimento e vaca seca (GCNL, n=88) |                                                                                                    |       |                                  |       |       |                |                  |                 |                 |
| GCNL.10                              | -8,673(2,2305)+0,99(0,1093)*CMS+0,0065(0,0019)<br>*FDN+0,0091(0,0023)*GEd                          | 317,7 | 8,79                             | 0,959 | 0,996 | 0,963          | 2,84             | 2,08            | 95,08           |
| GCNL.11                              | -2,305(1,4581)+0,98(0,0972)*CMS-0,0376(0,01159)<br>*EE+0,0059(0,0021)*GEd                          | 313,0 | 9,09                             | 0,957 | 0,996 | 0,960          | 3,07             | 1,66            | 95,27           |
| GCNL.12                              | -6,215(1,763)+1,052(0,1009)*CMS-0,0038(0,0011)<br>*NC+0,011(0,0026)*GEd                            | 316,6 | 9,03                             | 0,957 | 0,997 | 0,961          | 2,66             | 1,81            | 95,53           |
| GCNL.25                              | -3,464(1,4163)+0,703(0,0895)*CMS+0,0091(0,0023)<br>*PV+0,0039(0,0019)*GEd                          | 316,6 | 9,89                             | 0,948 | 0,995 | 0,953          | 2,74             | 1,76            | 95,50           |
| GCNL.26                              | -10,05(2,182)+0,749(0,0931)*CMS+0,0092(0,0024)<br>*PV+0,0062(0,0019)*FDN+0,0088(0,0022)*GEd        | 322,1 | 9,24                             | 0,955 | 0,996 | 0,959          | 2,46             | 1,83            | 95,71           |
| GCNL.27                              | -4,162(1,4363)+0,749(0,0912)*CMS+0,0092(0,0023)<br>*PV-0,0385(0,0106)*EE+0,0061(0,0019)*GEd        | 313,9 | 9,14                             | 0,956 | 0,996 | 0,960          | 2,68             | 1,71            | 95,62           |
| GCNL.28                              | -7,58(1,7071)+0,82(0,0995)*CMS+0,0084(0,0024)<br>*PV-0,0032(0,001)*NC+0,011(0,0024)*GEd            | 321,0 | 9,14                             | 0,956 | 0,997 | 0,960          | 2,40             | 1,76            | 95,84           |
| GCNL.41                              | -1,774(1,3354)+1,258(0,1048)*CMS-0,177(0,0429)<br>*CMS%PV+0,0057(0,0020)*GEd                       | 309,5 | 9,47                             | 0,953 | 0,996 | 0,957          | 2,81             | 1,59            | 95,60           |
| GCNL.42                              | -7,63(2,192)+1,271(0,1181)*CMS-0,156(0,0469)<br>*CMS%PV+0,0057(0,00197)*NDF+0,0097(0,0022)<br>*GEd | 315,9 | 8,72                             | 0,960 | 0,997 | 0,963          | 2,62             | 1,81            | 95,57           |
| GCNL.43                              | -1,986(1,2978)+1,265(0,1081)*CMS-0,156(0,0437)<br>*CMS%PV-0,034(0,0108)*EE+0,0069(0,0019)*GEd      | 309,5 | 8,96                             | 0,958 | 0,997 | 0,961          | 2,77             | 1,44            | 95,78           |
| GCNL.44                              | -5,45(1,6703)+1,308(0,1089)*CMS-0,151(0,0447)<br>*CMS%PV-0,003(0,001)*CL+0,0112(0,0025)*GEd        | 315,0 | 8,91                             | 0,959 | 0,997 | 0,962          | 2,58             | 1,58            | 95,84           |
| GCNL.58                              | -5,835(2,2604)+0,0526(0,0042)*CEB+0,0044(0,0018)<br>*FDN+0,0067(0,0024)*GEd                        | 335,4 | 10,47                            | 0,941 | 0,994 | 0,947          | 3,42             | 1,60            | 94,98           |
| GCNL.60                              | -7,183(1,864)+0,0584(0,0058)*CEB-0,0044(0,0012)<br>*NC+0,0127(0,0027)*GEd                          | 327,7 | 9,42                             | 0,953 | 0,996 | 0,957          | 2,61             | 1,72            | 95,67           |
| GCNL.61                              | -6,842(2,4193)+0,0561(0,0057)*CEB+0,0048(0,0021)<br>*FDN-0,0374(0,0127)*EE+0,009(0,0023)*GEd       | 331,6 | 9,13                             | 0,956 | 0,996 | 0,960          | 3,13             | 1,70            | 95,18           |
| GCNL.62                              | -5,891(1,9347)+0,0593(0,0059)*CEB-0,0033(0,0013)<br>*NC-0,0325(0,0128)*EE+0,0115(0,0027)*GEd       | 330,5 | 9,07                             | 0,957 | 0,997 | 0,960          | 2,64             | 1,63            | 95,74           |
| GCNL.73                              | -4,223(1,5062)+0,037(0,0053)*CEB+0,01(0,0024)<br>*PV+0,005(0,0020)*GEd                             | 327,7 | 10,24                            | 0,944 | 0,995 | 0,949          | 2,79             | 1,73            | 95,48           |
| GCNL.74                              | -11,116(2,2158)+0,041(0,0038)*CEB+0,011(0,0019)<br>*PV+0,0074(0,0019)*FDN+0,0091(0,0022)*GEd       | 331,0 | 10,12                            | 0,946 | 0,996 | 0,950          | 2,48             | 1,46            | 96,06           |
| GCNL.75                              | -4,46(1,371)+0,041(0,0046)*CEB+0,0098(0,00216)<br>*PV-0,043(0,0106)*EE+0,0066(0,0019)*GEd          | 323,1 | 9,64                             | 0,951 | 0,996 | 0,955          | 2,72             | 1,42            | 95,86           |
| GCNL.76                              | -8,045(1,7237)+0,044(0,0051)*CEB+0,0092(0,0022)<br>*PV-0,0033(0,0009)*NC+0,0112(0,0026)*GEd        | 330,9 | 9,68                             | 0,951 | 0,996 | 0,955          | 2,54             | 1,39            | 96,07           |
| GCNL.89                              | -1,738(1,416)+0,0636(0,0061)*CEB-0,122(0,0447)<br>*CMS%PV+0,0053(0,0021)*GEd                       | 327,4 | 10,53                            | 0,941 | 0,994 | 0,946          | 2,96             | 1,42            | 95,62           |
| GCNL.90                              | -7,614(2,2967)+0,0703(0,0046)*CEB-0,153(0,0379)<br>*CMS%PV+0,0063(0,0019)*FDN+0,0092(0,0023)*GEd   | 332,7 | 10,34                            | 0,943 | 0,995 | 0,948          | 2,83             | 1,17            | 96,00           |
| GCNL.91                              | -2,196(1,2454)+0,07(0,0045)*CEB-0,157(0,0363)<br>*CMS%PV-0,044(0,0111)*EE+0,0076(0,0019)*GEd       | 323,3 | 10,13                            | 0,946 | 0,996 | 0,950          | 2,70             | 1,21            | 96,10           |
| GCNL.92                              | -6,078(1,7311)+0,072(0,0047)*CEB-0,15(0,0373)<br>*CMS%PV-0,0034(0,0009)*NC+0,0123(0,0026)*GEd      | 330,2 | 10,05                            | 0,947 | 0,996 | 0,951          | 2,52             | 1,30            | 96,18           |

CMS = consumo de matéria seca (kg / d); EE = extrato etéreo (g / kg de MS); PV = peso corporal (kg); CMS%PV = consumo de matéria seca em proporção do peso corporal; CEB = consumo energia bruta (MJ / d); FDN = fibra em detergente neutro (g / kg de MS); NC = nível de concentrado (g / kg de MS); GEd = digestibilidade da energia bruta (kJ / MJ de consumo de energia bruta). <sup>1</sup>CIA = Critério de informação AKAIKE; 2QMEP% = Quadrado médio do erro de predição dos valores observados; CCC = coeficiente de correlação de concordância; r<sub>c</sub> = coeficiente de correlação; Cv = fator de correção de viés; ECT% = erro devido ao viés geral de predição como porcentagem do quadrático médio do erro de predição; ER% = erro devido ao desvio da inclinação da regressão da unidade como porcentagem do erro do quadrado médio de predição; EA% = erro aleatório como porcentagem do erro quadrático médio de predição.

Fonte: Ribeiro et al. (2020)

orgânico e produção de material estável que pode ser utilizado como fertilizante), de tratamento de efluentes (empregadas com finalidade de adequar resíduos líquidos à qualidade requerida para descarga em corpo d'água aceitor) e/ou de biodigestão (processo de digestão realizada por colônia mista de microrganismos em ambiente sem oxigênio resultando em produção de biogás combustível e fertilizante) estão entre as alternativas tecnológicas empregadas para este fim.

Otênio et al. (2010) descreveram uma técnica de compostagem para destino resíduos biológicos sólidos e das carcaças de animais mortos para sistemas de produção de leite. Nesse caso, apresentaram método alternativo às práticas mais comuns de destinação deste tipo de resíduo (queima ou descarte em aterro) com benefícios ambientais em relação às práticas tradicionais. Essa técnica, além de não causar poluição do solo ou do ar, demonstrou ser economicamente viável, evita a formação de odores, destrói os agentes causadores de doenças e não contamina o lençol freático. Adicionalmente, pode ser executada em qualquer época do ano e pode disponibilizar nutrientes para solo da propriedade, porque o produto pode ser usado em adubação de áreas da própria fazenda, além de poder ser comercializado gerando receita adicional para os sistemas de produção de leite.

Os efluentes (resíduos líquidos) em sistemas de gado de leite são constituídos basicamente por urina + esterco, por água residual utilizada na higienização de instalações, que pode conter detergente (principalmente de origem na higienização da sala de ordenha) ou não, e por leite descartado. Conforme Cronk (1996), esses efluentes são ricos em matéria orgânica, condição que faz com que apresente alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO), N e P como nutrientes mais abundantes e cuja descarga em corpos d'água é considerada uma forma importante para eutrofização desses.

As várias formas empregadas para tratamento desse efluente visam

condicionar sua qualidade para a descarga em corpos d'água sem que haja impacto ambiental significativo. Entre as estratégias utilizadas, os sistemas de lagoas de estabilização são muito frequentes e incluem várias configurações de separador de resíduos sólidos/areia, lagoa facultativa (sistema de tratamento biológico onde a estabilização da matéria orgânica ocorre em duas camadas, sendo a superior aeróbia e a inferior anaeróbia, simultaneamente), lagoa anaeróbia (sistema de tratamento biológico onde a estabilização da matéria orgânica ocorre principalmente pela fermentação anaeróbia - imediatamente abaixo da superfície onde não há oxigênio dissolvido), lagoa aeróbica (sistema de tratamento biológico onde a estabilização da matéria orgânica ocorre pelo equilíbrio entre a oxidação e a fotossíntese), lagoa aerada (normalmente aeração mecânica para suprir a maior parte do oxigênio necessário para degradação da matéria orgânica), lagoa de maturação (tratamento biológico usado como refinamento do tratamento prévio por lagoas, reduz bactérias, sólidos em suspensão, nutrientes e DBO) e unidade de decantação.

De acordo com Serafim (2014), o processo de biodigestão anaeróbica representa um modelo eficiente para reciclagem de resíduos da pecuária, pode ser utilizado para resíduos líquidos e sólidos em quantidades consideráveis, permitindo alta redução da DBO, redução de patógenos e de odor, além da produção de energia com o biogás. O efluente tratado no processo anaeróbico pode ser reutilizado na irrigação e o biofertilizante utilizado após sua estabilização evita problemas como a contaminação de plantas, água e solo devido à presença de nutrientes em formas não assimiláveis. A produção do biogás com dejetos de bovinos depende do manejo alimentar dos animais, da temperatura no ambiente e da eficiência do sistema do biodigestor. O metro cúbico de biogás apresenta equivalência energética de 0,6 a 0,8 L de petróleo e avalia-se que cada bovino produza diariamente resíduos

em quantidade suficiente para gerar cerca de 0,37 m<sup>3</sup> desse gás em sistemas de biodigestão anaeróbica. Adicionalmente, ressaltase que na utilização do biogás para produção de energia via combustão, o CH<sub>4</sub> dá origem ao dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) em presença de oxigênio, reduzindo o potencial poluente dos gases gerados pelos dejetos.

## 8. CONSUMO DE ÁGUA

As alterações climáticas e o déficit de água potável em algumas regiões tem sido preocupante, e abastecimento de água para seres humanos e animais está se tornando um assunto de importância crescente. No Brasil, em 2016, o setor agrícola foi responsável pelo maior consumo de água, equivalente a 35,41 Km<sup>3</sup>, dos quais 30,09 Km<sup>3</sup> para irrigação e 5,32 Km<sup>3</sup> para a pecuária (FAO, 2012).

Apesar da grande importância da ingestão de água em quantidades adequadas para suprir as necessidades dos animais leiteiros, muitas vezes o fornecimento livre e a qualidade da água são negligenciados e não recebem a atenção necessária em comparação a outros nutrientes (Beede, 2006). A água potável pode representar 82% do total de água ingerida por vacas em lactação (Appuhamy et al., 2014), enquanto para os bezerros lactantes a contribuição é inferior a 20%, já que a maior ingestão de água acontece via leite ou sucedâneo (Thomas et al., 2007).

O consumo de água livre (CAL) dos animais é influenciado por diversos fatores, como o consumo de matéria seca (CMS, APPUHAMY et al., 2016; DADO; ALLEN, 1994); HOLTER; JR, 1992), a produção de leite (KHELIL-ARFA et al., 2012; MEYER et al., 2004), o teor de matéria seca (CARDOT; ROUX; JURJANZ, 2008) as condições meteorológicas (APPUHAMY et al., 2016; MEYER et al., 2004), a ingestão de sódio (APPUHAMY et al., 2016; MEYER et al., 2004) e o estágio fisiológico do animal (APPUHAMY et al., 2016; HOLTER; JR, 1992). Equações foram desenvolvidas

para prever as necessidades de água do gado leiteiro utilizando essas variáveis preditoras. Esses modelos para estimar o CAL são importantes para o planejamento de fornecimento de água ao rebanho, contribuindo para uma melhor detecção de desperdícios e déficit no sistema de produção (BUITRAGO, 2016).

Outro fator importante é a qualidade da água fornecida aos animais, que pode afetar o consumo via efeitos diretos (aceitabilidade) e as funções digestivas e fisiológicas do animal. A avaliação da qualidade da água inclui as propriedades organolépticas (odor e sabor), propriedades físicas e químicas, presença de compostos tóxicos, concentrações de macro e micro minerais e contaminação microbiana (Beede, 1992; Patience, 1994).

### 8.1. CONSUMO DE ÁGUA

A água é considerada o nutriente mais importante para a saúde e o desempenho em rebanhos leiteiros (NRC, 2001). É um constituinte ativo e estrutural do corpo, devido à sua alta tensão superficial, que auxilia na coesão das células e na manutenção das articulações. Essa tensão superficial ainda permite que a água se mantenha fortemente ligada à superfície de outras substâncias, sem se misturar às apolares (como os lipídeos da membrana celular), permitindo o confinamento e o equilíbrio do conteúdo celular. A água compreende de 55 a 70% da massa dos animais. É solvente das substâncias presentes no corpo, veículo dos nutrientes na digestão, absorção, transporte para as células e excreção (urina, fezes e respiração); é dispersante ideal, devido ao seu poder ionizante, o que facilita as reações bioquímicas; Vacas leiteiras requerem água para todos os processos vitais, para manter a pressão osmótica em suas células e tecidos, para eliminar materiais residuais e para dissipar o excesso de calor do corpo via transpiração. O fluxo diário de água de uma vaca leiteira em lactação pode chegar a 30% (aproximadamente 140 L) de sua água corporal total, demonstrando

a magnitude e importância da dinâmica da água (HOLTER; JR, 1992).

Para manter a reserva de água corporal, as vacas precisam ingerir água livre, ingerir água via consumo de alimentos úmidos e ainda utilizar a água resultante do metabolismo de nutrientes nos tecidos corporais (NRC, 2001; Khelil-Arfa *et al.*, 2012). A água metabólica é uma fonte insignificante em comparação com o CAL ou com a água vinda da alimentação. A soma do CAL e da água ingerida da dieta é o consumo de água total (CAT) (NRC, 2001).

O baixo consumo de água pode causar aumento da concentração do hematócrito e da ureia sanguínea, aumento da frequência respiratória e redução das contrações ruminais, podendo desencadear comportamento agressivo dos animais nas proximidades dos bebedouros. Além de afetar o apetite, a resposta digestiva e a produção, uma redução de 40% no consumo de água foi associada a uma redução de 16% no CMS e uma diminuição concomitante de 16% na produção de leite (CARDOT; ROUX; JURJANZ, 2008). A desidratação de até 10% da água corporal é considerada problemática, e a perda de 15 a 25% resulta em morte, dependendo da espécie animal (BEEDE, 2012).

Vários fatores afetam a quantidade diária de CAL, como estágio fisiológico, peso vivo, nível e tipo de atividade, produção de leite, consumo de ração e composição da dieta incluindo tipos de alimentos, bem como composição de nutrientes e qualidade da água. Fatores extrínsecos também influenciam o consumo, podendo incluir as condições do tempo, temperatura da água, frequência e periodicidade do fornecimento de água e interações sociais e comportamentais dos animais (BEEDE, 2006).

Dietas com baixo teor de MS fornecem uma fonte adicional de água, o que consequentemente reduz o CAL (MURPHY, 1992). Holter; JR (1992) relataram que o CAL foi maior quando os animais receberam dietas com 50 e 70% de

MS, já a redução dos teores de MS de 50 para 30% resultaram uma diminuição do CAL de 33 L/dia. Correlação positiva ( $r = 0,75$ ) entre o CAL e o teor de MS na dieta foi encontrada por Khelil-Arfa *et al.* (2012), entretanto, correlação negativa ( $r = -0,89$ ) foi reportada por Kume *et al.* (2010). Nesse mesmo estudo, os autores observaram que o consumo de FDN e FDA apresentaram correlação positiva com o CAL, indicando que o aumento de forragem na dieta pode aumentar as necessidades de água, aumentando a perda de água nas fezes e urina.

A transferência de calor do corpo para o meio ambiente ocorre graças às propriedades físicas desde condutividade térmica e calor latente de vaporização da água, que permite a dissipação de calor no estresse térmico. Nos períodos de estresse pelo frio, a alta capacidade de calor da água do corpo atua como isolante térmico, conservando o calor do corpo. Em contrapartida, quando a temperatura do ar aumenta, ocorrem mudanças na quantidade de água consumida e na quantidade de água perdida (NRC, 2001). Appuhamy *et al.* (2016) relataram que a temperatura média diária foi positiva e linearmente correlacionada com o CAL na faixa de 8,0 a 32,5 °C e que para cada aumento na unidade da temperatura ocorreu aumento de 0,76 Kg/dia no CAL. Mesmo em temperaturas mais baixas (8,6 °C), no estudo de Ammer *et al.* (2018), o aumento do consumo de água variou ligeiramente entre 0,96 e 1,08 L por unidade de índice de temperatura-umidade e a correlação entre a ingestão de água com a temperatura ambiente foi de 0,52.

Além da temperatura do ar, a temperatura da água também influencia o CAL. Segundo Beede (2006), os ruminantes preferem beber água mais quente (30 vs. 12 L a 14°C) mesmo quando a temperatura ambiente é mais elevada (> 25°C). Osborne; Hacker; McBride (2002) evidenciaram que vacas Jersey e Holandês em lactação apresentaram maior CAL quando a temperatura da água variou de

30 a 33°C, porém o maior consumo não foi acompanhado por incrementos na PL. Em bezerros, durante o período pré-desmame, a ingestão de água morna (16 a 18°C) foi 47% superior comparado ao consumo do grupo que recebeu água fria (6 a 8°C). No entanto, esse aumento na ingestão de água dos bezerros não afetou os parâmetros de consumo ou desempenho (HUUSKONEN; TUOMISTO; KAUPPINEN, 2011).

Alguns estudos comprovaram que dietas ricas em sal, bicarbonato de sódio ou proteína estimulam a ingestão de água (HOLTER; JR, 2002; MURPHY, 1992). Murphy (1983) observou que a ingestão de água aumentava em 0,05 Kg/dia por grama de ingestão de sódio sozinho na dieta. Meyer et al. (2004) encontraram aumento de 0,4 Kg/dia de CAL para cada grama de ingestão de sódio (Na). A suplementação de potássio (K) aumenta linearmente o CAL de vacas em lactação e consequentemente aumenta o volume de urina, pois o excesso de íons K pode ter efeito diurético, aumentando a ingestão de água para manter o equilíbrio adequado de água corporal (FRALEY; HALL; NENNICH, 2015).

## 8.2. COMPORTAMENTO INGESTIVO DE ÁGUA

O tempo de consumo de água e o número de visitas ao bebedouro são algumas das variáveis avaliadas no comportamento ingestivo de água. As variações na quantidade de água ingerida durante um evento de consumo estão correlacionadas com as variações de CAL (Cardot; Roux; Jurjanz 2008), e o consumo de água pode ocorrer várias vezes por dia, e é geralmente associado à alimentação ou ordenha (NRC, 2001). Huzzey; Keyserlingk; Weary (2005) indicaram que vacas antes do parto apresentaram número médio de 6,6 eventos de consumo de água por dia, aumentando para 9,5 eventos por dia no pós-parto. Já Cardot; Roux; Jurjanz (2008), consideraram eventos de consumo de água quando a vaca dispndia pelo menos 4 minutos no bebedouro e

encontraram frequência de 7,3 eventos/dia para vacas em lactação.

No estudo de Jago et al. (2005), as vacas alimentadas com dieta total apresentaram maior frequência no bebedouro, porém o CAL foi menor por evento comparado a vacas em pastejo (14,9 vs 21,7 L / evento), sugerindo que a frequência de consumo é aumentada em vez da quantidade de água ingerida por episódio.

O tempo gasto no consumo de água foi de 5,5 min/dia por vacas antes do parto (HUZZEY; KEYSERLINGK; WEARY, 2005) e diminuiu ligeiramente com a proximidade do parto. Após o parto, os autores observaram um aumento de forma constante do tempo de consumo em 0,4 min/dia até 10 dias em lactação, resultando em maior tempo médio (6,8 min/dia) em relação ao pré-parto.

Os horários mais frequentes de consumo de água foram avaliados por Cardot; Roux; Jurjanz (2008), que demonstraram que as vacas em lactação obtiveram  $72,7 \pm 14\%$  do CAL entre as 06:00 e 18:59 horas. Durante o dia, os autores observaram dois picos principais de consumo de água (entre 09:00 e 10:59 h e 17:00 e 18:59 h), que foram associados ao fornecimento de alimentos e à ordenha. Durante o período de alimentação e ordenha (duração de 2 horas) de vacas da raça Holandês e Jersey, o CAL médio foi 40% maior que o CAL durante as outras horas do dia ou à noite (OSBORNE; HACKER; MCBRIDE, 2002).

A maioria das pesquisas que avaliam o consumo de água livre são realizadas em condições de clima temperado com animais em confinamento alimentados com dieta total. Ainda são escassos os trabalhos que relatam o consumo de água livre de vacas de leite em nossas condições climáticas e manejo, particularmente de vacas leiteiras zebuínas e cruzadas de zebuínas.

Em um estudo realizado na Embrapa Gado de Leite, Moura (2017) avaliou o consumo de água de vacas girolando no curral da ordenha e a pasto (*Urochloa*

*brizantha* cv. Marandu), Para as vacas a pasto, adotaram-se dois critérios para iniciar o pastejo: fixo aos 30 dias (30-IP) e quando o dossel forrageiro supera 95% de interceptação luminosa (95-IL) durante 45 dias consecutivos. O CAL foi menor no pastejo 30-IP, mas de forma compensatória tendeu ( $P=0,08$ ) a ser 8,2% maior no curral quando comparado ao 95-IL (Tabela 7). Já comparando o CAL no pasto e no curral para o manejo de 95-IL, o CAL no pasto foi superior em 16,72%. Essa variação no comportamento do CAL pode ser explicada pelo possível maior tempo gasto em pastejo quando o dossel forrageiro supera 95% de interceptação luminosa. Um maior tempo de pastejo pode limitar a busca por água no pasto mas, apesar disso, o tempo total em busca de água não foi influenciado pelos manejos (Moura, 2017).

Os bovinos a pasto escolhem as horas mais quentes do dia para saírem à procura de água. rebanhos de gado do Norte da Austrália permanecem nas aguadas no meio do dia, quando a temperatura ambiente está entre 36 e 46°C, e se deslocam até as áreas de pastejo antes que a temperatura ambiente esteja abaixo de 36°C, já no meio da tarde (Benedetti, 2004). No Brasil, de maneira semelhante, os animais escolhem as horas mais quentes do dia para irem às aguadas. O gado de leite vai até oito vezes por dia ao bebedouro, e essa frequência varia, além da temperatura e outras condições meteorológicas, em função da distância percorrida.

Benedetti et al. (1990) avaliaram a temperatura retal e o consumo de água de vacas leiteiras mestiças estabuladas ao lado do curral de ordenha, ou caminhando em áreas de relevo plano e ou ondulado 2 e 4 km do confinamento até a ordenha (tratamentos T0, T1 e T2, respectivamente). As médias observadas e os respectivos erros padrão das temperaturas retais antes e depois das caminhadas foram, respectivamente,  $38,60 \pm 0,09$  e  $38,81 \pm 0,05$ ,  $38,59 \pm 0,1$  e  $39,22 \pm 0,08$  e  $38,61 \pm 0,06$  e  $39,81 \pm 0,24$ °C. O consumo voluntário de água aumentou ( $r = 0,59$ ) com o aumento da temperatura retal. Além disso, houve associação entre ingestão voluntária de água (l) e distância percorrida (x), representada pela equação de regressão  $l = 29,54 + 1,94 x$ . A equação indica que para cada km de distância percorrida o consumo de água aumentou em média 1,94 L. O aumento da ingestão de água foi de 7,7 L ou 27% pelas vacas que caminharam 4 km em relação às estabuladas.

Moura (2017) também correlacionou o CAL com a produção de leite e com as condições meteorológicas e observou que o CAL apresentou uma correlação mais forte e negativa com a umidade relativa do ar ( $r = -0,33$ ) e uma correlação positiva com a temperatura máxima ( $r = 0,27$ ). Já a produção de leite teve uma fraca correlação ( $r = 0,20$ ) com o CAL. A semelhança da proporção no consumo de água, seja no curral da sala de ordenha ou em área de descanso nos pastos mostra a importância do fornecimento de água em ambos os

**Tabela 7.** Consumo de água livre, tempo de consumo, consumo de água no pasto e no curral de vacas mestiças (Holandês x Zebu) pastejando *Urochloa brizantha* cv. Marandu sob dois critérios para iniciar o pastejo

| Item                    | 30-IP | 95-IL | EMP <sup>1</sup> | P <sup>2</sup> -valor |
|-------------------------|-------|-------|------------------|-----------------------|
| Tempo de consumo, h/d   | 0,28  | 0,32  | 0,07             | >0,5                  |
| Consumo no pasto, kg/d  | 29,22 | 32,34 | 1,18             | 0,03                  |
| Consumo no curral, kg/d | 29,33 | 26,93 | 0,07             | 0,08                  |

30-IP, período de rebrota fixo de 30 dias; 95-IL, pastejo realizado quando a radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela copa atingiu 95%; <sup>1</sup>Erro padrão da média; <sup>2</sup>Probabilidade.

Fonte: Adaptado de Moura, 2017

locais, contrariando o conhecimento tradicional de alguns produtores rurais que acreditam não ser necessário disponibilizar água nas proximidades do local de pastejo.

## 8.2. EQUAÇÕES PARA ESTIMAR O CONSUMO DE ÁGUA

Modelos de predição de CAL são úteis para planejar o suprimento de água para animais nas fazendas leiteiras. O

**Tabela 8.** Equações usadas para predizer a ingestão de água livre (CAL) em gado leiteiro (Adaptado de Kononoff; Snow; Christensen, 2017)

| Equação           | Referência                      | Modelo de predição CAL (kg / d)                                                                                                                                    |
|-------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vacas em lactação |                                 |                                                                                                                                                                    |
| 1                 | Appuhamy et al. (2016)          | $= -68.8 \pm 14.7 + 2.89 \pm 0.30 \times \text{CMS} + 0.44 \pm 0.09 \times \text{MS\%} + 5.60 \pm 1.52 \times \text{Amido\%} + 1.81 \pm 0.54 \times \text{PB\%}$   |
| 2                 | Appuhamy et al. (2016)          | $= -58.2 \pm 13.7 + 0.96 \pm 0.18 \times \text{Leite} + 0.45 \pm 0.09 \times \text{MS\%} + 6.21 \pm 1.58 \times \text{Amido\%} + 0.067 \pm 0.013 \times \text{PV}$ |
| 3                 | Appuhamy et al. (2016)          | $= -91,1 + 2,93 \times \text{CMS} + 0,61 \times \text{MS\%} + 0,062 \times \text{NaK} + 2,49 \times \text{PB\%} + 0,76 \times \text{TM}$                           |
| 4                 | Appuhamy et al. (2016)          | $= -60,2 + 1,43 \times \text{Leite} + 0,064 \times \text{NaK} + 0,83 \times \text{MS\%} + 0,54 \times \text{TM} + 0,08 \times \text{CMS}$                          |
| 5                 | Appuhamy et al. (2014)          | $= -34,6 + 2,75 \times \text{CMS} + 0,84 \times \text{Leite} + 2,32 \times \text{Amido\%} + 0,27 \times \text{MS\%}$                                               |
| 6                 | Khelil-Arfa et al. (2012)       | $= -41,1 + 1,54 \times \text{Leite} - 0,29 \times \text{CONC\%} + 0,97 \times \text{MS\%} + 0,039 \times \text{PV}$                                                |
| 7                 | Khelil-Arfa et al. (2012)       | $= -77,6 + 3,22 \times \text{CMS} + 0,92 \times \text{Leite} - 0,28 \times \text{CONC\%} + 0,83 \times \text{MS\%} + 0,037 \times \text{PV}$                       |
| 8                 | Cardot; Roux; Jurjanz (2008)    | $= 1,54 \times \text{CMS} + 1,33 \times \text{leite} + 0,89 \times \text{MS\%} + 0,58 \times \text{TMmn} - 0,30 \times \text{PVh} - 25,65$                         |
| 9                 | Meyer et al. (2004)             | $= -26,1 + 1,30 \times \text{Leite} + 0,406 \times \text{CNa} + 1,516 \times \text{TM} + 0,058 \times \text{PV}$                                                   |
| 10                | Benedetti, Roche e Silva (2000) | $= -35,7562 + 10,3069 \text{ CMS} - 0,3349 \text{ CMS}^2 - 2,6226 \times \text{leite} + 0,1111 \times \text{leite}^2$                                              |
| 11                | Holter; JR (1992)               | $= -32,4 + 2,47 \times \text{CMS} + 0,60 \times \text{Leite} + 0,62 \times \text{MS\%} + 0,091 \times \text{DJ} - 0,00026 \times \text{DJ}^2$                      |
| 12                | Murphy; Davis; Mccoy (1983)     | $= 23,0 + 2,38 \times \text{CMS} + 0,64 \times \text{Leite}$                                                                                                       |
| 13                | Murphy; Davis; Mccoy (1983)     | $= 16,0 + 1,58 \times \text{CMS} + 0,90 \times \text{Leite} + 0,05 \times \text{CNa} + 1,20 \times \text{TMmn}$                                                    |
| 14                | Stockdale; King (1983)          | $= -9,37 + 2,30 \times \text{CMS} + 0,53 \times \text{MS\%}$                                                                                                       |
| 15                | Little; Shaw (1978)             | $= 12,3 + 2,15 \times \text{CMS} + 0,73 \times \text{Leite}$                                                                                                       |
| 16                | Castle; Thomas (1975)           | $= -15,3 + 2,53 \times \text{Leite} + 0,45 \times \text{MS\%}$                                                                                                     |
| Vacas Secas       |                                 |                                                                                                                                                                    |
| 17                | Appuhamy et al. (2016)          | $= 0,69 \pm 0,48 \times \text{CMS} + 0,28 \pm 0,11 \times \text{MS\%} + 0,85 \pm 0,17 \times \text{TM}$                                                            |
| 18                | Appuhamy et al. (2016)          | $= 1,16 \pm 0,38 \times \text{CMS} + 0,23 \pm 0,08 \times \text{MS\%} + 0,44 \pm 0,16 \times \text{TM} + 0,061 \pm 0,016 \times \text{TMC}^2$                      |
| 19                | Appuhamy et al. (2016)          | $= 0.010 \pm 0.007 \times \text{PV} + 0.32 \pm 0.14 \times \text{MS\%} + 0.52 \pm 0.21 \times \text{TM} + 0.053 \pm 0.019 \times \text{TMC}^2$                     |
| 20                | Benedetti, Roche e Silva (2000) | $= -8,2483 + 2,5101 \times \text{CMS}$                                                                                                                             |
| 21                | Holter; JR, (1992)              | $= 10,34 + 0,2296 \times \text{MS\%} + 2,212 \times \text{CMS} + 0,03944 \times (\text{PB\% da dieta})^2$                                                          |

<sup>1</sup>CMS (kg/d), PV (kg), Leite = produção de leite (kg/d), MS% = porcentagem de matéria seca da dieta, CONC% = teor de concentrado na dieta (% da MS), PB% = teor de PB na dieta (% da MS), Amido% = teor total de amido na dieta, CNa = consumo de sódio (g/d), TM = temperatura média diária do ambiente (°C), TMmn = temperatura mínima diária do ambiente (°C), DJ = dia Juliano,  $\text{TMC}^2 = (\text{TM} - 16,4)^2$ , e NaK = concentração de Na e K (mEq/kg da MS), PVh = precipitação chuvosa.

CAL é definido pelo consumo diário de água em bebedouro ou fontes naturais (KONONOFF; SNOW; CHRISTENSEN, 2017) ou pelo tempo que o animal tem seu focinho ou língua em contato com a água (HUZZEY; KEYSERLINGK; WEARY, 2005). Várias equações estão disponíveis na literatura e podem ser usadas para predizer CAL em gado leiteiro (Tabela 8).

### 8.2.1. VACAS EM LACTAÇÃO

O NRC (2001) recomenda para a predição de CAL o modelo de Murphy (1983; Equação 13), porque o coeficiente de leite é biologicamente o mais próximo do conteúdo de água do leite (87 %) e as outras variáveis na equação afetam a ingestão de água.

Segundo Cardot; Roux; Jurjanz (2008), as variáveis de maior correlação com o CAL diário foram o CMS, produção de leite, ordem de lactação, temperatura mínima, teor de MS do alimento e precipitação pluviométrica. A estimativa do CAL diário de vacas em lactação foi mais precisa quando envolveu essas variáveis. Entretanto, segundo os autores, a temperatura mínima e a precipitação pluviométrica apresentaram menor influência preditiva que as demais variáveis.

Os modelos propostos por Khelil-Arfa et al. (2012; Tabela 2) para vacas leiteiras em lactação contemplaram a produção de leite e o tipo de dieta como variáveis preditivas, mas as equações subestimaram o CAL quando a temperatura ambiente não foi termoneutra (superior a 25°C). Esses autores observaram que o teor de MS da dieta e o CMS foram as variáveis preditoras que mais impactaram na estimativa do CAL (equação 6), enquanto a produção de leite foi menos representativa. O CMS e a produção de leite podem induzir ao erro de colinearidade e instabilidade nos modelos por estarem frequentemente correlacionadas e por essas variáveis estarem presentes na maioria das equações preditivas de CAL publicadas (CARDOT; ROUX; JURJANZ, 2008; HOLTER; JR, 1992; LITTLE; SHAW, 1978; MURPHY, 1983). Os autores justificaram o uso da

CMS como variável preditora principal do CAL em detrimento da produção de leite, por terem utilizado dados de vacas secas e lactantes para gerar os modelos. Os dados de CMS nem sempre estão disponíveis e são difíceis de serem obtidos em fazendas comerciais, principalmente com sistema a pasto. Sendo assim, a produção de leite é uma opção como variável preditora principal e geralmente, tem o mesmo peso de representatividade para predição, embora aumente o erro de predição, como observado por Khelil-Arfa et al. (2012).

Confirmando a possibilidade do uso de modelos que não contemplem o CMS como variável preditora, Appuhamy et al. (2016) propuseram modelos para estimar o CAL de vacas em lactação incluindo ou excluindo a variável preditora CMS. O modelo sem CMS, porém com as variáveis produção de leite, porcentagem de MS e amido na dieta e peso vivo (Equação 2, Tabela 2) explicou 46% da heterogeneidade, que foi semelhante aos 51% da heterogeneidade de quando foram utilizadas a CMS, porcentagem de MS, amido e PB na dieta (Equação 1; Tabela 2). A relação da porcentagem de PB não foi incluída na equação 2, pois poderia ser confundida com a produção de leite e o peso vivo.

Nas equações 3 e 4 (Tabela 2) foram incluídas as variáveis de concentração de sódio e potássio (NaK em mEq/kg da MS) e a temperatura média diária do ambiente (TM; °C) como variáveis preditoras para vacas em lactação, sem contemplar a CMS como variável preditiva. O consumo de Na e K da dieta representa um efeito positivo no CAL, no qual já foi demonstrado consistente em outros modelos propostos por Murphy, (1983); Meyer et al. (2004) e Fraley et al. (2015). Independente da CMS e da porcentagem de MS da dieta, o CAL aumentou  $0,062 \pm 0,009$  para cada aumento unitário de Na e K. No entanto, as concentrações agregadas de Na e K na dieta (mEq / kg de MS) tornou o modelo mais simples e tendia a ter um melhor ajuste do que um modelo que inclui as

concentrações dietéticas de Na e K como 2 variáveis separadas (APPUHAMY et al., 2016).

Já a temperatura ambiente média nas equações 3 e 4 (Tabela 2) foi positiva e linearmente associada com o CAL na faixa de 8,0 a 32,5°C. Porém, a equação 3 apresentou um efeito mais baixo devido à confusão da TM com a CMS, pois essas variáveis foram negativamente correlacionadas. No entanto, a produção de leite tornou-se uma das principais variáveis do CAL na ausência da CMS nos modelos, devido a uma forte correlação positiva entre essas variáveis (Equação 4; APPUHAMY et al., 2016). Ainda assim, as duas equações foram sugeridas pelo NRC 2021 para prever o CAL. O comitê sugere a utilização da equação 4 quando as estimativas de CMS não são confiáveis.

### 8.2.2. VACAS SECAS

Poucos modelos existem na literatura para prever o CAL de vacas secas. Holter; JR (1992) desenvolveram um modelo de CAL sem a necessidade de utilizar o CMS, que foi baseado somente na porcentagem de PB. Três outros modelos foram propostos por Appuhamy et al. (2016), dois incluindo a CMS como variável preditora. No entanto o modelo que incluiu uma relação quadrática da temperatura média do ambiente ( $TMC^2$ ; Equação 18) explicou maior variabilidade do CAL do que o modelo que incluiu uma relação linear (TM; Equação 17), e apresentou uma mudança de heterogeneidade de 75% para 41%, respectivamente. Já a equação 19 (Tabela 8) foi desenvolvida sem incluir a CMS como variável preditora, utilizando as variáveis peso vivo, MS%, TM e  $TMC^2$  e explicou 54% da heterogeneidade do CAL. A disponibilidade das medidas de CMS pareceu ser crítica para prever o CMS de vacas secas.

Foi demonstrado por Khelil-Arfa et al. (2012) que o desenvolvimento da validação das equações preditivas era sempre menos precisa para as vacas secas do que para as vacas em lactação. As

principais razões para isso eram que 82% dos conjuntos de dados utilizados para desenvolver os modelos eram de vacas em lactação e que a faixa do teor de MS da dieta fornecida para as vacas secas foi menor em comparação com vacas em lactação. Muitas fazendas manejam as vacas secas a pasto, o que dificulta a predição do CAL a partir do CMS.

### 8.2.3. BEZERROS

Durante a fase de alimentação líquida, os bezerros recebem a maior parte de sua água através do leite ou sucedâneo. Recomenda-se que a água seja oferecida à vontade aos bezerros que recebem dietas líquidas para aumentar o crescimento e o CMS (NRC, 2001). Kertz; Reutzel; Mahoney (1984) demonstraram redução de 38% no ganho de peso e uma ingestão de ração 31% menor quando o fornecimento de água foi restrito nas primeiras quatro semanas de vida de bezerros em comparação com os que tinham acesso *ad libitum* à água. Bezerros com acesso à água potável desde o nascimento ingeriram cerca de 300 g mais de leite que os bezerros com fornecimento de água mais tardio e tenderam a apresentar maior peso antes do desmame, além de apresentar maior digestibilidade aparente da FDN e FDA, melhor eficiência alimentar e maior peso vivo pós-desmame (WICKRAMASINGHE; KRAMER; APPUHAMY, 2018).

Assim, a idade em que a água é oferecida aos bezerros pode ser uma variável importante a ser considerada para determinar o consumo de água dos bezerros pré-desmama. Entretanto, o consumo excessivo de água potável pode afetar a fermentação microbiana no rúmen e, conseqüentemente, o desenvolvimento ruminal. Wickramasinghe; Kramer; Appuhamy (2018) observaram que o início de fornecimento de água em 17 e 42 dias após o nascimento resultou em CAL 59% maior (0,48 kg / dia) em relação aos bezerros que recebiam água desde o nascimento.

A temperatura ambiente diária

média teve efeito no CAL de bezerros (WICKRAMASINGHE; KRAMER; APPUHAMY, 2018). Os autores observaram que bezerros no pré e pós-desmame aumentaram em quantidades semelhantes (0,068 e 0,055kg, respectivamente) por unidade de aumento na temperatura média diária. O incremento durante o desmame, no qual a oferta de leite é reduzida em 67%, foi duas vezes maior do que nos demais períodos (0,141 vs 0,068 e 0,055 kg por 1,0 ° C), demonstrando a importância de fornecer água potável suficiente aos bezerros que vão ser desmamados em condições de tempo quente (WICKRAMASINGHE; KRAMER; APPUHAMY, 2018).

## 9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em regra, as atividades antrópicas ocorrem com algum impacto sobre o meio ambiente e essa condição não é distinta para o desenvolvimento da pecuária leiteira. Contudo, avanços tecnológicos incorporados aos sistemas produtivos têm possibilitado reduzir e remediar os impactos ambientais negativos. Esses avanços estão especialmente relacionados à adoção de estratégias que conferem precisão às atividades desenvolvidas nos sistemas produtivos, fornecendo exatamente a quantidade de insumos necessária para manutenção de níveis sustentáveis de produção (sem excesso ou escassez) com a respectiva otimização do uso da área natural alterada para suporte às atividades do sistema e no emprego de insumos (internos e externos aos sistemas) e redução da emissão de resíduos com potencial ambiental deletério. Os modelos de predição de metano entérico propostos no BR-Leite podem ser utilizados para inventários de gases de efeitos estufa, cálculos de ciclo de vida e pegada de carbono e ajudam entender como o tipo de dieta e animal influenciam a produção e o rendimento de metano entérico produzido em condições tropicais.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Balbino, C. L.; Barcellos, A. O.; Stone, L. F. 2011. Marco referencial integração Lavoura-Pecuária-Floresta. Embrapa: Brasília.
- BRANCO, A.F.; OSMARI, M.P. 2010. Nutrição de precisão e impacto ambiental. IV Congresso Latino Americano de Nutrição Animal 600:307-316. Colégio Brasileiro de Nutrição Animal Campinas, SP.
- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. 2009. Inventário brasileiro das emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa: informações gerais e valores preliminares (30 de novembro de 2009). Disponível em: <[http://ecen.com/eee75/eee75p/inventario\\_emissoes\\_brasil.pdf](http://ecen.com/eee75/eee75p/inventario_emissoes_brasil.pdf)> Acessado em: 02 fev. 2016.
- Casper, D. P.; Maiga, H. A.; Brouk, M. J. and Schingoethe, D. J. 1999. Synchronization of carbohydrate and protein sources on fermentation and passage rates in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 82 (8):1779–1790. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(99)75408-1
- Cerosaletti, P. E.; Fox, D. G.; Chase, L. E. 2004. Phosphorus reduction through precision feeding of dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 87 (7):2314-2323. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(04)70053-3
- Colmenero, J. J.; G. A. Broderick. 2006. Effect of dietary crude protein concentration on milk production and nitrogen utilization in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 89 (5):1704-1712. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72238-X
- Cela, S; Quirine, M.; Ketterings, K. et al. 2014. Characterization of nitrogen, phosphorus, and potassium mass balances of dairy farms in New York State. *Journal of Dairy Science* 97 (12):7614-7632. doi: 10.3168/jds.2014-8467
- Chapinal, N.; Veira, D. M.; Weary, D. M.; von Keyserlingk, M. A. G. 2007. Technical Note: Validation of a System for Monitoring Individual Feeding and Drinking Behavior and Intake in Group-Housed Cattle. *Journal of Dairy Science* 90 (12):5732-5736. doi: 10.3168/jds.2007-0331
- Chizzotti, M. L.; Machado, F. S.; Valente, E. E. L. et al. 2015. Technical note: Validation of a system for monitoring individual feeding behavior and individual feed intake in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 98 (5):3438-3442. doi: 10.3168/jds.2014-8925
- Cronk, J. K. 1996. Constructed wetlands to treat wastewater from dairy and swine operations: a review. *Agriculture Ecosystems & Environment*

- 58:97-114. doi: 10.1016/0167-8809(96)01024-9
- DeVries, T. J.; von Keyserlingk, M. A. G.; Weary, D. M. and Beauchemin, K. A. 2003. Technical note: Validation of a system for monitoring feeding behavior of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 86 (11):3571-3574. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(03)73962-9
- Garcia-Vaquero, E. 1981. Projeto e construção de alojamento para animais. 2.ed. Litexa, Lisboa.
- Guimarães, C. R.; de Azevedo, R. A.; Campos, M. M.; Machado, F. S.; Pedroso, A. M.; Carvalheira, L. R.; Tomich, T. R.; Pereira, L. G. R.; Coelho, S. G. 2018. Reduction of crude protein in diets fed to lactating Holstein-Gyr cows. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. doi: 10.1590/S0100-204X2018000700010.
- Herrera-Saldana, R.; Gomez-Alarcon, R.; Torabi, M.; Huber, J. T. 1990. Influence of synchronizing protein and starch degradation in the rumen on nutrient utilization and microbial protein synthesis. *Journal of Dairy Science* 73 (1):142-148. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(90)78657-2
- Hristov, A. N.; OH, J.; Giallongo, F. et al. 2015. An inhibitor persistently decreased enteric methane emission from dairy cows with no negative effect on milk production. *PNAS* 112 (34):10663-10668. doi: 10.1073/pnas.1504124112
- Hutjens, M. F. 2011. Changes in feeding dairy cows during the last 20 years and what's ahead. In: *Proceedings of the Tri-State Dairy Nutrition Conference*. Indiana.
- Knowlton, K. F. 2011. Strategies to Reduce Phosphorus Losses from Dairy Farms. *WCDS Advances in Dairy Technology* 23:299-309.
- Kolver, E.; Muller, L. D.; Varga, G. A.; Cassidy, T. J. 1998. Synchronization of ruminal degradation of supplemental carbohydrate with pasture nitrogen in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 81 (7):2017-2028. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(98)75776-5
- Kuipers, A.; Mandersloot F.; Zom R. L. G. 1999. An approach to nutrient management on dairy farms. *Journal of Dairy Science* 82 (2):84-89. Doi: 10.2527/1999.77suppl\_284x
- MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plantio direto. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/plantio-direto>> Acessado em: 10 fev. 2016.
- Martin, C; Morgavi D. P.; Doreau, M. 2010. Methane mitigation in ruminants: from microbes to the farm scale. *Animal* 4 (3):351-365. doi: 10.1017/S1751731109990620
- Morse, D.; Head, H. H.; Wilcox, C. J. et al. 1992. Effects of concentration of dietary phosphorus on amount and route of excretion. *Journal of Dairy Science* 75 (11):3039-3049. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(92)78067-9
- Neves, A. L. A.; Santos, R. D.; Pereira, L. G. R.; et al. 2015. Agronomic characteristics, silage quality, intake and digestibility of five new Brazilian sorghum cultivars. *Journal of Agricultural Science* 153:371-380. doi: 10.1017/S002185961400063X
- NRC – NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th. ed. National Academy Press, Washington, DC.
- Oldham, J. D. 1984. Protein-Energy Interrelationships in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 67 (5):1090-1114. doi: /10.3168/jds.S0022-0302(84)81410-1
- Otênio, M. H.; Cunha, C. M.; Rocha, B. B. 2010. Compostagem de carcaças de grandes animais. *Comunicado Técnico*, 61. Embrapa Gado de Leite: Juiz de Fora.
- Pereira, L. G. R.; Machado, F. S.; Campos, M. M. et al. 2015. Enteric methane mitigation strategies in ruminants: a review. *Revista Colombiana de Ciências Pecuárias* 28:124-143. doi: 10.1017/S1751731120001780
- Rodrigues, G. S.; Campanhola, C.; Kitamura, P. C. 2003. Avaliação de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica. Documentos, 34. *Agropecuária: AMBITEC-AGRO*. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.
- Rodrigues, J. A. S.; Tomich, T. R.; Gonçalves, L. C. 2014. Sorgo forrageiro para silagem, corte e pastejo. *Informe Agropecuário (Belo Horizonte)* 35:73-81.
- Santos, R. D.; Pereira, L. G. R.; Neves, A. L. A.; et al. 2013. Agronomic characteristics of forage sorghum cultivars for silage production in the lower middle San Francisco Valley. *Acta Scientiarum. Animal Sciences* 35:13-19. doi: 10.4025/actascianimsci.v35i1.13072
- Satter, L. D.; Wu, Z. 1999. Reducing manure phosphorus by dairy diet manipulation. p.183-192. In: *Proceedings of the Cornell Nutrition Conference For Feed Manufacturers*. Cornell University, New York, NY.
- Serafim, R. S. 2014. Alternativas econômicas na utilização dos dejetos sólidos e efluentes da pecuária. *Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia* 74:93-109.
- Smedman, A.; Månsson-Lindmark, H.; Drewnowski,

- A.; Edman, A. M. 2010. Nutrient density of beverages in relation to climate impact. *Food & Nutrition Research* 54:5170-577.
- Sniffen, C.J.; Chalupa, W. 2015. Targeted Feeding to Save Nutrients. In: *Proceedings of the Western Dairy Management Conference*. Reno, Nevada. Disponível em: <<http://www.wdmc.org/2015/Sniffen.pdf>> Consultado em 05/out./2015.
- White, R. R.; Capper, J. L. 2014. Precision diet formulation to improve performance and profitability across various climates: Modeling the implications of increasing the formulation frequency of dairy cattle diets. *Journal of Dairy Science* 97 (3):1563–1577. doi: 10.3168/jds.2013-6859
- Wu, Z.; Satter, L. D. 2000. Milk production and reproductive performance of dairy cows fed two concentrations of phosphorus for two years. *Journal of Dairy Science* 83 (5):1052-1063. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(00)74969-1
- Wu, Z.; Satter, L. D.; Sojo, R. 2000. Milk production, reproductive performance, and fecal excretion of phosphorus by dairy cows fed three amounts of phosphorus. *Journal of Dairy Science* 83 (5):1028–1041. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(00)74967-8