

Metano na produção animal: Emissão e minimização de seu impacto

Claiton André Zotti¹; Valdinei Tadeu Paulino²

¹ Mestrando do Curso de Produção Animal Sustentável do Instituto de Zootecnia, APTA/SAA, Nova Odessa/SP, e-mail: claiton@zootecnista.com.br

² Pesquisador e Professor da disciplina Ecologia de Pastagens, Curso de Produção Animal Sustentável, Instituto de Zootecnia, APTA/SAA, Nova Odessa/SP, e-mail: paulino@iz.sp.gov.br.

Resumo: O Brasil é detentor do maior rebanho comercial de bovinos do mundo e por utilizar forrageiras tropicais como base da alimentação destes animais, tem sido indicado como importante produtor de metano. As estimativas de emissão de metano para o gado de corte e leite oscilam em torno de 57 kg por animal, para os ovinos e caprinos 5 kg e os suínos em torno de 1 kg por animal. A fermentação entérica é responsável por 22 % das emissões de metano, 3,3 % do total de gases de efeito estufa. A redução de emissão de metano pelo gado nos sistemas de produção animal nos trópicos pode resultar benéficos econômicos e ambientais. O trabalho relata a produção de metano, a síntese microbiana de metano ruminal e a produção de metano pelo intestino grosso. Aborda, também fatores que afetam a emissão de metano (consumo alimentar, composição da dieta, lipídeos na dieta, digestibilidade). Aponta medidas mitigadoras da emissão de metano pelo animais (manejo adequado das pastagens, melhoria na eficiência na ingestão de alimentos, manipulação de dietas de melhor qualidade, uso de aditivos alimentares e outras formas). São relatadas as principais técnicas de mensuração do metano ruminal (câmaras de respiração, equações de predição e uso do gás traçador hexafluoreto de enxofre - SF₆).

Palavras-chave: gás de efeito estufa, metano, mitigação, ruminantes

The methane in the animal production: Emission and minimization of its impact

Abstract: Brazil is holder of the largest commercial ruminant livestock of the world and for using tropical forage as base of the feeding of these you encourage, it has been indicated as important producing of methane. The estimates of emission of methane for the cattle for slaughter and milk oscillate around 57 kg for animal, for the sheeps and caprines 5 kg and the swine around 1 kg for animal. The enteric fermentation is responsible for 22% of the emissions of methane, 3,3% of the total of greenhouse effect gasses. The reduction of emission of methane for the cattle in the systems of animal production in the tropics can result beneficial economical and environmental. The work tells the production of methane and the microbial synthesis of methane ruminal and the production of methane for the large intestine. It approaches, also factors that affect the emission of methane (consumption to feed, composition of the diet, lipids in the diet, digestibility). It points reliever measures of the emission of methane for the animals (appropriate handling of the pastures, improvement in the efficiency in the ingestion of foods, manipulation of diets of better quality, use of addictive alimentary and other forms). They are told the main techniques of measurement of the methane ruminal (breathing chamber, prediction equations and use of the gas tracer of sulfur hexafluoride - SF6).

Key-words: Greenhouse gas effect, methane, mitigation, ruminants

1. INTRODUÇÃO

As determinações impostas pelos países importadores de produtos de origem animal do Brasil têm sido cada vez mais abrangentes em termos do sistema produtivo onde os animais são criados, passando a exigir mais do que simplesmente alimento.

Atualmente, os produtos oriundos de sistemas de produção animal são adquiridos com o intuito de que ofereçam benefícios diretos (paladar, valor nutritivo, segurança alimentar), e também qualidades indiretas (nível de bem estar, sistema que preserve o ambiente, sustentabilidade ambiental) relacionadas aos processos de produção, as quais não podem ser tratadas isoladamente.

A produção Brasileira deve estar preparada para atender as exigências da sociedade mundial, quanto à conservação da água e do solo, bem-estar animal e mitigação do efeito estufa na produção animal.

Baseado em aspectos de proteção mercadológica, o Brasil, por ser detentor do maior rebanho comercial de bovinos do mundo e por utilizar forrageiras tropicais como base da alimentação destes animais, tem sido indicado como importante produtor de metano (CH_4), fato que pode ser utilizado como embargo aos produtos da pecuária destinados à exportação.

Devido a anos de esforços na área de pesquisa e desenvolvimento de tecnologias aplicadas a pecuária o sistema produtivo tem grande potencial para colaborar com a mitigação do aquecimento global, causado pelos gases de efeito estufa.

A colaboração pode ser dada no seqüestro de carbono pelos solos e na redução das emissões de metano.

Como a fermentação entérica dos ruminantes é uma fonte importante de emissão de metano na agropecuária, esta revisão irá se concentrar neste aspecto, discutindo o impacto do metano na produção animal e a busca de sistemas de produção mais eficientes e de menor impacto global.

2. Aspectos gerais

O CH_4 é um gás de efeito estufa considerado o segundo maior contribuinte para o aquecimento da terra, ficando atrás somente do dióxido de carbono (CO_2) (Tabela 1). O aumento de sua concentração na atmosfera está intimamente ligado com a expansão mundial da população humana, visto que

as principais fontes emissoras, além da fermentação entérica são os aterros sanitários, uso de combustíveis fósseis e práticas agrícolas.

Tabela 1- Gases atmosféricos, fontes e contribuição para o aumento do efeito estufa

	Gás Carbônico (CO ₂)	Metano (CH ₄)	Óxido Nitroso (N ₂ O)	Clorofluor-carbonetos (CFCs)	Ozônio (O ₃)
Principal fonte antrópica	Combustíveis fósseis, desmatamento	Arroz cultivo inundado, pecuária, combustíveis fósseis, queimadas	Fertilizantes conversão do uso da terra	Refrigeradores, aerossóis, processos Industriais	Hidrocarbonetos (com NO _x), queima de biomassa
Tempo de vida na atmosfera	50-200 anos	10 anos	150 anos	60-100 anos	Semanas a meses
Taxa anual de aumento	0,5%	0,9%	0,3%	4%	0,5-2,0%
Contribuição relativa ao efeito estufa	60%	15%	5%	12%	8%

Fonte: MCT (2000)

Para que fosse possível realizar as estimativas das emissões originadas dos processos digestivos, segundo MCT (2000) realizou-se uma subdivisão da pecuária em categorias de espécies consideradas emissoras. As estimativas de emissão de metano anual por animal para fêmeas adultas, machos adultos e jovens foram de 58, 57 e 42 Kg, respectivamente. Para gado de leite as estimativas de emissão foram em média de 57 Kg por animal, os ovinos e caprinos contribuem emitindo 5 Kg e os suínos 1 Kg por animal.

Segundo dados apresentados por Pinedo et al. (2009), as emissões de CH₄ a partir de fermentação entérica no período de 1990 a 2005 foram mais expressivas em gado de corte com 145.591,9 Gg, correspondente a 84,9%, gado leiteiro com contribuição de 18.842,94 Gg, correspondendo a 11% e os outros ruminantes contribuíram com 7.025,3 Gg, ou seja 4,1% da emissão de CH₄.

Das emissões nacionais de CH₄ geradas por fontes antrópicas a fermentação entérica é responsável por 22%, representando 3,3% do total de

gases do efeito estufa (U.S.EPA, 2000), assumindo portanto um importante papel nas modificações climáticas mundiais.

3. Produção de metano no rúmen

O rúmen é essencialmente uma câmara de fermentação contendo uma quantidade variável de digesta (4-7 kg em ovinos e 50-80 kg em vacas leiteiras), determinado por um balanço da entrada (alimentação) e taxas de fluxo. Os movimentos do rúmen e retículo são responsáveis pela mistura do conteúdo ruminal, saída do alimento para ruminação e eructação de gases de fermentação (LANA, 2007).

A ruminação envolve a regurgitação do alimento, remastigação, reinsalivação e redeglutição da digesta ruminal (TEIXEIRA et al. 1998).

Os processos de ingestão e ruminação estimulam a produção de saliva pelas glândulas salivares. A saliva é rica em íons minerais, particularmente sódio, fosfato e bicarbonato que servem como agentes de proteção no sistema digestivo. O grande volume de saliva gerado neutraliza os ácidos produzidos durante a fermentação (poder tamponante), e ajuda a manter um ambiente ideal para o crescimento de bactérias (pH entre 5,5 -7,0). O processo de ruminação reduz o tamanho da partícula dos alimentos que aumenta a função microbiana, e permite uma passagem mais fácil para os outros compartimentos do estômago. Os principais produtos finais da fermentação são os ácidos graxos voláteis (acético, propiónico, butírico), amônia, células microbianas e CH_4 .

O tempo médio de permanência no rúmen geralmente varia de acordo com a digestibilidade do alimento. A estruturação e composição do conteúdo ruminal são influenciadas diretamente pela dieta.

A função do rúmen como câmara fermentativa e a presença de certas bactérias promove o desenvolvimento de gases (Tabela 2). Estes gases são encontrados na parede superior do rúmen com gás carbônico e CH_4 compondo a maior porção.

Tabela 2 – Composição típica dos gases do rúmen

COMPONENTE	PERCENTAGEM MÉDIA
Hidrogênio	0,2
Oxigênio	0,5
Nitrogênio	7,0
Metano	26,6
Dióxido de carbono	65,5

Fonte: Teixeira et al. (1998)

3.1 Síntese microbiana de metano no rúmen

As *Archaea* metanogênicas, responsáveis pela produção de CH_4 , formam um grupo distinto de microrganismos, possuindo co-fatores (coenzima M, F420, F430) e lipídeos (éteres de isopranyl glicerol) únicos (McAllister et al., 1996). A parede celular destes microrganismos é composta por pseudomureina, proteína, glicoproteína ou heteropolissacarídeos e a seqüência de nucleotídeos indica uma evolução inicial distinta das bactérias (ISHINO et al., 1998).

Apesar de várias espécies metanogênicas terem sido isoladas em diversos habitats anaeróbios, somente duas, *Methanobrevibacter ruminantium* e *Methanosaarcina* sp foram encontradas em grande número no rúmen (McAllister et al, 1996). No rúmen, as *Archaea* são encontradas associadas a protozoário ciliados e justapostas com bactérias. Espécies metanogênicas tem grande afinidade em sintetizar CH_4 a partir de H_2 e CO_2 para gerar suas necessidades energéticas para o crescimento (Miller 1995) (Figura 1). Elas também têm a capacidade de sintetizar CH_4 a partir do formato e, em menor grau, a partir do metanol, mono-, di-e tri-metilamina e acetato, mas é a redução do CO_2 a via preferencial. A conversão anaeróbia da matéria orgânica em CH_4 no rúmen envolve um consórcio de microorganismos ruminais, com a etapa final realizada pelas metanogênicas (McALLISTER et al, 1996).

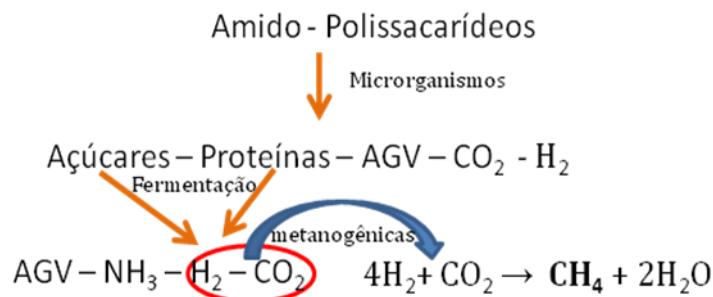


Figura 1- Esquema de produção de metano por fermentação ruminal

Primeiro os microrganismos digestivo como bactérias, protozoários e fungos hidrolisam o amido dietético e polissacarídeos da parede celular vegetal produzindo açúcares, ácidos graxos voláteis (AGV), CO₂ e H₂. Os açúcares e proteínas são então fermentados por microrganismos secundário para AGV, amônia, hidrogênio e de CO₂.

As metanogênicas então removem H₂ e reduzem CO₂ para formar CH₄. Produzindo CH₄ mantém a concentração baixa de hidrogênio no rúmen, o que permite às bactérias metanogênicas promover o crescimento de outras espécies bacterianas e prover uma fermentação mais eficiente (TEIXEIRA et al. 1998).

McSweeney e McCrabb (2001) relataram que os efeitos adversos do acúmulo de H₂ no rúmen incluem a inibição da re-oxidação do NADH e o acúmulo de lactato ou etanol, o que proporciona queda de pH, tendo como consequência a redução da eficiência do crescimento de microrganismos que degradam a fibra da dieta.

Portanto, o CH₄ é um subproduto da fermentação ruminal, e sua produção serve como principal “dreno” de hidrogênio (JOHNSON e JOHNSON, 1995).

O processo de digestão microbiana ruminal é complexo e delicado necessitando de equilíbrio dos ecossistemas no qual Archaea metanogênicas preenchem um nicho importante. Para Joblin (1999), a gestão do H₂ no rúmen é a chave para controlar as emissões de CH₄ pelos ruminantes.

4. Produção de metano pelo intestino grosso

A proporção da dieta digerida no intestino grosso geralmente aumenta quando uma dieta de pior qualidade é oferecida. A digestão fermentativa ocorre principalmente no ceco e cólon proximal, sendo o tempo de permanência da digesta muito inferior ao do rúmen. O intestino grosso é responsável por cerca de 12 a 17% da produção de AGV e de 6 a 14% da produção de CH_4 do animal por dia (Immig, 1996). Deste total, aproximadamente 89% é absorvido pelo sangue e expirado através dos pulmões, indicando que apesar de haver produção de CH_4 no trato digestório posterior a maior parte (98%) do total de CH_4 produzido é expirado pela boca e orifícios nasais.

5. Fatores que afetam a emissão de metano

Diversos autores apontam que a energia não aproveitada devido a produção e eliminação de gás CH_4 se deve a muitos fatores. Estes incluem: consumo de alimento, composição da dieta, adição de lipídeos, digestibilidade. Estes fatores se convertem em fatores alternativos para a mitigação da metanogênese.

5.1 Consumo de alimento

A relação entre emissão de CH_4 (g/d) e consumo de matéria seca é positiva, mas caracterizada por alta variabilidade entre os animais (Figura 2).

Segundo Lassey et al. (1997), em torno de 87% da variação na emissão de CH_4 é atribuído às diferenças entre os animais, e somente 13% é devido as diferenças na ingestão de matéria seca (MS).

Portanto, as características intrínsecas dos animais são importante causa de variação na quantidade de CH_4 . De acordo com Lassey (2002), estas variações podem ocorrer em animais zebuínos, taurinos e cruzados e podem estar associadas às distintas características dos animais, como volume do rúmen, capacidade de seleção de alimentos, tempo de retenção dos alimentos

no rúmen e as associações de fatores que conduzem à maior ou menor capacidade de digestão da fibra dos alimentos.

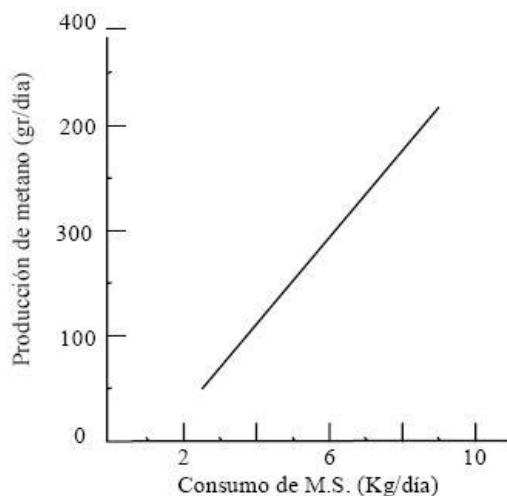


Figura 2. Relação entre consumo de matéria seca e produção de metano.

Adaptado de Kurihara et al. (1999)

Quando a emissão de CH_4 por unidade de alimento ingerido (MJ de metano/100MJ de energia bruta ingerida) é contrastada com o consumo de MS (Figura 3), encontra-se uma forte relação negativa ($r= - 0.597$; $P<0.01$), indicando que com o aumento percentual do consumo a energia perdida como CH_4 diminui. Isso sugere que para uma eficiente produção animal e redução das emissões de CH_4 é vantajosa a alimentação dos animais acima da ingestão de manutenção.

Kurihara et al.(1999), mostraram que maior emissão CH_4 está associada com a maior ingestão de matéria seca pelo animal e com a menor densidade de energia digerível da dieta.

Os autores identificaram os alimentos em ordem decrescente de emissão:

- Capins tropicais (metabolismo C_4 , com mais fibras e mais lignina).
- Capins de clima temperado (metabolismo C_3 , com menos fibras e menos lignina).
- Dietas com certo teor de grãos.

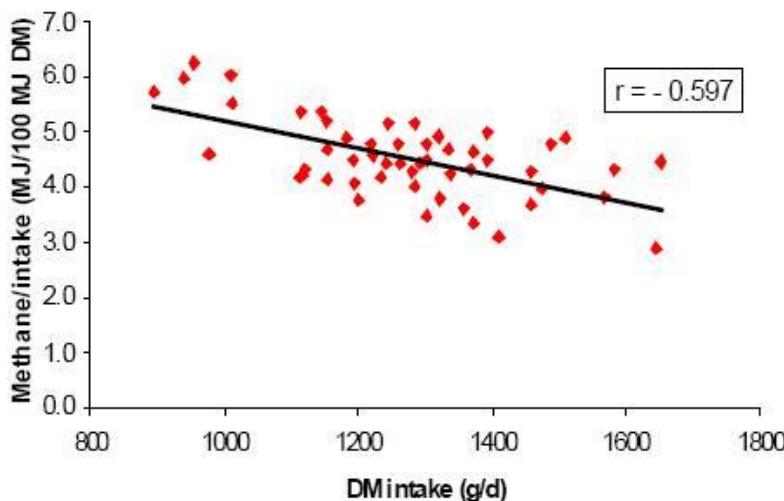


Figura 3. Emissão de metano por unidade de alimento consumido vs consumo de MS. Fonte: Lassey et al. (1997)

Um aspecto relacionado ao nível de consumo é a taxa de passagem do alimento, portanto, uma diminuição no tempo de retenção do alimento no rúmen pode reduzir a produção de CH_4 . Tedeschi et al. (2003) mencionam que aumentando a taxa de passagem ruminal em 50% a produção de CH_4 sofre redução de 30%. Quando expresso como proporção da energia digestível, a diminuição das perdas de CH_4 foram de 1,6 % para cada unidade de aumento no consumo de ração acima da exigência de manutenção.

5.2 Composição da dieta

Os principais componentes da dieta: açucares, amido, fibras, proteínas e lipídeos parecem ter diferentes impactos sobre a produção de CH_4 . Kirchgessner et al (1995), realizaram análise das frações brutas de nutrientes e seu impacto sobre a emissão de CH_4 , para vacas leiteiras, em média a fibra bruta contribui com 60%, extractivos não-nitrogenados 30% e proteína bruta 10%.

A produção de CH_4 também é afetada com o tipo de carboidrato fermentado.

Pedreira (2004) mediu as perdas de energia ingerida, na forma de CH_4 ruminal, em novilhas mestiças zebuínas (400-540 kg), alimentadas com

silagem de sorgo e partes crescentes da MS substituída por concentrado energético ou com cana-de-açúcar picada corrigida com 1% de uréia ou 40% de concentrado energético, em condições controladas de ingestão de MS, observou redução da perda de energia bruta ingerida na forma de CH_4 à medida que houve aumento da ingestão de MS com maior densidade energética e protéica, estando este resultado diretamente ligado à melhor qualidade do alimento.

Quando o animal recebe dietas com maior concentração de amido, ocorre queda do pH, tornando um ambiente mais hostil para a sobrevivência de metanogênicas, devido a baixa produção de H_2 resultante dessa fermentação. Então, menos CH_4 é produzido por unidade de amido do que por unidade de carboidrato estrutural.

A qualidade nutricional dos alimentos tem se tornado um dos principais recursos para mitigação da emissão de CH_4 , sendo gerados por muitas pesquisas resultados que indicam o uso de concentrados como componente mais efetivo nesta redução. Porém, quando tratamos de um fator de grande impacto ao ambiente, como o CH_4 , é necessário analisarmos a cadeia produtiva como um todo, quantificando os gastos energéticos envolvidos na produção de grãos e avaliar se estes não são maiores do que a diminuição de sua inclusão na dieta sobre a emissão de CH_4 ruminal.

5.3 Lipídeos na dieta

Os lipídeos são utilizados nas dietas para aumentar a energia de rações, resultante de sua elevada densidade calórica para manipular a fermentação ruminal. A fermentação ruminal dos carboidratos estruturais é reduzida pela adição de lipídeos às dietas e o grau de redução depende das fontes de fibra e de lipídeos (VALADARES FILHO, et al. 2006)

A adição de lipídios à dieta pode reduzir as emissões de CH_4 , o que depende da quantidade suplementada, do grau de insaturação e do comprimento da cadeia do lipídeo.

O fornecimento de lipídeos insaturados está associado à redução na produção de CH_4 no rúmen por exercer ação deletéria sobre as metanogênicas

e protozoários e consumir H₂ pelo processo de biohidrogenação (MACHMÜLLER et al. 1998).

5.4 Digestibilidade

Emissões de CH₄ comparadas a diferentes digestibilidades apresentam um elevado grau de variação, visto que esse fator é dependente da composição e nível de consumo da dieta.

Quando é fornecido alimento em baixos níveis de consumo, a emissão de CH₄ (MJ/100MJ) aumenta à medida que aumenta a digestibilidade, enquanto que com o consumo elevado as emissões de CH₄ caem com o aumento da digestibilidade (Figura 4).

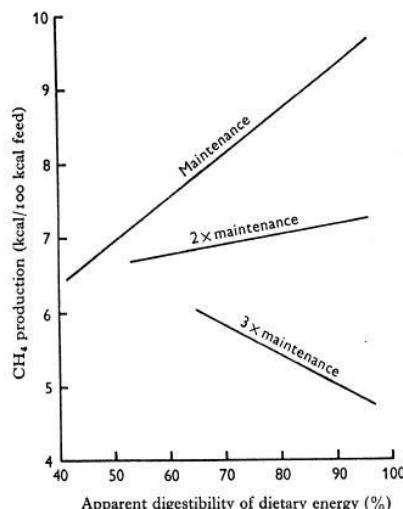


Figura 4. Relação entre digestibilidade e emissão de metano em diferentes níveis de consumo. Fonte: Blaxter & Clapperton (1965)

Pelas razões expostas acima, em relação a produção de CH₄ entérico, é notável que medidas melhoradoras na eficiência produtiva mitigam as emissões de CH₄.

6. Mitigação das emissões de metano

Normalmente, compostos que causam redução na produção de CH₄ resultam em redução da produção de acetato e amônia e aumento a produção de propionato (GARCIA LOPEZ et al.1996).

A fração de ácido propiônico que é produzida em relação ao ácido acético tem um impacto importante sobre a produção de CH₄. Se a relação acético:propiônico fosse 0,5, a perda de energia como CH₄ seria 0%. Se todos os carboidratos fossem fermentado em ácido acético (sem produção de ácido propiônico), as perdas de energia como CH₄ chegariam a 33% (Wolin e Miller, 1988). A relação acético:propiônico pode variar de 0,9 a 4, portanto, as perdas na forma de CH₄ podem ser amplamente alteradas.

6.1 Aumento da eficiência

Segundo dados relatados por O'hara (2003), adotando fator de emissão de 26 g / kg Matéria Seca Digestível Ingerida (MSDI) a emissão de CH₄ para uma ovelha de 50 kg seria de 18 g / d, 80 g / d para uma vaca de corte de 450 kg e 105 g / d para uma vaca leiteira de 450 kg. Estas emissões correspondem a quantidades de CH₄ sem associação com qualquer produção.

Quanto maior a ingestão acima da manutenção, ou quanto maior o nível de produção, menor será o CH₄ emitido por unidade de produto e assim, maior a eficiência em relação ao CH₄ (Tabela 3).

Para manter um animal eficiente, muitas vezes a melhor estratégia a ser adotada é aumentar a ingestão de alimento por animal existente (ver figura 4), ao invés de aumentar taxa de lotação.

Tabela 3. Estimativa da emissão de CH₄ na manutenção e produção de leite de vacas de 450 kg PV em pastejo com diferentes taxas de ingestão de MS.

Ingestão de MS digestível	Produção de leite (kg/dia)	% CH ₄ associada com: Manutenção		Produção de CH ₄ (g/dia)	Produção de CH ₄ /kg de leite (g/Kg)
		Produção	Manutenção		
4,0	0	100	0	105	-
7,9	12	51	49	206	17,2
10,5	20	39	61	272	13,6
11,7	24	34	66	305	12,7

Fonte: O'hara (2003)

O aumento da ingestão (MSDI) da mesma dieta de uma vaca aumenta a produção de leite, mas diminui a quantidade de CH₄ emitido por unidade de leite. Conforme aumenta a ingestão, a proporção do CH₄ associado com a manutenção declina. Este comportamento é conhecido como a diluição de manutenção com aumento do consumo, o que em termos de eficiência produtiva é claramente vantajoso para maximizar a quantidade ingerida.

6.2 Manipulação da dieta

Melhorar o valor nutritivo da alimentação dada aos animais em pastejo, equilibrar a dieta com concentrados, ou fornecer pastagens de melhor qualidade (melhor digestibilidade), são algumas alternativas que podem resultar na redução das emissões de CH₄.

A utilização de pastagens de melhor qualidade aumenta o crescimento microbiano, pois aumenta a eficiência do processo fermentativo no rúmen com decréscimo na metanogênese por unidade de carboidrato degradado.

Dietas de alta digestibilidade reduzem a emissão de CH₄, conforme visto acima. Esse efeito pode ser visualizado na tabela 4, onde foram fornecidos alimentos com crescentes níveis de digestibilidade para atingir a mesma produção. Os animais consumiram menos da dieta com maior

digestibilidade, e consequentemente, produziram menores quantidades de CH₄ total e por unidade de leite produzido.

Tabela 4. Efeito da qualidade do alimento sobre a emissão de metano de vacas com mesma produção de leite.

Digestibilidade da MS (%)	55	65	75
Produção de leite (kg/dia)	20	20	20
Consumo alimento (kg/MS/dia)	21,6	17,5	14,6
Emissão de CH ₄ (g/d) *	309	296	285
g CH ₄ / kg leite	15,5	14,8	14,3

* fator de emissão 26 g / kg MSDI.

Fonte: Adaptado de O' hara (2003)

Utilizando modelagem matemática para avaliar a eficiência de diferentes estratégias nutricionais existentes para reduzir a produção de CH₄ Benchaar et al. (2001) encontraram que o aumento do consumo de MS e da proporção de concentrado na dieta reduz a produção de CH₄ de 7 a 40%, a produção de CH₄ também diminuiu (22%) com a substituição de alimento fibroso por alimentos com maiores teores de amido e com a utilização de menos amido degradável no rúmen (17%). A utilização de forragem mais digestível resultou em uma redução da produção de CH₄ de 15 a 21%. Produção de CH₄ foi menor com leguminosas forrageiras do que com gramíneas (28%) e com a silagem em comparação ao feno (20%).

Ainda em busca do aumento da eficiência e diminuição de custos na pecuária, tem-se empregado o uso de aditivos alimentares na redução da produção de CH₄.

6.3 Uso de aditivos alimentares

Segundo Lanna et al. (2007), propõe-se o termo “pró-nutriente”, sendo definido como microingrediente de alimentação utilizados oralmente em pequenas doses e que promovem os valores intrínsecos de uma mistura de nutrientes em uma dieta animal.

Ionóforos foram inicialmente, e ainda são utilizados como coccidiostáticos na avicultura, mas descobriu-se que a suplementação oral melhorava o desempenho de ruminantes.

O seu efeito deve-se à alteração na fermentação ruminal, com alterações na proporção de AGV produzidos e na concentração de amônia, processos chaves que afetam diretamente o metabolismo de energia e proteína animal. O uso de ionóforos aumenta a retenção de energia fermentada no rúmen devido uma alteração no padrão de fermentação, com maior produção de propionato em relação a acetato e decorrente diminuição das perdas através de CH_4 . Ainda segundo Tedeschi (2003) melhora até 7,5% a conversão alimentar e reduz em 4% a excreção de nitrogênio pelos animais.

Por outro lado, Johnson (1974) relatou que a produção de CH_4 foi inicialmente reduzida em 64%, mas dentro de 30 dias a produção de CH_4 regressou a níveis próximos do controle. Portanto, a redução observada na produção de CH_4 pela suplementação de ionóforo pode ser relacionada com a redução no consumo de ração e não um efeito direto sobre a metanogênese.

Van Soest (1994) comenta que os ionóforos não são inibidores diretos das bactérias metanogênicas. Agem restringindo a produção de H_2 e consequentemente a formação de CH_4 . Os verdadeiros inibidores são os metano alógenos e os metil-derivados.

6.4 Outras formas

Sabe-se que animais com capacidade produtiva mais baixa, selecionados para pastagens de menor qualidade ou, por vezes, com restrição de oferta, se desenvolvem mais lentamente, pois ingerem menos alimento, embora ocorra taxa de conversão de energia bruta ingerida similar ao de animais produtivos. Portanto, animais mais produtivos conseguem distribuir melhor a carga de CH_4 por unidade de produto gerado (Primavesi et al. 2004). A tabela 5 apresenta uma comparação de um sistema de produção de carne, onde foi possível através de pesquisas e emprego de tecnologia reduzir a idade de abate, diminuindo o tamanho do rebanho e a produção de CH_4 no final do ciclo produtivo.

Tabela 5. Percentual de redução na emissão de metano de acordo com idade de abate.

ANO	Tempo para abate (anos)	CH4 TOTAL*	Peso médio ao abate	Kg CH4/kg carne	% redução na emissão CH4
1990	5	285	400	0,71	
Hoje	3,5	199,5	400	0,49	31
Hoje	2	114	400	0,28	60

* Considerando emissão de 57 kg CH4/ano (IPCC).

Algumas formas de manejo dentro da propriedade também podem reduzir as perdas de energia, como evitar longas caminhadas dos animais até fontes de água e de alimento, sendo necessário aumento da oferta de forragem por unidade de área e instalar bebedouros em locais estratégicos (áreas de descanso).

7. Técnicas para mensuração de metano ruminal

Para possibilitar o desenvolvimento de estratégias que reduzam a emissão de CH₄ pelos rebanhos, é necessário quantificar a emissão das várias categorias animais sob as mais diferentes condições de manejo alimentar.

Existem muitas técnicas (mensuração em câmara fechada, equações de predição e uso de gás traçador inerte) para quantificar a emissão individual ou em grupo de CH₄ ruminal.

7.1 Câmaras de respiração

Consiste em câmaras fechadas, onde um fluxo de ar conhecido passa através da câmara contendo o animal, sendo coletada na saída a concentração de gases (absorção de oxigênio, produção de CO₂ e CH₄), a diferença entre a concentração de gases da entrada e da saída servem para gerarem a emissão total de gases naquelas condições.

Esta técnica reduz a movimentação do animal durante a coleta de dados, requer animais treinados, e altos dispêndios o que acaba por limitar o número de animais avaliados.

7.2 Equações de predição

Permitem calcular as emissões de CH_4 através da distribuição molar dos AGV. O balanço fermentativo tem sido usado extensivamente para predizer a produção de CH_4 provinda da conversão de carboidratos dietéticos em AGV (CARMONA et al. 2005).

A metodologia proposta assume que todo o excesso de H_2 é convertido em CH_4 e não existe H_2 associado com a síntese de células microbianas e que da fermentação de substratos não carboidratos não há produção de AVG.

Benchaar et al. (1998), ressaltam que as equações de predição da produção de CH_4 no ecossistema ruminal exigem informações do consumo de matéria seca, composição química da dieta (incluindo solubilidade e taxa de degradabilidade), taxa de passagem das frações sólidas e líquidas do rúmen, volume ruminal e pH do fluido ruminal.

Estas técnicas são precisas, porém com capacidade limitada, úteis em condições controladas, mas restritas em condições de campo.

Uma técnica usada para aferições da emissão de CH_4 , sem as limitações encontradas em outras técnicas, em animais sob condições normais de pastejo é a técnica de utilização de um gás traçador inerte o hexafluoreto de enxofre (SF_6).

7.3 Gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF_6)

A técnica do traçador hexafluoreto de enxofre (SF_6), para determinação de CH_4 ruminal, foi desenvolvida por Kristen A. Johnson e Hal H. Westberg, na Washington State University, em Pullman, Washington, EUA.

Esta técnica consiste no uso de uma pequena cápsula de permeação com SF_6 , inserida no rúmen e com liberação conhecida. Um cabresto equipado com tubo capilar é ajustado na cabeça do animal e conectado a uma canga amostradora submetida previamente a uma bomba de vácuo. A válvula fixada

na canga é aberta, para iniciar a coleta do ar em torno do focinho e das narinas do animal, a uma taxa constante de aspiração. O sistema amostrador é calibrado, para completar metade da capacidade de armazenamento da canga amostradora, (0,5 atm), no período de coleta predeterminado (normalmente 24 h). A regulagem do tempo de amostragem é realizada variando-se o comprimento ou o diâmetro do tubo capilar. Após a amostragem, a pressão na canga é medida precisamente, com medidor digital, e a canga é pressurizada com nitrogênio de alta pureza para uma pressão aproximada de 1,2 atm. Essa pressurização é necessária para a diluição das amostras coletadas e sua injeção no equipamento de análise. As concentrações de CH₄ e de SF₆ são determinadas por cromatografia gasosa. A taxa de emissão de CH₄ é calculada por:

$$QCH_4 = QSF_6 \times [CH_4] / [SF_6]$$

Onde:

QCH₄: Taxa de emissão de CH₄ em litros/hora;

QSF₆: Taxa de liberação de SF₆ conhecida no tubo capilar;

[CH₄] e [SF₆]: Concentração medida na canga.

Essa técnica elimina a necessidade de confinar os animais em gaiolas ou câmaras barimétricas e permite que eles se desloquem e pastem normalmente. Também não é necessário realizar amostragem no rúmen ou na faringe do animal, porque o traçador acompanha as mudanças na diluição associadas ao movimento da cabeça do animal ou do ar. Como os ruminantes eructam e respiram a maior parte do CH₄, a coleta de ar em torno do focinho e das narinas deve resultar em estimativa precisa da produção de CH₄ pelo animal.

Os procedimentos e equipamentos necessários para a utilização desta técnica estão mais detalhados em Primavesi et al. (2004).

8. Considerações finais

Existem muitas estratégias que poderiam ser consideradas para efeitos de redução as emissões de CH₄ a partir de fermentação entérica. Muitas destas são práticas que os produtores estão buscando otimizar, como maximizar produtividade, reduzir idade de abate, e fornecer forrageiras de boa qualidade. Para isso, torna-se fundamental a adoção de pesquisas que possibilitem ao setor produtivo manter sua expansão sobre uma base de melhor intensidade tecnológica, gerando benefícios econômicos e ambientais a pecuária.

9. Referências Bibliográficas

- BENCHAAR, C., RIVEST, J., POMAR, C., CHIQUETTE, J. Prediction of methane production from dairy cows using existing mechanistic models and regression equations. *Journal of Animal Science*, 76: 617- 627, 1998.
- BENCHAAR, C., POMAR, C., CHIQUETTE, J. Evaluation of diet strategies to reduce methane production in ruminants: a modeling approach. *Canadian Journal of Animal Science*, 81: 563- 574, 2001.
- BLAXTER, K. L., & CLAPPERTON, J.L. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *British Journal of Nutrition*, 19: 511-522, 1965.
- CARMONA, J., BOLÍVAR, D., GIRALDO, L. El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias pecuarias* Vol 18: 1. pp 49-63, 2005.
- GARCIA-LOPEZ, P.M.; KUNG Jr., L.; ODOM, J.M. In vitro inhibition of microbial methane production by 9,10-anthraquinone. *Journal of Animal Science*, Savoy, v.74, p.2276-2284, 1996.
- IMMIG, I. The rumen and hindgut as a source of ruminant methanogenesis.

Environmental Monitoring and Assessment, 42: 57-72, 1996.

ISHINO, Y., KOMORI, K., CANN, I.K.O.; KOGA, Y. A novel DNA polymerase family found in Archaea. *Journal of Bacteriology*, Washington, v.180, p.2232-2236, 1998

TEDESCHI, L. O.; FOX, D.G.; TYLUTKI, T. P. Potential environmental benefits of inophores in ruminant diets. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v. 32, p. 1591-1602, 2003.

JOBLIN, K.N. Rumen acetogens and their potential to lower ruminant methane emissions. *Australian Journal of Agricultural Research*, 50:1307-1313, 1999.

JOHNSON, D., E. Adaptational responses in nitrogen and energy balance of lambs fed a methane inhibitor. *Journal of Animal Science* 38:154, 1974.

JOHNSON, K.A.; JOHNSON, D.E. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*, Savoy, v.73, p.2483-2492, 1995.

KIRCHGESSNER, M., WINDISCH, W., MULLER, H.L. Nutritional factors for the quantification of methane production. In *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction*: 333-348. (Eds) Engelhardt W, Leonhard-Marek S, Breves G & Gieseke D. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart. 1995.

KURIHARA . M, MAGNER. T, McCRABB. H, McCRABB G. Methane production and energy partition of cattle in the tropics. *British Journal of Nutrition*, 81: 227-234, 1999.

LANA, R. P. Nutrição e alimentação animal (mitos e realidades). 2^a ed. Viçosa: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2007. 344p

LASSEY, K.R, ULYATT, M.J, MARTIN, R.J, WALKER, C.F, SHELTON, I.D. Methane emissions measured directly from grazing livestock in New Zealand. *Atmospheric Environment*, 31:2905-2914, 1997.

LASSEY, K.R. Methane emission by grazing livestock: some findings on emission determinants. In: International Symposium, maastricht the Netherlands, NON-CO₂ greenhouse gases, 3, 2002, Netherlands. Proceedings... Netherlands: Millpress, 2002. p.95-100.

MACHMULLER, A., OSSOWSKI, D.A., WANNER, M., KRUEZER, M. Potential of various fatty feeds to reduce methane release from rumen fermentation in vitro (RUSITEC). *Animal Feed Science and Technology*, 71: 117-130, 1998.

McALLISTER, A.T., OKINE, E.K., MATHISON, G.W.; CHENG, K.J. Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants. *Canadian Journal of Animal Science*, Ottawa, v.76, p. 231-243, 1996.

McSWEENEY, C.S.; McCRABB, G.J. Inhibition of rumen methanogenesis and its effects on feed intake, digestion, and animal production. In: INTERNACIONAL CONFERENCE ON GREENHOUSE GASES AND ANIMAL AGRICULTURE – GGAA, 1., 2001, Hokkaido. Proceedings...Hokkaido: Greenhouse Gases and Animal Agriculture, 2001. p.96-104.

MILLER, T.L. Ecology of methane production and hydrogen sink in the rumen. In: ENGELHARDT, W. V., LEONHARD-MAREK, S., BREVES, G., GIESSECKE, D. (Ed). *Ruminant Physiology: Digestion, metabolism, growth and reproduction*. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag. 1995. p. 317-332.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA - MCT. *Convenção sobre Mudança do Clima*. 2000

O'HARA, P.; FRENEY, J.; ULYATT, M. Abatement of agricultural non-carbon dioxide greenhouse gas emissions: a study of research requirements. Ministerial Group on Climate Change, the Minister of Agriculture and the Primary Industries Council. New Zealand: Crown Copyright - Ministry of Agriculture and Forestry, 2003. 170p.

PEDREIRA, M.S. Estimativa da produção de metano de origem ruminal por bovinos tendo como base a utilização de alimentos volumosos: utilização da metodologia do gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF6). 2004. 136f. Tese (Doutorado, em Zootecnia) – Faculdade de Ciência Agronômica e Veterinária – UNESP, Jaboticabal, 2004.

PINEDO, L.A., JACOMINI, A., VENDRAMIN, D. et al. Inventário de emissões de gás metano provenientes da fermentação entérica e óxido nitroso do manejo de dejetos animais - período 1990 a 2005. PUBVET, Londrina, V. 3, N. 11, Mar 4, 2009.

PRIMAVESI, O, FRIGHETTO, R.T.S., LIMA, M.A.; BERCHIELLI, T.T.; BARBOSA, P.F. Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.39, p.277-283, 2004.

PRIMAVESI, O., FRIGUETTO, R. T. S.; PEDREIRA, M. S.; LIMA, M. A.; BERCHIELLI, T. T.; DEMARCHI, J. J. A. A.; MANELLA, M. Q.; BARBOSA, P. F.; JOHNSON, K. A.; WESTBERG, H.H. Técnica do Gás traçador SF6 para medição de campo do metano ruminal em bovinos: adaptações para o Brasil. São Carlos: EMBRAPA Pecuária Sudeste, 2004, 77p.

TEIXEIRA J.C. & TEIXEIRA L.F.A.C. Do alimento ao leite: Entendendo a função ruminal. Lavras: UFLA-FAEPE, 1998, 74p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. Evaluating Ruminant Livestock Efficiency Projects and Programs In: PEER REVIEW DRAFT. Washington, D.C, 2000, 48p.

VALADARES FILHO, S.C; PINA, D.S. Fermentação ruminal. In: BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S G. Nutrição de Ruminantes. 1 ed. Jaboticabal. FUNEP, 2006 p.151-182.

VAN SOEST, PJ. Nutritional ecology of the ruminant. Second edition. Cornell University Press, 1994, 476 p.

WOLIN, M.J.; MILLER, T.L. Microbe-microbe interactions. In: HOBSON, P.N. (Ed.) The rumen microbial ecosystem. New York: Elsevier, p.343-359, 1988.