

Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras

Odo Primavesi⁽¹⁾, Rosa Toyoko Shiraiishi Frighetto⁽²⁾, Márcio dos Santos Pedreira⁽³⁾, Magda Aparecida de Lima⁽²⁾, Telma Teresinha Berchielli⁽³⁾ e Pedro Franklin Barbosa⁽¹⁾

⁽¹⁾Embrapa Pecuária Sudeste, Caixa Postal 339, CEP 13560-970 São Carlos, SP. E-mail: odo@cnpse.embrapa.br ⁽²⁾Embrapa Meio Ambiente, Caixa Postal 69, CEP 13820-000 Jaguariúna, SP. E-mail: rosa@cnpma.embrapa.br, magda@cnpma.embrapa.br ⁽³⁾Universidade Estadual Paulista, Fac. de Ciências Agrárias e Veterinárias, Via de acesso Professor Paulo Donato Castelanne, km 5, s/nº, CEP 14884-900 Jaboticabal, SP. E-mail: pedreira@fcav.unesp.br, tberchi@fcav.unesp.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi quantificar a taxa de emissão de metano (CH₄) pela técnica do gás traçador, hexafluoreto de enxofre (SF₆), em bovinos leiteiros a pasto em condições tropicais brasileiras. As medições foram realizadas na estação das chuvas, com adequada oferta de forragem, em animais da raça Holandesa e Mestiça Leiteira Brasileira em pastagem de capim-tobiatã (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tobiatã) adubada, com vacas em lactação, vacas secas e novilhas, e em pastagem de capim-braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.) não adubada com novilhas. As concentrações de CH₄ e SF₆ foram determinadas por cromatografia gasosa. A emissão de CH₄ pelas vacas em lactação foi de 13,8 a 16,8 g/hora, pelas vacas secas de 11,6 a 12,3 g/hora, pelas novilhas em pastagem adubada de 9,5 g/hora, e pelas novilhas em pastagem sem adubo de 7,6 a 8,3 g/hora ou 66 a 72 kg/animal/ano. A emissão de CH₄ por matéria seca digestiva ingerida foi de 42 a 69 g/kg em vacas em lactação, de 46 a 56 g/kg em vacas secas, 45 a 58 g/kg em novilhas ingerindo pasto adubado e 58 a 62 g/kg em novilhas em pastagem sem adubo. A emissão de CH₄ por bovinos leiteiros ingerindo gramíneas tropicais é superior à emissão por bovinos ingerindo gramíneas de clima temperado.

Termos para indexação: traçador interno, hexafluoreto de enxofre, metano ruminal, gás de efeito estufa.

Dairy cattle enteric methane measured in Brazilian tropical conditions

Abstract – The objective of this work was to quantify methane (CH₄) emission using the sulfur hexafluoride (SF₆) tracer technique, by dairy cattle on pasture in Brazilian tropical field conditions. Measurements were performed in the rainy season, with Holstein and Holstein x Zebu crossbred, from lactating and dry cows and heifers grazing fertilized Tobiatã grass, and heifers grazing unfertilized *Brachiaria* grass. Methane and SF₆ concentrations were determined by gas chromatograph. Methane emissions by lactating cows varied from 13.8 to 16.8 g/hour, by dry cows from 11.6 to 12.3 g/hour, by heifers grazing fertilized grass was 9.5 g/hour and by heifers grazing unfertilized grass varied from 7.6 to 8.3 g/hour or 66 to 72 kg/head/year. Methane emission per digestive dry matter intake (DMDI) varied from 42 to 69 g/kg DMDI for lactating cows, 46 to 56 g/kg for dry cows, 45 to 58 g/kg for heifers grazing fertilized grass and 58 to 62 g/kg for heifers in unfertilized grass pasture. The CH₄ emission measured on dairy cattle feeding tropical grasses was higher than that observed for temperate climate conditions.

Index terms: internal tracer, sulfur hexafluoride, ruminal methane, greenhouse gas.

Introdução

A agricultura e a pecuária contribuem para as emissões antrópicas de metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) e óxido nitroso (N₂O) à atmosfera. O aumento da concentração desses gases provoca o aquecimento da superfície terrestre e destruição da camada de ozônio na estratosfera. Os países mais desenvolvidos têm sido apontados como os principais responsáveis pela situação atual da atmosfera do planeta. No entanto, as

estimativas realizadas nos países em desenvolvimento, localizados na região tropical, também os classifica como importantes emissores de gases de efeito estufa, uma vez que as condições climáticas dessa região aumentam em muito o potencial de emissão de gases como o CH₄, que já contribui com 15% para o forçamento radiativo global (Cotton & Pielke, 1995). A taxa de CH₄ emitido pelos ruminantes domésticos é considerada a terceira maior fonte em escala global (Estados Unidos, 2000).

A produção de CH₄ é parte do processo digestivo dos herbívoros ruminantes e ocorre no rúmen. A fermentação que ocorre durante o metabolismo dos carboidratos do material vegetal ingerido é um processo anaeróbio efetuado pela população microbiana ruminal, que converte os carboidratos celulósicos em ácidos graxos de cadeia curta, principalmente ácidos acético, propiônico e butírico. Nesse processo digestivo, parte do carbono é concomitantemente transformada também em CO₂. A emissão de CH₄ varia entre 4% e 9% da energia bruta do alimento ingerido, e a média encontrada é de 6% (Estados Unidos, 2000).

A emissão global de CH₄ pelos processos entéricos é estimada em cerca de 80 teragramas ao ano (Tg), correspondendo a 22% da emissão total de CH₄ gerada por fontes antrópicas, e a emissão proveniente de dejetos animais são estimadas em cerca de 25 Tg/ano, correspondendo a 7% da emissão total (Estados Unidos, 2000).

No Brasil, a maior parte do efetivo da pecuária é representada por bovinos (87% representado por gado de corte e 13% por gado de leite), com 160 milhões de cabeças em 1995 (Lima et al., 2001), sendo considerado o maior rebanho bovino do mundo com fins comerciais, tornando-o um grande contribuinte em emissão de CH₄ por fermentação entérica.

Grande parte do rebanho bovino é do tipo zebuino, criado em sistemas predominantemente extensivos. Foi estimada emissão de cerca de 9,2 milhões de toneladas de CH₄ provenientes da pecuária (Lima et al., 2001), considerando-se os efetivos de categorias de animais ruminantes e falsos-ruminantes e a produção de dejetos animais, em 1995 (Anuário Estatístico do Brasil, 1997). Tais estimativas basearam-se em dados secundários levantados no País e em valores de referência propostos pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (1996). Essa emissão corresponde a 96% de todo o CH₄ gerado por fontes de origem agrícola no país (que inclui também o cultivo de arroz irrigado por inundação e a queima de resíduos agrícolas nos campos). Somente as categorias de bovinos de corte e de leite somam 96% das emissões de CH₄ provenientes da fermentação entérica na pecuária do País.

A Embrapa Meio Ambiente coordenou, no período de 1996 a 1999, a elaboração do inventário da emissão de gases de efeito estufa provenientes de atividades agrícolas no Brasil (Lima et al., 2001), incluindo a emissão de CH₄ pela fermentação entérica e por resíduos animais.

Métodos para a medição de CH₄ em animais, usando câmaras fechadas confeccionadas com tubos de PVC, foram descritos em Lockyer (1997) e em Estados Unidos (1990). Em animais criados em regime de pastagem, Johnson & Johnson (1995) desenvolveram a técnica empregando o hexafluoreto de enxofre (SF₆) como gás traçador interno. Essa técnica consiste na colocação de um tubo de permeação, que libera o SF₆ a uma taxa previamente conhecida, no rúmen do animal e as amostras de CH₄ e SF₆ são coletadas nas proximidades da boca e narina do animal. Assume-se nesse método que o padrão de emissão de SF₆ simula o padrão de emissão de CH₄. O fluxo de CH₄ liberado pelo animal é calculado em relação ao fluxo de SF₆ (Westberg et al., 1998).

O objetivo deste trabalho foi quantificar, por meio do hexafluoreto de enxofre, a emissão de CH₄ ruminal por bovinos leiteiros mantidos em pastagens tropicais brasileiras.

Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido na Embrapa Meio Ambiente, em Jaguariúna, SP, em conjunto com a Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos, SP, com a colaboração técnica da Washington State University, em Pullman, WA, EUA, e com o apoio da Unesp, Campus de Jaboticabal, SP.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, representados por quatro semanas consecutivas, aplicado em dois sistemas de produção (animais da raça Holandesa Preto e Branco e animais da raça Mestiça Leiteira Brasileira – Holandesa x Zebu), com quatro tratamentos por sistema (novilha, vaca seca e vaca em lactação sobre pastagem adubada, e novilha sobre pastagem não adubada), um animal por tratamento, duas coletas por dia (das 7h às 19h e das 19h às 7h), durante cinco dias seguidos, na estação das chuvas. As duas medições diárias e ao longo de cinco dias constituíram dez sub-repetições para compor as quatro repetições. A alimentação dos animais mantidos em pastagens adubadas foi constituída de forragem de capim-tobiatã (*Panicum maximum* L.), e suplementadas com ração concentrada com 20% de proteína bruta (PB), na base de 1 kg/3 L de leite a partir de 10 L de leite para vacas holandesas em lactação, 3,4 kg com 18% de PB para vacas mestiças em lactação sobre capim-braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.) adubado, 2 kg com 18% de PB para vacas secas e novilhas tanto holande-

sas como mestiças, mantidas em pastagens de capim-tobiatã (sistema intensivo) e novilhas holandesas e mestiças em pastagens de capim-braquiária sem adubação e sem suplementação (sistema extensivo), simulando as condições normais das pastagens brasileiras (Tabelas 1 e 2).

Foram coletadas amostras de forragem, simulando o pastejo, coletando 20 subamostras com moldura de 0,50x0,50 m lançada aleatoriamente, para determinar a massa de forragem por hectare e para determinação da qualidade da forragem ingerida, após secagem em estufa a 60°C com circulação forçada de ar por 48 horas, até peso constante (Silva, 1981). Após secagem a 105°C durante 8 horas, foram determinados matéria seca (Silva, 1981), proteína bruta (Kjeldahl, descrito em Association of Official Analytical Chemists, 1990), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) (Soest, 1965), lignina (Soest & Wine, 1968), cinzas ou material mineral (Silva, 1981) e digestibilidade in vitro da matéria orgânica (Tilley & Terry, 1963). Por meio de cálculos, foram determinados teores de matéria orgânica (matéria seca menos as cinzas), celulose (fibra detergente ácido menos lignina) e hemicelulose (fibra detergente neutro menos fibra detergente ácido). A ingestão de matéria seca da forragem foi estimada utilizando o programa Cornell Nutrient Management Planning System – CNCPS, versão 5.0.033 (Cornell University, 2003), para cada animal.

Os animais pastejando gramíneas adubadas permaneceram durante um dia no piquete de 2.500 m², após este ter ficado em descanso por 33 dias. A lotação foi de 10,8 unidades animal (UA) por hectare, sendo de 2,5 UA/ha na pastagem sem adubação. Os animais monitorados ficaram junto do rebanho normal. Os animais passaram por um período de 15 dias de adaptação ao uso do cabresto e

a canga coletora, antes de iniciar as coletas, com a finalidade de evitar alterações induzidas pelo estresse.

A técnica empregada para a mensuração de CH₄ foi aquela denominada técnica do traçador interno SF₆ (Johnson & Johnson, 1995). Para tanto, utilizou-se uma canga coletora-armazenadora em tubo de PVC de 60 mm de classe 20, tendo pressão interna próxima de zero atmosfera, calibrada para atingir meia atmosfera de pressão no final do período de coleta, mediante tubo capilar de aço inoxidável com 0,127 mm de diâmetro interno preso a um cabresto. A calibração foi determinada pelo comprimento do tubo capilar que, no caso, apresentou aproximadamente 4 cm, para um período de 12 horas. A canga foi conectada ao tubo capilar por meio de engate rápido.

Após a adaptação dos animais ao aparato de amostragem, as coletas de gases ruminais foram realizadas ao longo de cinco dias consecutivos durante quatro semanas seguidas, no mês de fevereiro de 2002, em intervalos de 12 horas. As concentrações de CH₄ e SF₆ foram determinadas em cromatógrafo a gás HP6890, equipado com detector de ionização de chama (FID) e coluna megabore (0,53 µm, 30 m) Plot HP-AI/M (para CH₄) e detector de captura de elétrons (µ-ECD) e coluna megabore HP-MolSiv (para SF₆), com dois loops de 0,5 cm³ acoplados a duas válvulas de seis vias. A pressurização das cangas até atingir uma pressão aproximada de 1,2 atm foi realizada com nitrogênio especial 5.0, com as leituras de pressão feitas em medidor digital (±0,01). As curvas de calibração foram estabelecidas utilizando-se padrões de gases certificados pela White Martins (Praxair), com concentração em ppt (34±9, 91±9 e 978±98 ppt) para SF₆ e em ppm (4,85 e 20 ppm) para CH₄, conforme Westberg et al. (1998).

Tabela 1. Características químicas dos alimentos oferecidos a vacas leiteiras em pastagens de capim-tobiatã e capim-braquiária, no verão de 2002⁽¹⁾.

Características ⁽²⁾	Capim-tobiatã	Capim-braquiária		Concentrado	
	Com adubo	Com adubo	Sem adubo	20% de PB	18% de PB
MO (g/kg)	899a	911a	920a	941	875
FDN (g/kg)	642c	686b	719a	133	280
FDA (g/kg)	342a	346	362a	45	153
Celulose (g/kg)	329a	323a	335a	45	111
Hcelulose (g/kg)	300b	340a	357a	88	127
Lignina (g/kg)	13b	24a	28a	0	42
PB (g/kg)	154a	73b	65b	271	216
DIVMO (%)	54,4a	47,3b	37,2a	82,3	54,7

⁽¹⁾Médias na mesma linha seguidas por letras diferentes diferem entre si a 5% de probabilidade (Tukey).⁽²⁾MO: matéria orgânica; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido; PB: proteína bruta; DIVMO: digestibilidade in vitro da matéria orgânica.

O fluxo de CH₄ liberado pelo animal é calculado em relação ao fluxo de SF₆, correlacionando os resultados à taxa conhecida de liberação do traçador no rúmen (Westberg et al., 1998). A partir dos dados primários foi calculada a emissão potencial de CH₄ por ano (não considerando variações na oferta e na qualidade da forragem), por dia, por quilograma de peso vivo e por litro de leite produzido, e a perda de energia digestiva ingerida na forma de CH₄, considerando 0,0133 Mcal/g de CH₄ (Holter & Young, 1992) e 4,4 Mcal de energia por kg de matéria seca (Holter & Young, 1992), sendo a energia digestível estimada a partir do percentual digestivo da energia bruta.

Na avaliação dos resultados, foi utilizado o pacote estatístico Statistical Analysis Systems (SAS Institute, 1993), procedimento GLM, e para a comparação entre médias de categorias de animal na mesma raça, o teste

Tukey a 5% de probabilidade, e o teste F para categorias entre raças.

Resultados e Discussão

Quanto à composição química e digestibilidade das forrageiras (Tabela 1), o capim-braquiária sem adubo mostrou conteúdos mais elevados de FDN e menores de PB, além de apresentar menor digestibilidade in vitro da matéria orgânica do que o capim-tobiatã, que apresentou valores de PB na faixa do ótimo. As gramíneas tropicais utilizadas neste trabalho não chegaram a características extremas de PB, FDN, FDA, celulose, hemicelulose e lignina descritas no trabalho adotado como referência (Kurihara et al., 1999).

A quantidade de matéria seca ingerida foi maior quando 40% da dieta foi constituída de concentrado em rela-

Tabela 2. Quantidade e características dos alimentos ingeridos por gado leiteiro de duas raças no verão de 2002⁽¹⁾.

Características ⁽²⁾	Vacas em lactação (pastagem adubada)	Vacas secas (pastagem adubada)	Novilhas (pastagem adubada)	Novilhas (pastagem sem adubo)
Holandesa Preto e Branco				
Peso vivo (PV) (kg)	572abA	605aA	502bcA	459aA
Produção de leite (L/d)	22,7	-	-	-
MS (kg/d)	16aA	12bA	10bA	9bA
MO (kg/d)	15aA	11bA	9bA	8bA
MSD (kg/d)	10aA	6bA	5bcA	3cA
FDN (kg/d)	6,9aA	7,5aA	5,7aA	5,5aA
FDA (kg/d)	3,4aA	4,0aA	3,0aA	2,8aA
PB (kg/d)	3,2aA	1,9bA	1,6bA	0,9bA
EB (Mcal/d)	65aA	48bA	39bA	35bA
ED (Mcal/d)	44aA	26bA	22bcA	15cA
Concentrado (kg/d)	6,5aA	1,0bA	2,0bA	-
Concentrado (% da MS)	40aA	8bA	20bA	-
MS (% do PV)	2,8aA	2,0bA	2,0bA	1,9bA
Mestiça Leiteira Brasileira				
Peso vivo (kg)	435aB	480aA	365aB	374aA
Produção de leite (L/d)	13,3	-	-	-
MS (kg/d)	11aB	11aA	8bA	8bA
MO (kg/d)	10aB	10aA	7aA	7aA
MSD (kg/d)	5aB	5aA	4bcA	3cA
FDN (kg/d)	6,0aA	6,2aA	4,4aA	4,6aA
FDA (kg/d)	3,0aA	3,3aA	2,3aA	2,4aA
PB (kg/d)	1,3aB	1,8aA	1,3abA	0,8aA
EB (Mcal/d)	42aB	43aA	31aA	31aA
ED (Mcal/d)	21abB	23aA	17bcA	13cA
Concentrado (kg/d)	3,4aB	2,0aA	2,0bA	-
Concentrado (% da MS)	32aA	18bA	26aA	-
MS (% do PV)	2,5aA	2,3aA	2,2aA	2,1aA

⁽¹⁾Médias na mesma linha seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade (Tukey); médias seguidas por letras maiúsculas diferentes indicam diferenças entre raças dentro da mesma categoria animal (Teste F, P<0,05). ⁽²⁾MS: matéria seca; MO: matéria orgânica; MSD: matéria seca digestiva; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido; PB: proteína bruta; EB: energia bruta calculada sobre matéria orgânica ingerida; ED: energia digestiva, considerando digestibilidade de MO ingerida.

ção à dieta com menos de 32% de concentrado, como mostrado pelo percentual de MS ingerido por peso vivo de vacas holandesas em lactação (Tabela 2).

Os resultados mostram uma taxa de emissão de CH₄ (g/dia/animal) maior (P<0,05) pelas vacas em lactação, provavelmente pela maior ingestão de matéria seca total e digestiva, em especial quando comparadas com as novilhas manejadas extensivamente (Tabela 3). Porém, a oferta de energia digestível, que foi de 44 Mcal/dia para vacas holandesas em lactação de 572 kg de peso vivo (Tabela 2), não atingiu a faixa considerada padrão para vacas européias e norte-americanas, respectivamente, em torno de 60 Mcal/dia/animal de 550 kg de PV e 65 Mcal/dia/animal de 600 kg de PV (Intergovernmental Panel on Climate Change, 1996). Houve diferenças entre raças somente para vacas em lactação, verificando-se maior emissão de CH₄ (g/kg de matéria seca digestiva ingerida e porcentagem de energia digestível ingerida) pelas vacas mestiças, provavelmente por sua maior eficiência digestiva de celulose, fonte maior de CH₄ no processo metabólico fermentativo no rúmen.

Os valores de emissão de CH₄ pelas vacas em lactação, entre 13,8 e 16,8 g/hora, ou 121 e 147 kg/animal/ano (Tabela 3), estão acima dos valores médios

ocorrentes na América do Norte, que são estimados em 118 kg/animal/ano, para animais com 600 kg de PV, lactação de 6.700 kg/ano de leite e ingestão de matéria seca de 16,2 kg/dia ou 2,7% do PV, e no leste europeu estimados em 100 kg/animal/ano de CH₄, para vacas de 550 kg de PV, lactação de 4.200 kg/ano de leite e ingestão de 13,8 kg/dia de matéria seca ou 2,5% do PV (Intergovernmental Panel on Climate Change, 1995; Johnson & Ward, 1996).

Esses resultados podem ser atribuídos à pior qualidade da forragem de clima tropical em relação à de clima temperado, como sugerido por Kurihara et al. (1999), especialmente por ter mais fibra e ser menos digestível. Considerando-se que o valor de proteína bruta máximo desejável, em que se inicia o acúmulo de nitrato solúvel na forragem, está em torno de 14±2% (Primavesi et al., 2001), valores entre 4,5% e 13,5% encontrados em capim-braquiária adubado e entre 6,0% e 6,8% em capim-braquiária não adubado podem ser indicativos de insuficiência de proteína bruta.

Outro fator determinante para a menor produção de CH₄ por bovinos em lactação em clima temperado é a dieta na forma de grãos acima de 50%; com menos fibra e com mais energia, atende às exigências energéticas diárias e contém menor volume de matéria

Tabela 3. Emissão de gás metano (CH₄) por gado leiteiro de duas raças e diferentes categorias em pastagens adubadas e não adubadas, no verão de 2002⁽¹⁾.

Unidade ⁽²⁾	Vacas em lactação (pastagem adubada)	Vacas secas (pastagem adubada)	Novilhas (pastagem adubada)	Novilhas (pastagem sem adubo)
Holandesa Preto e Branco				
g/h	16,8aA	11,6bA	9,3bA	8,3bA
g/d	403aA	278bA	222bA	198bA
kg/ano (potencial)	147aA	101bA	81bA	72bA
g/kg de MSDI	42aB	46aA	45aA	58aA
g/d/kg de PV	0,71aA	0,46bA	0,45bA	0,43bA
g/d/L de leite	18,4	-	-	-
% da EB	8,3aA	7,6aA	7,5aA	7,2aA
% da ED	12,7aB	14,0aA	13,7aA	17,7aA
Mestiça Leiteira Brasileira				
g/h	13,8aA	12,3abA	9,5bcA	7,6cA
g/d	331aA	295abA	227bcA	181cA
kg/ano (potencial)	121aA	107abA	83bcA	66cA
g/kg de MSDI	69aA	56aA	58aA	62aA
g/d/kg de PV	0,79aA	0,62aA	0,62aA	0,48aA
g/d/L de leite	25,3	-	-	-
% da EB	10,6aA	9,1aA	9,6aA	7,8aA
% da ED	20,9aA	16,8aA	17,7aA	18,6aA

⁽¹⁾Médias de 40 medições em quatro repetições, na mesma linha, seguidas de letras minúsculas iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade (Tukey); médias seguidas por letras maiúsculas diferentes indicam diferenças entre raças dentro da mesma categoria animal (Teste F, P<0,05).

⁽²⁾MSDI: matéria seca digestiva ingerida; PV: peso vivo; EB: energia bruta, calculada sobre matéria orgânica ingerida; ED: energia digestiva, considerando digestibilidade de matéria orgânica ingerida.

seca. O percentual de CH₄ produzido a partir da energia bruta ingerida é estimado entre 5,5% e 6,5% na América do Norte e leste europeu (Estados Unidos, 2000). Neste trabalho, esse valor chegou a 8,3% para vacas holandesas em lactação e 10,6% para as mestiças (Tabela 3).

A diferença na emissão de CH₄, expressa em porcentagem de energia digestível e g/kg de matéria seca digestiva ingerida, entre vacas em lactação das duas raças foi significativa (Tabela 3). Conseqüentemente pode-se considerar significativa a diferença na produção de CH₄ em g/L de leite, que foi de 18,4 e 25,4, respectivamente, em vacas holandesas puras e nas mestiças. As vacas holandesas, com maior potencial de produção, conseguem distribuir melhor a carga de CH₄ por unidade de produto gerado.

As novilhas em pastagem sem adição de insumos, que poderiam ser consideradas padrão para o Brasil, apresentaram emissão de 7,6 a 8,3 g/hora de CH₄, ou potencialmente 66 a 72 kg/animal/ano. Esses valores foram superiores aos estimados em regiões tropicais na África e Ásia (Intergovernmental Panel on Climate Change, 1995), talvez porque nesse cálculo tivessem sido consideradas as taxas de emissão no período seco do ano, com menor oferta de forragem e de menor qualidade, o que leva à uma menor ingestão de volumoso. No presente trabalho, não houve restrição de oferta de forragem, e os resultados estão acima também dos dados citados por Crutzen et al. (1986), que sugeriu uma taxa média anual de emissão de CH₄ de 54 kg para bovinos em sistema de pastagens no Brasil.

No Japão, Kurihara et al. (1999), em estudos comparativos feitos em gaiolas metabólicas com novilhas zebuínas, verificaram que a emissão de CH₄ foram de 160 e 257 g/dia/animal, ou 0,42 e 0,71 g/dia/kg de PV, respectivamente, com grãos e com forrageira de clima temperado, mais rica em proteína bruta e menos fibrosa. A forrageira tropical, de pior qualidade e madura, resultou em perda de peso animal, com emissão de 0,32 g/dia/kg de PV ou 113 g/dia/animal. Os valores com alimentos de melhor qualidade foram similares aos obtidos no presente trabalho, em pastagem de capim-braquiária alimentando novilhas mestiças com peso vivo semelhante (Tabela 3). Os resultados obtidos também estão de acordo com os dados apresentados por Olson et al. (2000), que obtiveram em Utah, nos EUA, com novilhos jovens, taxas de produção de CH₄ de 9,9 g/hora em um período experimental sobre pastagens.

Espera-se, assim, que as taxas de emissão de CH₄ por novilhas leiteiras em fase de crescimento sejam equiparadas à emissão desse gás em novilhos de corte.

Experimentos conduzidos em Manitoba, no Canadá, por McCaughey et al. (1999), indicaram influência do melhoramento da qualidade da pastagem, por meio da introdução de leguminosas, na produção de CH₄. Os autores concluíram que o melhoramento das pastagens reduziu em 10% a produção de CH₄ por bovinos que pastejaram nessa área. O que parece ser possível, quando se reduz o teor de fibra e se aumenta o de energia digestível e de proteína bruta na dieta (Kurihara et al., 1999).

Os valores de CH₄ encontrados neste trabalho variaram de 42 a 69 g/kg de matéria seca digestiva ingerida (Tabela 3). Comparando com os valores encontrados por Kurihara et al. (1999), conclui-se que a qualidade dos alimentos foi intermediária à de forragem tropical madura e à de feno de alfafa e elevado conteúdo de grãos.

Considerando a perda porcentual de energia bruta ingerida na forma de CH₄, por holandesas e mestiças (Tabela 3), verifica-se que estes valores estão entre os valores encontrados por Kurihara et al. (1999), em forragem de gramínea de baixa qualidade (10,4%) e em dieta alta em grãos (6,7%). De acordo com esses resultados, as perdas de 7% previstas por Intergovernmental Panel on Climate Change (1995) devem ser atualizadas nos valores-referência de emissão de CH₄ por bovinos em condições tropicais.

Conclusões

1. A técnica do gás traçador SF₆ para medir CH₄ ruminal pode ser utilizada nas condições brasileiras de campo.
2. A emissão de CH₄ por bovinos sem restrição de alimentos baseados em forrageiras tropicais é superior à de bovinos alimentados com forrageiras de clima temperado.
3. Forrageiras de baixa qualidade têm a taxa de ingestão reduzida e, conseqüentemente, reduzem a taxa de emissão de CH₄ por bovinos.
4. Animais zebuínos podem gerar mais CH₄ que bovinos de sangue europeu.

Agradecimentos

Aos Drs. Kristen Jonhson e Hall Westberg, da Washington University State, pelas orientações na implantação do método; a Dagmar N. dos Santos Oliveira,

Everton L. Marion e Guilherme P. V. Carvalho, pelo apoio técnico nas análises cromatográficas; à Finep, pelo apoio financeiro; ao CNPq, pelas bolsas de produtividade de Odo Primavesi e Telma T. Berchielli.

Referências

- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL. Rio de Janeiro: IBGE, v.57, 1997.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (Gaithersburg, Estados Unidos). 15th ed. **Official methods of analysis**. Gaithersburg, 1990. 2v.
- CORNELL UNIVERSITY (Ithaca, Estados Unidos). **Cornell nutrient management planning system**: version 5.0.033. <<http://128.253.135.170/>>. Acesso em: abril 2003.
- COTTON, W.R.; PIELKE, R.A. **Human impacts on weather and climate**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 288p.
- CRUTZEN, P.J.; ASELMANN, I.; SEILER, W. Methane production by domestic animals, wild ruminants and other herbivorous fauna and humans. **Tellus**, v.38B, p.271-274, 1986.
- ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency. Evaluating ruminant livestock efficiency projects and programs. In: PEER review draft. Washington: Environmental Protection Agency, 2000. 48p.
- ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency. Greenhouse gas emissions from agricultural systems. In: WORKSHOP ON GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM AGRICULTURE, 1989, Washington. **Proceedings**. Washington: United States Environmental Protection Agency, 1990. v.1, p.VII-3-VII-22. Summary report.
- HOLTER, J.B.; YOUNG, A.J. Nutrition, feeding and calves: methane prediction in dry and lactating Holstein cows. **Journal of Dairy Science**, v.75, p.2165-2175, 1992.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (Genebra, Suíça). **Climate change 1994**: radiative forcing of climate change and an evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios. Cambridge: University Press, 1995. 339p.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (Genebra, Suíça). **Revised IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**: reference manual. Cambridge: University Press, 1996. 297p.
- JOHNSON, D.E.; WARD, G.M. Estimates of animal methane emissions. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.42, p.133-141, 1996.
- JOHNSON, K.A.; JOHNSON, D.E. Methane emissions from cattle. **Journal of Animal Science**, v.73, p.2483-2492, 1995.
- KURIHARA, M.; MAGNER, T.; HUNTER, R.A.; McCRABB, G.J. Methane production and energy partition of cattle in the tropics. **British Journal of Nutrition**, v.81, p.227-234, 1999.
- LIMA, M.A.; BOEIRA, R.C.; CASTRO, V.L.S.S.; LIGO, M.A.; CABRAL, O.M.R.; VIEIRA, R.F.; LUIZ, A.J.B. Estimativa das emissões de gases de efeito estufa provenientes de atividades agrícolas no Brasil. In: LIMA, M.A.; CABRAL, O.M.R.; MIGUEZ, J.D.G. (Ed.). **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. p.169-189.
- LOCKYER, D.R. Methane emissions from grazing sheep and calves. **Agricultural Ecology & Environment**, v.66, p.11-18, 1997.
- McCAUGHEY, W.P.; WITTENBERG, K.; CORRIGAN, D. Impact of pasture type on methane production by lactating beef cows. **Canadian Journal of Science**, v.79, p.221-226, 1999.
- OLSON, K.C.; BANNER, R.E.; WIEDMEIER, R.D.; COPPOCK, D.I. Reducing methane emission from beef cow herds in range-based management systems. In: FINAL report to the ruminant livestock efficiency program. Logan: United States Environmental Protection Agency; Utah State University, 2000. 31p.
- PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L.A.; PRIMAVESI, A.C.; CANTARELLA, H.; ARMELIN, M.J.A.; SILVA, A.G.; FREITAS, A.R. de. **Adubação com uréia em pastagem de *Cynodon dactylon* cv. Coastcross**: eficiência e perdas. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2001. 42p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Circular Técnica, 30).
- SAS INSTITUTE (Cary, Estados Unidos). **SAS/STAT user's guide**: statistics, version 6.4. Cary, 1993. 1686p.
- SILVA, D.J. **Análise de alimentos**: métodos químicos e biológicos. Viçosa: UFV, 1981. 166p.
- SOEST, P.J. van. Symposium on factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants: voluntary intake in relation to chemical composition and digestibility. **Journal of Animal Science**, v.24, p.834-843, 1965.
- SOEST, P.J. van; WINE, R.H. Determination of lignin and cellulose in acid detergent fiber with permanganate. **Journal of the Association of Official Agricultural Chemists**, v.51, p.780-785, 1968.
- TILLEY, J.M.A.; TERRY, R.A. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. **Journal of Britain Grassland Society**, v.18, p.104-111, 1963.
- WESTBERG, H.H.; JOHNSON, K.A.; COSSALMAN, M.W.; MICHAL, J.J. **A SF₆ tracer technique**: methane measurement from ruminants. Washington State University, Pullman, Washington, 1998. 40p.

Recebido em 24 de dezembro de 2002 e aprovado em 13 de janeiro de 2004