

Produção de gases de efeito estufa em sistemas agropecuários

Bases para inventário de emissão de metano por ruminantes

Odo Primavesi, Alexandre Berndt, Magda Aparecida de Lima,
Rosa Toyoko Shiraishi Frighetto, João José Assumpção de Abreu Demarchi,
Márcio dos Santos Pedreira

Resumo: com o objetivo de atender a demanda nacional de apresentação de inventários de emissão de gases de efeito estufa junto à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), este projeto determinou fatores de emissão de metano (CH_4) ruminal para algumas categorias representativas do rebanho bovino brasileiro sob clima tropical. Os experimentos foram realizados com vacas Holstein e mestiças azebuadas, e bovinos de corte da raça Nelore em áreas experimentais situadas na região Sudeste do País. Foi adaptado e validado o método do hexafluoreto de enxofre (SF_6), conhecido como método do traçador SF_6 , para a determinação de metano ruminal em ambiente aberto. Verificou-se que a composição dos alimentos e o seu consumo bem como as características específicas das diferentes categorias animais (gado de corte e de leite) são as variáveis determinantes dos fatores de emissão. Com base nos experimentos de avaliações de taxas de emissão de metano sob condições de adequados níveis nutricionais e dietas balanceadas, foram desenvolvidas equações de regressão polinomial para categorias de gado leiteiro e de corte, permitindo a determinação de fatores de emissão de metano por fermentação entérica específicos para as condições locais estudadas. São apresentadas estratégias de mitigação e apontadas lacunas de pesquisa.

Palavras-chave: metano ruminal, SF_6 , clima tropical, bovinos de leite, bovinos de corte, mitigação.

Introdução

Atividades humanas estão influenciando o clima global em função do aumento nas concentrações de gases responsáveis pelo efeito estufa, em particular, do dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), entre outros. Esses gases retêm e redirecionam a radiação infravermelha ou de calor em excesso gerado ($> 300 \text{ W m}^{-2}$) na superfície terrestre (PRIMAVESI et al., 2007). Segundo o Intergovernmental Panel on

Climate Change (IPCC), 20% do aumento do forçamento radiativo global é atribuído ao setor agrícola, responsável por 50% da produção de CH_4 e 70% do N_2O de origem antrópica (IPCC et al., 1997). O uso intensivo dos solos, a queima de resíduos agrícolas, a criação de ruminantes em grande escala, o tratamento de dejetos animais na forma líquida e o cultivo de arroz em campos inundados são algumas das atividades agrícolas que contribuem para as emissões antrópicas de gases de efeito estufa (GEE).

Para se entender o papel da pecuária no esforço global de mitigação do efeito estufa, e mais exatamente na esfera dos mecanismos de flexibilidade do Protocolo de Quioto, em especial do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), devem-se considerar as formas pelas quais ela contribui com as emissões antropogênicas de GEE e desenvolver tecnologias e sistemas para reduzir as emissões.

No Brasil, a maior parte do efetivo da pecuária é representada por bovinos (85% do rebanho sem considerar o número de aves) com um total de 171 milhões de cabeças, segundo o Censo Agropecuário de 2006 do IBGE (2010). O rebanho bovino brasileiro corresponde aproximadamente a 18% do rebanho bovino mundial (979.176 mil cabeças em 2007 (ANUALPEC..., 2011)), o que o torna um importante contribuinte em emissões de metano por fermentação entérica (Tabela 1). O sistema de produção a pasto é predominante no País, e a produção de dejetos contribui pouco para as emissões de metano, pois o número de sistemas confinados é ainda pequeno, representando cerca de 2,4% do rebanho brasileiro (IBGE, 2006), embora a Assocon (2008) estimasse em 2.300.000 cabeças de bovinos confinados no País nesse mesmo ano. Do total do rebanho bovino, vacas ordenhadas somavam 12,6 milhões de cabeças (7,4%).

O metano é um importante gás de efeito estufa, apresentando um potencial de aquecimento global 25 vezes maior que o do gás carbônico e vida útil aproximada de 12 anos na atmosfera num horizonte de 100 anos (DONG et al., 2006). A concentração atmosférica global média de metano é 1.780 ppbv, mais do que o dobro de seu valor no período pré-

industrial (800 ppbv) (DLUGOKENCKY, 2001 citado por MOSIER et al., 2004). Atribui-se ao CH_4 uma participação de 15% no potencial de aquecimento global (COTTON; PIELKE, 1995; HOUGHTON et al., 1990). Cerca de 70% da produção de metano provêm das fontes antrópicas, e aproximadamente 30% provêm de fontes naturais (Tabela 2). Atividades microbiológicas em ambientes anaeróbios (áreas inundadas, cultivo de arroz irrigado por inundação, fermentação entérica e processamento anaeróbio de dejetos) constituem a principal fonte de metano, além da queima de biomassa e da indústria de carvão e gás natural (LIMA; DEMARCHI, 2007).

Tabela 1. Principais rebanhos bovinos do mundo.

País	1996	2007	2010
	Cabeças (milhares)		
Índia	299.802	281.700	304.000
Brasil	153.882	168.367	177.964
China	110.318	139.721	105.060
Estados Unidos	101.656	96.669	92.550
União Europeia	84.526	87.650	87.500
Argentina	51.696	51.062	48.656
Austrália	26.780	29.202	28.280
Rússia	35.800	18.370	16.919
Total	1.052.943	982.663	979.176

Fonte: Anualpec... (2005, 2011).

Por outro lado, o maior sumidouro de metano na atmosfera é a sua reação com radicais hidroxila (OH^-) na troposfera, estimado em 420 Tg ano^{-1} – 520 Tg ano^{-1} (Tg = milhão de toneladas) (MOSIER et al., 2004). As queimadas de florestas, no entanto, ao produzirem ozônio, podem reduzir a concentração de radicais hidroxila na atmosfera. O maior sumidouro biológico de metano em ecossistemas terrestres é formado por microrganismos de solos aeróbios (STEUDLER et al., 1989). O metano do solo pode ser oxidado por bactérias metanotróficas e nitrificantes (15 Tg ano^{-1} – 45 Tg ano^{-1}) (MOSIER et al., 1998). Mosier et al. (1991), ao medirem o efeito da fertiliza-

ção em pastagens no Colorado, concluíram que a elevada reciclagem de nitrogênio suprimiu a fixação de metano.

Aos países desenvolvidos atribui-se uma importante contribuição histórica de emissões de gases de efeito estufa. As estimativas realizadas para países em desenvolvimento, no entanto, também os classifica como emissores potenciais de gases de efeito estufa (CHATFIELD, 1996; CRUTZEN; ZIMMERMAN, 1991; UNFCCC, 2005).

A emissão de metano pela pecuária tem relação direta com a eficiência fermentativa ruminal, representando perda de carbono e consequente perda de energia, resultando em menor desempenho animal. A fermentação do alimento ingerido pelos animais é um processo efetuado pela população microbiana ruminal, que converte os carboidratos estruturais (fibra) em ácidos graxos voláteis de cadeia curta, principalmente ácidos acético, propiônico e butírico. Nesse processo fermentativo, é dissipado calor pela superfície corporal e são produzidos CO_2 e CH_4 . A emissão de metano corresponde a perdas de 5% a 8% da energia bruta ingerida de acordo com o trabalho clássico de Blaxter e Clapperton (1965), e de 2% a 12% conforme Johnson e Johnson (1995), sendo que o IPCC estima uma média de 6% (IPCC et al., 1997).

Uma vez que a emissão de metano varia de acordo com a quantidade e a qualidade do alimento ingerido (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1990a, 1990b), as várias modalidades de sistemas de criação de animais domésticos resultam em diferentes níveis de emissão de metano. Dessa forma, as indicações para a redução das emissões de metano pela pecuária estão ligadas ao manejo alimentar e às estratégias nutricionais (BERNDT, 2010; CARMONA, 2005; CLARK et al., 2001; HOLTER; YOUNG, 1992; KURIHARA et al., 1999; POSSENTI et al., 2008; TAMMINGA, 1992).

As emissões globais de metano, a partir dos processos entéricos, são estimadas em cerca de 85 Tg ano^{-1} , correspondendo a 22,7% das emissões totais de metano geradas por fontes antrópicas. As emissões provenientes de dejetos animais são estimadas em cerca de 25 Tg ano^{-1} (ENVIRONMENTAL

Tabela 2. Estimativas global e brasileira das médias de emissão de CH₄ por fontes naturais e antrópicas.

Fontes	Emissão anual de CH ₄ (Tg ano ⁻¹)			
	Global			
	Houghton et al., 1995	Mosier et al., 2004		
Naturais				160 (30%)
Terras baixas, pântanos	115		100–200	
Térmitas (cupins)	20		10–50	
Oceanos	10		5–20	
Água doce	31,8 ⁽¹⁾		1–25	
Doces	15		0–5	
Antrópicas				375 (70%)
Combustível fóssil total	100	26,6%	70–120	
Carbono biosférico	275	73,3%	160–430 ⁽¹⁾	
Fermentação entérica	85	22,7%	65–100	
Dejetos animais	25	6,7%	10–30	
Campos de arroz inundados	60	16,0%	20–150	
Aterros sanitários	40	10,7%	20–70	
Queima de biomassa	40	10,7%	20–80	
Tratamento de esgoto	25	6,7%	25	
Total das fontes				535 (100%)
Antrópicas (agropecuária)	Emissão anual de CH ₄ (Tg ano ⁻¹)			
	Brasil			
	(Ano de referência: 1994) ⁽²⁾	(Ano de referência: 2000) ⁽²⁾		
Total	10,24		10,77	
Fermentação entérica	9,00	87,9%	9,60	89,1%
Dejetos animais	0,67	6,5%	0,68	6,3
Campos de arroz inundados	0,44	4,3%	0,39	3,7
Queima de resíduos agrícolas	0,13	1,3%	0,10	0,9

⁽¹⁾ Média atualizada segundo Anderson et al. (2010), não incluída no total; Tg = teragrama ou milhão de toneladas.

Fontes: Houghton et al. (1995); Mosier et al. (2004); ⁽¹⁾Anderson et al. (2010), ⁽²⁾Brasil (2010).

PROTECTION AGENCY, 2000), correspondendo a 7% das emissões totais. Para o Brasil, foi estimada emissão de cerca de 9 Tg de metano entérico proveniente da pecuária (BRASIL, 2006), considerando-se os ruminantes e monogástricos e a produção de dejetos em 1995 (IBGE, 1998a, 1998b). Em 2000, as emissões elevaram-se a 10,77 Tg de metano (BRASIL, 2010), em

razão, principalmente, do aumento da população bovina. Essas estimativas basearam-se em dados secundários levantados no País e em valores de referência propostos pelo International Panel on Climate Change (IPCC et al., 1997). Essas emissões correspondem a 96% de todo o metano gerado por fontes de origem agrícola no País, incluindo também o cultivo de arroz irrigado por inundação e a queima de resíduos agrícolas nos campos. Somente os bovinos de corte e de leite respondem por 96% das emissões de metano provenientes da fermentação entérica (eructação) na pecuária brasileira (Tabela 2).

Os fatores de emissão de metano variam de acordo com o sistema de produção animal e as características dos animais. No caso de bovinos de leite, por exemplo, os valores médios de emissão de metano ruminal (eructação) são de 100 kg metano animal⁻¹ ano⁻¹ e 118 kg metano animal⁻¹ ano⁻¹, respectivamente, nos países do leste europeu (550 kg PV – peso vivo, lactação de 4.200 kg ano⁻¹ e ingestão de 13,8 kg dia⁻¹ de matéria seca ou 2,5% PV, com base em forragens); e na América do Norte (600 kg PV, lactação de 6.700 kg ano⁻¹ e ingestão de matéria seca de 16,2 kg dia⁻¹ ou 2,7% PV, com base em alimentos concentrados). Estima-se, com os valores default do IPCC, que em países africanos e asiáticos as emissões variem de 36 kg metano animal⁻¹ ano⁻¹ a 56 kg metano animal⁻¹ ano⁻¹ (HOUGHTON et al., 1995); e, no Brasil, estejam em torno de 54 kg metano animal⁻¹ ano⁻¹ utilizando pastagem (CRUTZEN et al., 1986). Em 2006, o IPCC apresentou novos fatores médios de emissão de CH₄ para gado de leite (63 kg animal⁻¹ ano⁻¹) e para gado de corte (56 kg animal⁻¹ ano⁻¹) para a América Latina.

Em vista da necessidade de se obter dados mais acurados sobre as quantidades de metano ruminal originadas dos sistemas de produção de bovinos no Brasil, foram realizados em São Carlos, Jaboticabal, Nova Odessa e Andradina, Estado de São Paulo, diversos trabalhos que tiveram como objetivo verificar as taxas de emissão ou fatores de emissão (emission factor, em kg animal⁻¹ ano⁻¹) de metano ruminal em diferentes categorias de bovinos e em diferentes condições de oferta e qualidade de alimentos.

Foi utilizada a metodologia para a medição de metano emitido pelos animais, criados em regime de pastagem e de confinamento com controle de ingestão de alimentos, desenvolvida por Johnson e Johnson (1995), que emprega o gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF₆), e adaptada no Brasil por Primavesi et al. (2004b).

Resultados: fatores de emissão

Os fatores de emissão referenciados pelo International Panel on Climate Change (IPCC) (DONG et al., 2006; IPCC et al., 1997) foram estimados predominantemente com base em trabalhos realizados em regiões não tropicais. Em regiões de clima temperado a maior parte do alimento é constituída por forragens mais digestíveis e com maior utilização de concentrado na dieta. Infere-se que as perdas na forma de metano da energia ingerida seriam maiores nos países tropicais, por kg de leite ou de carne, por causa do menor teor em proteína bruta, do maior conteúdo em fibra e lignina e da menor digestibilidade das forrageiras tropicais. Kurihara et al. (1999) estudaram o efeito da qualidade de alimentos sobre a taxa de emissão de metano por zebuínos, avaliando forrageiras de clima temperado e tropical, utilizando câmaras respirométricas. Esse estudo mostrou que uma maior emissão de metano estava associada à maior ingestão de matéria seca pelo animal e à menor densidade energética da dieta. Os mesmos autores apontaram diferentes potenciais de emissão de metano associados a determinadas dietas, sendo que as emissões diminuem na seguinte ordem: dieta com capins tropicais (metabolismo C₄, com mais fibras e lignina), capins de clima temperado (metabolismo C₃, com menos fibras e lignina) e dietas com algum teor de concentrados. Tais constatações contribuíram para aprimorar a determinação de fatores de emissão de sistemas de produção de bovinos em condições tropicais brasileiras, em continuidade aos experimentos iniciados com o apoio do Programa Nacional de Mudança do Clima, no âmbito do Programa Avança Brasil, do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), bem como da

Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), por meio do Projeto Redugas, e da Environmental Protection Agency (US.EPA).

Os primeiros trabalhos adaptaram e validaram o método do gás traçador SF₆ para medir as perdas de metano ruminal, sendo determinados fatores de emissão para distintas categorias do rebanho bovino brasileiro na região Sudeste, que permitiram estimar, de forma preliminar, taxas de emissão de metano pelo rebanho bovino leiteiro e de corte. Foram, também, avaliadas algumas estratégias de mitigação de emissão de metano ruminal.

A seguir são apresentados dois grupos de resultados obtidos no âmbito da Rede Agrogases que atendem às metas propostas pelo projeto, de obter fatores de emissão de metano para: a) linha de base: gado de corte e de leite, e b) visando a estratégias de mitigação.

Avaliações de emissão de metano para obtenção de linha de base

Gado de corte

Demarchi et al. (2003a, 2003b) relataram os primeiros resultados sobre o potencial de emissão de metano para bovinos de corte (raça Nelore) em condições brasileiras de campo. Essa categoria (corte) contribui com 81% do total de metano atribuído à fermentação entérica bovina. Destaca-se que grande proporção da população bovina nacional é constituída de raças zebuínas, em condição de manejo a pasto constituído especialmente por plantas forrageiras do gênero *Brachiaria* sp.

Esses autores, medindo emissão de metano ruminal em novilhos de corte da raça Nelore, com peso vivo médio de 375 kg (217 kg PV a 604 kg PV), em pasto de *Brachiaria brizantha* cv. *marandu*, encontraram um valor médio de emissão de 47,3 kg animal⁻¹ ano⁻¹ (Tabela 3). Além disso, indicaram um efeito sazonal nas emissões de metano, refletindo as condições qualitativas da pastagem nas estações seca e úmida. Nesses estudos, a taxa

de conversão de metano ou perdas de energia bruta ingerida foi estimada em média em 6,8% (5,0% a 9,1%), próxima da média global (valor default), que é de 6,5% (DONG et al., 2006). Em vista das dificuldades em se estimar adequadamente a ingestão de matéria seca, foram também realizados trabalhos em condições controladas com animais confinados recebendo exclusivamente forragem, permitindo medir a ingestão de alimento. Sob essas condições, Nascimento (2007) encontrou uma taxa de 6,2% a 9,0% de perdas de energia bruta na forma de metano.

Tabela 3. Emissão de metano ruminal por novilhos de corte Nelore, pastejando *Brachiaria brizantha* durante as quatro estações do ano (90 dias/estação), por peso vivo.

Tratamento (Estação)	PV (kg)	MSI		Emissão de CH ₄				
		kg dia ⁻¹	% do PV	g dia ⁻¹	kg ano ⁻¹	g/dia/kg de PV	% da EBI	g kg ⁻¹ de MSI
Inverno	318	6,5	2,0	102	33	0,34	5,0	16
Primavera	333	6,4	1,9	132	34	0,41	6,3	21
Verão	411	7,3	1,8	220	59	0,54	9,1	30
Outono	438	7,6	1,7	174	63	0,41	6,6	23
Média	375	7,0	1,9	157	47	0,43	6,8	23

Nota: PB% - FDN% - DIV%MS, respectivamente, no: 1) inverno (agosto 2002) = 3,3 - 82,1 - 41,4; 2) primavera (dezembro 2002) = 7,8 - 71,5 - 60,4; 3) verão (fevereiro 2003) = 5,4 - 81,6 - 62,5; 4) outono (maio 2003) = 5,6 - 82,5 - 56,0. PV = peso vivo, MSI = matéria seca ingerida, %EBI = Y_m = porcentagem de energia bruta ingerida perdida, considerando 4,38 Mcal de energia bruta por kg de MS e 0,01334 Mcal/g CH₄. Fator de emissão = CH₄ em kg ano⁻¹ animal⁻¹. Dados obtidos em Nova Odessa, SP, latitude 22°45'S, longitude 47°16'W, altitude 603 m, clima tropical.

Fonte: adaptado de Demarchi et al. (2003a, 2003b).

A perda de energia na forma de metano depende da qualidade e quantidade da forragem disponível ao longo do ano. As diferenças na qualidade da forragem entre as estações do ano (chuva e seca) são marcantes, refletindo na produção de metano ruminal. Nascimento (2007), ao avaliar diferentes idades de forrageira tropical, de metabolismo C₄, e procurando simular essas diferenças na qualidade da matéria seca ingerida ao longo do ano, encontrou maior perda da energia bruta, no estágio mais avançado de desenvolvimento (Tabela 4).

Tabela 4. Emissão de metano, por bovino Nelore macho castrado, em confinamento, com dieta de *Brachiaria brizantha* em três estádios de desenvolvimento.

Tratamento Dias	PV (kg)	MSI		Emissão de CH ₄				
		kg dia ⁻¹	% do PV	g dia ⁻¹	kg ano ⁻¹	g/dia/kg de PV	% da EBI	g kg ⁻¹ de MSI
15	402	6,5	1,6	133	49	0,33	6,2	17
45	402	5,4	1,4	134	49	0,33	7,4	20
90	402	4,7	1,2	138	50	0,34	9,0	23
Média	402	5,5	1,4	135	49	0,33	7,5	20

Nota: nos 15, 45 e 90 dias, respectivamente: PB 10,7%, 4,5% e 4,3%; FDN 70,6%, 76,0% e 77,7%; DIVMS 64,2%, 63,0% e 63,1%. PV = peso vivo, MSI = matéria seca ingerida, %EBI = Ym = porcentagem de energia bruta ingerida perdida, considerando 4,38 Mcal de energia bruta por kg de MS e 0,01334 Mcal/g CH₄. Fator de emissão = CH₄ em kg ano⁻¹ animal⁻¹. Dados obtidos em Andradina, SP, latitude 20°54'S, longitude 51°22'W e altitude de 400m, clima tropical seco, realizado entre setembro e dezembro 2005.

Fonte: adaptado de Nascimento (2007) e Nascimento et al. (2007).

Com o aumento da maturação da forragem ocorre piora da qualidade, redução de ingestão e maior emissão de metano por unidade de massa de matéria seca ingerida.

Gado de leite

Pedreira (2004) e Primavesi et al. (2004a, 2004c) relataram os primeiros resultados sobre o potencial de emissão de metano por bovinos de leite em condições brasileiras de campo. No manejo extensivo dos animais, com pastagens não adubadas, os dados sugerem que a qualidade da forragem ingerida pelos animais foi similar a das pastagens adubadas, provavelmente por causa da possibilidade de seleção de forragem (Tabela 5), como sugerem as diferenças de digestibilidade *in vitro* e de teor de PB, ou, mais provavelmente, pela ingestão de matéria seca subestimada pelas equações utilizadas. Essas equações deveriam ser ajustadas para características brasileiras de raças, qualidade de forrageiras e volumosos, da mesma forma que para bovinos de corte.

Animais da raça holandesa e animais mestiços (holandesa e zebu) indicaram pouca diferença nas emissões de metano nas estações de verão e outono. No verão, as vacas holandesas em lactação e vacas secas emitiram,

Tabela 5. Médias de emissão de metano por gado leiteiro (verão e outono), em pastagens.

Tratamento	PV (kg)	MSI		Emissão de CH ₄				
		kg dia ⁻¹	% do PV	g dia ⁻¹	kg ano ⁻¹	g/dia/kg de PV	% da EBI	g kg ⁻¹ de MSI
Holandesa								
Vacas lact.	571ab	18,4a	3,2a	393a	143a	0,69a	6,5ab	21ab
Vacas secas	623a	15,2b	2,4b	268bc	98bc	0,43c	5,3bc	18bc
Novilha intens.	511bc	13,0c	2,6bc	233cd	85cd	0,46c	5,4bc	18bc
Novilha extens.	446cd	11,9cd	2,7bc	178d	65d	0,40c	4,5c	15c
Média	538	14,6	2,7	268	98	0,50	5,4	18
Mestiça								
Vacas lact.	476c	12,7cd	2,7bc	314b	115b	0,66ab	7,5a	25a
Vacas secas	501bc	13,1c	2,6bc	265bc	97bc	0,54bc	6,2ab	21ab
Novilha intens.	382d	10,4d	2,7b	209cd	76cd	0,55bc	6,0abc	20abc
Novilha extens.	381d	10,5d	2,8b	181d	66d	0,47c	5,2bc	17bc
Média	435	11,7	2,7	191	89	0,56	6,2	21

Nota: PV = peso vivo, MSI = matéria seca ingerida, %EBI = Y_m = porcentagem de energia bruta ingerida perdida, considerando 4,38 Mcal de energia bruta por kg de MS e 0,01334 Mcal/g CH₄. Fator de emissão = CH₄ em kg ano⁻¹ animal⁻¹. Dados obtidos em São Carlos, SP, latitude 21o57'S, longitude 47o51'W, altitude 878 m, clima tropical de altitude, realizado em fevereiro e junho de 2002. Obs: PV = peso vivo; MSI = matéria seca ingerida; EBI = energia bruta ingerida calculada; intens. = intensivo, pastagem adubada + concentrado; extens. = extensivo, pastagem não adubada. Diferença entre épocas somente em MSI, %PV e CH₄ em g/d/kg de PV. Médias seguidas de mesmas letras não diferem entre si (P > 0,05, Tukey).

No verão, digestibilidade in vitro da matéria orgânica e proteína bruta, respectivamente, do *Panicum maximum* cv. Tobiatã adubado com N = 54,5% e 15,4% (raça Holandesa), *Brachiaria decumbens* adubada com N = 48% e 7,2% (Mestiça) e sem N = 41% e 6,5% (novilhas em sistema extensivo); concentrado = 82%. Vacas holandesas e mestiças em lactação receberam, respectivamente, 40% e 32% da matéria seca (MS) na forma de concentrado. Vacas secas e novilhas em sistema intensivo receberam 20% da MS na forma de concentrado.

No outono, digestibilidade in vitro da matéria orgânica (DIVMO) e proteína bruta (PB), respectivamente, de *Panicum maximum* cv. Tobiatã adubado com N = 55,8% e 12,5% (Holandesa), *Brachiaria decumbens* adubada com N = 52,8% e 6,2% (Mestiça) e sem adubação com N = 49,9% e 6,3% (novilhas em sistema extensivo); concentrado = 71%. Silagem de milho oferecido para vacas holandesas em lactação e silagem de sorgo oferecido para vacas mestiças em lactação apresentaram, respectivamente, DIVMO de 57,5% e 52,8%, e PB de 7,5% e 13%. Vacas holandesas e mestiças em lactação receberam, respectivamente, 40% e 30% da matéria seca na forma de concentrado e vacas secas e novilhas em sistema intensivo, 20%.

Fonte: adaptado de Pedreira (2004), Pedreira et al. (2009) e Primavesi et al. (2004a, 2004c).

respectivamente, 147 kg metano ano⁻¹ e 101 kg metano ano⁻¹, enquanto que as mestiças em lactação e secas emitiram, respectivamente 121 kg metano ano⁻¹ e 107 kg metano ano⁻¹. No outono, as vacas holandesas em lactação e vacas secas emitiram, respectivamente, 139 kg metano ano⁻¹ e 94 kg metano ano⁻¹, enquanto as mestiças lactantes e secas emitiram,

respectivamente 108 kg metano ano⁻¹ e 86 kg metano ano⁻¹ (PRIMAVESI et al., 2004a, 2004c).

Em vista das dificuldades de se estimar corretamente a quantidade de matéria seca ingerida, decidiu-se realizar estudos em confinamento com controle da ingestão. Aliada à necessidade de maior precisão na obtenção de dados de consumo para, finalmente, se obter os fatores de emissão, foram realizados estudos com volumosos suplementares (cana-de-açúcar) para a estação de seca.

Avaliações de emissão de metano para fins de mitigação

Gado de corte

Em estudo utilizando silagem de sorgo, corrigida com ureia ou 60% da MS em concentrado, verificou-se que a inclusão de concentrado à dieta, independente do híbrido de sorgo utilizado, propiciou aumento na eficiência de utilização da energia, refletida pela menor perda de metano em relação à ingestão de energia bruta (Tabela 6). A menor produção de metano por unidade de matéria seca ingerida, associada à correlação negativa entre coeficiente de digestibilidade ruminal e emissão de metano, mostrou que se deve maximizar a utilização dos alimentos pelos animais com o fornecimento de dietas que possuem melhor qualidade nutricional (OLIVEIRA, 2005; OLIVEIRA et al., 2007; PRIMAVESI et al., 2004c).

Testando níveis crescentes de concentrado na matéria seca de dietas à base de silagem de sorgo, verificou-se que a silagem sem concentrado propiciou uma menor emissão de metano em relação ao peso vivo dos animais, e que a adição de 30% de concentrado à dieta levou a um aumento máximo das emissões, sugerindo que outras variáveis devem influir no processo de emissão de metano (BERCHIELLI et al., 2003; PEDREIRA, 2004; PRIMAVESI et al., 2004c), especialmente o consumo e o desempenho animal. Verificou-se, entretanto, redução na produção de metano por unidade de matéria seca, matéria orgânica e energia digestível ingerida.

Tabela 6. Emissão de metano por novilhos Nelore alimentados com silagem de sorgo suplementados com ureia ou com substituição da matéria seca por 60% de concentrado de grãos, em confinamento.

Tratamento	PV kg	MSI		Emissão de CH ₄				
		kg dia ⁻¹	% do PV	g dia ⁻¹	kg ano ⁻¹	g/dia/ kg de PV	% da EBI	g kg ⁻¹ de MSI
Sil. + 1,2% de ureia	216a	3,6b	1,7b	49a	18a	0,22b	4,0a	13a
Sil. + 60% de conc.	214a	5,8a	2,7a	69a	25a	0,32a	3,5a	12a
Média	215	4,7	2,2	59	22	0,27	3,8	13

Nota: silagem com ureia ou concentrado, respectivamente, com: PB 11,6% e 17,8% da MS, FDN 55,0% e 35,5%, DIVMS 62% e 75%. Sil. = silagem de sorgo; conc. = concentrado energético, com 14% de proteína bruta; PV = peso vivo; MSI = matéria seca ingerida; EBI = Ym = porcentagem de energia bruta ingerida perdida, energia bruta ingerida, considerando 4,38 Mcal de energia bruta por kg de MS e 0,01334 Mcal/g CH₄. Fator de emissão = CH₄ em kg ano⁻¹ animal⁻¹; DIVMO da silagem de sorgo = 53,7%. Animais com peso de 140 kg a 310 kg. Médias seguidas de mesmas letras não diferem entre si (P > 0,05, Tukey). Dados obtidos em Jaboticabal, SP, latitude 21°15'S, longitude 48°17'W, altitude 578 m, clima tropical.

Fonte: adaptado de Oliveira (2005) e Oliveira et al. (2007).

Segundo Pedreira (PEDREIRA, 2004; PEDREIRA et al., 2009), a produção máxima de metano (150,7 g dia⁻¹) ocorreu com uma proporção de 36,6% de concentrado na dieta. Com 60% de concentrado, a produção de metano apresentou tendência de queda, em função do menor teor de fibra na dieta proporcionada pela adição de concentrado, além da possível alteração na composição da população microbiana do rúmen. Com referência à perda de energia bruta ingerida, ocorreu redução contínua, em função do aumento da densidade energética, menor teor de fibra e maior digestibilidade da matéria seca do concentrado (Tabela 7).

A partir da análise conjunta desses dois experimentos, utilizando-se os mesmos grupos genéticos de bovinos e silagem de sorgo com concentrado, foi possível constatar que ocorre diferença de resposta entre categorias animais, jovens e adultos, em função de peso vivo, sendo que animais maiores, ingerindo mais matéria seca, liberam mais metano (g dia⁻¹ e g/kg MSI) por animal; embora, a partir de determinado peso, emitam menos metano por kg de peso vivo, uma vez que ocorre redução na ingestão relativa de matéria seca por peso vivo (PRIMAVESI et al., 2004c) (Figura 1).

Tabela 7. Emissão de metano por novilhos mestiços zebuínos alimentados com silagem de sorgo com substituição crescente da matéria seca por concentrado energético, em confinamento.

Concentrado (%)	PV (kg)	MSI		Emissão de CH ₄				
		kg dia ⁻¹	% do PV	g dia ⁻¹	kg ano ⁻¹	g/dia/kg de PV	% da EBI	g kg ⁻¹ de MSI
0	467A	5,6C	1,2c	125b	46c	0,27B	7,3a	22a
30	459A	8,0B	1,7b	150a	55a	0,33A	6,2b	19b
60	456A	8,8A	1,9a	140ab	51b	0,31a	5,4c	16c
Média	461	7,4	1,6	138	51	0,30	6,3	19

Nota: PV = peso vivo, MSI = matéria seca ingerida, %EBI = considerando 4,38 Mcal de energia bruta por kg de MS e 0,01334 Mcal/g CH₄. Fator de emissão = CH₄ em kg ano⁻¹ animal⁻¹. Dados obtidos em Jaboticabal, SP, latitude 21°15'S, longitude 48°17'W, altitude 578 m, clima tropical de altitude, realizado entre outubro e novembro de 2002.

Obs.: concentrado de grãos substituiu parte da matéria seca da silagem de sorgo. Proteína bruta na dieta com 0%, 30% e 60% de concentrado foi de 5,4%, 7,5% e 9,6%, respectivamente, e fibra em detergente neutro, de 70%, 56% e 42%, respectivamente. PV = peso vivo; MSI = matéria seca ingerida; EBI = Y_m = porcentagem de energia bruta ingerida perdida, energia bruta ingerida calculada; DIVMO da silagem de sorgo com 0%–30%–60% concentrado = 54%, 58% e 64%. Animais com peso de 400 kg a 540 kg. Médias seguidas de mesmas letras não diferem entre si (P > 0,05, Tukey).

Fonte: adaptado de Berchielli et al. (2003), Pedreira (2004) e Primavesi et al. (2004c).

Por sua vez, a melhoria na qualidade da dieta pode ocorrer sem o uso de grãos, utilizando estádios iniciais de maturação das forrageiras gramíneas (C4) ou de forrageiras com metabolismo C3, com menos fibra e maior fração digestível, como leguminosas, promovendo melhor padrão de fermentação e redução da emissão de metano (POSSENTI, 2006; POSSENTI et al., 2008) (Tabela 8).

Nesse trabalho, o nível mais alto de leucena na presença de levedura (*Sacharomyces cerevisiae*) promoveu melhor padrão de fermentação, com aumento na produção de ácido propiônico e redução na emissão de metano.

Gado de leite

Em estudo realizado com animais da raça mestiça (Holandesa e Gir) de diferentes categorias, mantidos em confinamento, alimentados com

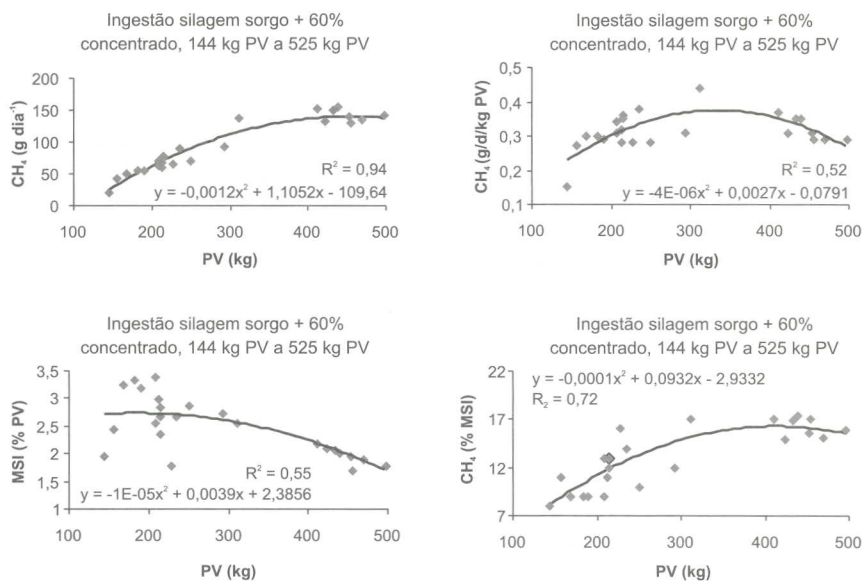


Figura 1. Emissão de metano ruminal, função do peso vivo animal. MSI = matéria seca ingerida, PV = peso vivo.

Fonte: Primavesi et al. (2004c).

Tabela 8. Emissão de metano, por bovino mestiço macho castrado, com dieta de feno de capim-coastcross, feno de leucena (Leu), com e sem levedura (Lev), em confinamento.

Tratamento		PV (kg)	MSI		Emissão de CH ₄				
Leu (%MS)	Lev		kg dia ⁻¹	% PV	g dia ⁻¹	kg ano ⁻¹	g/dia/kg de PV	% da EBI	g kg ⁻¹ de MSI
20	sem	800	7,3	0,9	139	51	0,17	5,8	19
50	sem	800	7,3	0,9	131	48	0,16	5,5	19
20	com	800	7,4	0,9	156	57	0,20	6,4	20
50	com	800	7,6	0,9	127	46	0,16	5,1	17
Média		800	7,4	0,9	138	51	0,17	5,7	19

Nota: PB 17,0% da MS, FDN 70%, DIVMS 63%. PV = peso vivo, MSI = matéria seca ingerida. %EBI = Ym = porcentagem de energia bruta ingerida perdida, energia bruta ingerida, considerando 4,38 Mcal de energia bruta por kg de MS e 0,01334 Mcal/g CH₄. Fator de emissão = CH₄ em kg ano⁻¹ animal⁻¹. Dados obtidos em Nova Odessa, SP, latitude 22°46'S, longitude 47°16'W, altitude 561 m, clima tropical, realizado entre maio e junho de 2005.

Fonte: adaptado de Possenti (2006).

cana picada corrigida com ureia ou concentrado, Pedreira (PEDREIRA, 2004; PEDREIRA et al., 2009) e Primavesi et al. (2004c) observaram que não houve efeito de diferentes variedades de cana-de-açúcar sobre a produção de metano, mas que o fornecimento de alimentos concentrados proporcionou aumento na ingestão de nutrientes pelos animais e, conseqüentemente, maior produção de metano por dia (Tabela 9). Observou-se, entretanto, uma redução de perda de energia bruta em forma de metano à medida que houve aumento da ingestão de matéria seca com maior densidade energética e proteica, menos fibrosa, na forma de concentrado.

Quando os resultados são calculados como produção de metano por unidade de matéria orgânica digestiva ingerida, a ingestão da cana com

Tabela 9. Emissão de metano por novilhas leiteiras mestiças zebuínas alimentadas com cana-de-açúcar despalhada com diferentes qualidades e tratamentos, em São Carlos, SP.

Cana	Trat.	PV (kg)	MSI		Emissão de CH ₄				
			kg dia ⁻¹	% do PPV	g dia ⁻¹	kg ano ⁻¹	g/dia/kg de PV	% da EBI	g kg ⁻¹ de MSI
Variedade IAC 86-2.480, com relação FDN:Pol de 2,3									
1	+ ureia	357a	6,9B	1,9b	113b	41Bc	0,32B	5,4ab	17ab
1	+ conc.	372a	10,9A	2,9a	166a	61A	0,45A	4,9b	15bc
Média		365	8,9	2,4	140	51	0,39	5,2	16
Variedade IAC 87-3.184, com relação FDN: Pol de 3,0									
2	pura*	370a	5,3C	1,4c	101c	37C	0,27B	6,4a	19a
2	+ ureia	370a	7,3B	2,0b	122b	45Bc	0,33B	5,3ab	17ab
2	+ conc.	399a	11,2A	2,8a	140b	51B	0,36B	4,4b	13c
Média		385	9,3	2,4	131	48	0,35	4,9	15

Nota: PV = peso vivo, MSI = matéria seca ingerida, %EBI = Y_m = porcentagem de energia bruta ingerida perdida, considerando 4,38 Mcal de energia bruta por kg de MS e 0,01334 Mcal/g CH₄. Fator de emissão = CH₄ em kg ano⁻¹ animal⁻¹. Dados obtidos em São Carlos, SP, latitude 21°05'S, longitude 47°05'W, altitude 840 m, clima tropical de altitude, realizado em agosto de 2002.

Obs: Trat. = tratamento: pura* = cana picada pura, testado para medir perda de energia em condição de restrição de ingestão de matéria seca, por conta de baixo teor proteico; + ureia = com 1% de ureia; + conc. = 40% da matéria seca (MS) na forma de concentrado de grãos, com 20% de proteína bruta (PB); PB final da dieta = 10,5%. PV = Peso vivo; MSI = MS ingerida; EBI = energia bruta ingerida calculada; Pol = teor de sacarose medida em polarímetro. Digestibilidade in vitro da matéria orgânica da cana: 1 = 64%, 2 = 55%. Fibra em detergente neutro da cana: 1 = 41%, 2 = 50% Lignina na MS: 1 = 3,4%, 2 = 5,2%. Animais com peso de 300 a 450 kg. Médias seguidas de mesmas letras não diferem entre si (P > 0,05, Tukey).

Fonte: adaptado de Pedreira (2004) e Primavesi et al. (2004c).

menor teor de fibra (cana 1) resulta em menor emissão de metano em relação à cana 2, sugerindo influência do teor de fibra. O uso de concentrado como parte da matéria seca ingerida reduz as perdas de metano por unidade do nutriente. A Figura 2 mostra a produção de metano como função da ingestão de matéria orgânica digestiva.

A produção de metano por unidade de fibra detergente neutro digestível foi afetada, tanto pela variedade de cana (teor de fibra) como pela concentração de concentrado. Na Figura 3, 79% da emissão de metano (g dia^{-1}) é explicada pelo aumento da ingestão de fibra detergente neutro digestível.

Verificou-se que as perdas de energia bruta ingerida, na forma de metano, com oferta de volumoso à base de forrageiras tropicais, incluindo cana-de-açúcar picada, ficou em torno de 6,5% do total de energia bruta ingerida, valor considerado como médio para condições de pastagens de

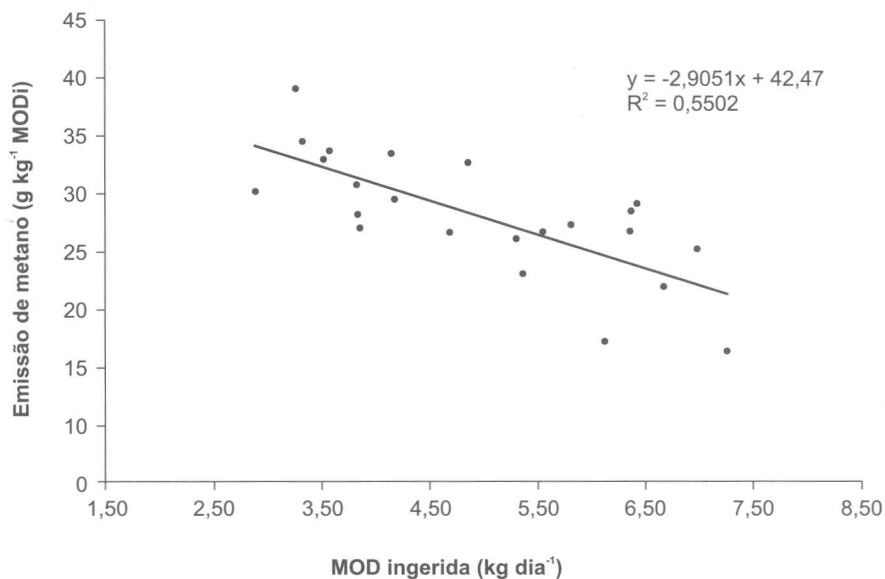


Figura 2. Matéria orgânica digestível ingerida (MODi) influenciando a emissão de metano ruminal ($\text{g kg}^{-1} \text{MODi}$) por novilhas zebuínas.

Fonte: Pedreira (2004).

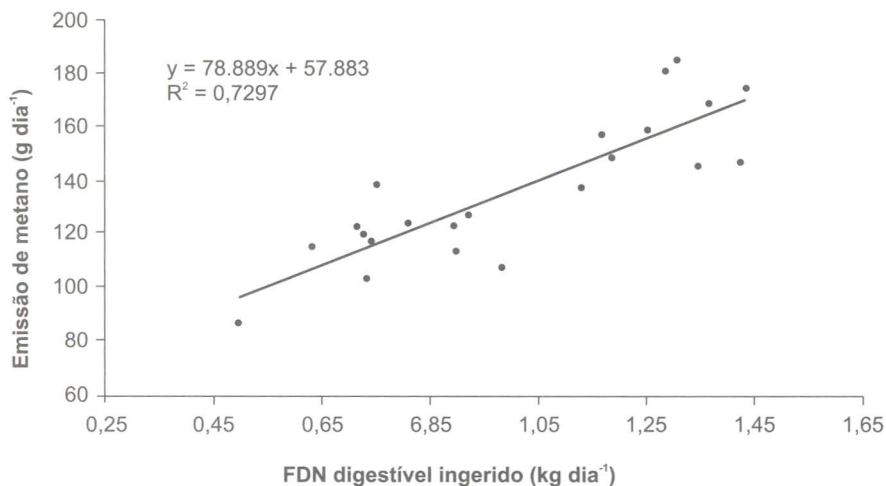


Figura 3. Efeito da ingestão de fibra em detergente neutro (FDN) digestível sobre a emissão de metano ruminal (g dia⁻¹) por novilhas mestiças zebuínas.

Fonte: Pedreira (2004).

clima tropical (DONG et al., 2006). Somente as taxas de emissão por vacas em lactação avaliadas nesse estudo superaram os valores default do IPCC para bovinos leiteiros sob clima temperado (DONG et al., 2006), o que pode ser explicado pela ocorrência de estímulo à ingestão máxima de matéria seca fibrosa (forragem ou silagem), por meio da adição de concentrado na dieta, gerando pico de emissão de metano. Por outro lado, as emissões mais elevadas desses animais são compensadas por uma maior produtividade, reduzindo as taxas de emissão por unidade de produto (Tabela 10).

Estimativa do fator de emissão de metano para bovinos (inventário)

Os resultados das avaliações de emissão de metano para bovinos de corte e de leite mostraram que as perdas de energia em função do manejo alimentar em diferentes sistemas produtivos de bovinos apresentam períodos de perdas de energia bruta ingerida, na forma de metano, similares ou inferiores ao valor default do IPCC (DONG et al., 2006), que é de 6,5%.

Tabela 10. Emissão de metano por unidade de leite produzido, por vacas em pastagens, em São Carlos, SP.

Vaca em lactação	Produção de leite (L dia ⁻¹)	CH ₄ /L de leite (g dia ⁻¹)	DIVMS da forragem (%)	Concentrado grãos/MSI (%)	Peso vivo vaca (kg)
Verão					
Holandesa	22,7	18,4	51	40	572
Mestiça	13,3	25,3	37	32	435
Média	18,0	21,9	44	36	503
Outono					
Holandesa	21,8	23,1	54	45	570
Mestiça	8,8	35,8	50	28	475
Média	15,3	29,5	52	37	523

DIVMS = digestibilidade in vitro da matéria seca. MSI = matéria seca ingerida.

Fonte: adaptado de Pedreira (2004), Pedreira et al. (2009) e Primavesi et al. (2004b).

Visando melhorar as estimativas de emissão de metano para condições locais no País, foram desenvolvidos fatores de emissão de metano para diferentes categorias de bovinos leiteiros e de corte. Na Tabela 11 apresentam-se fatores de emissão de metano por categoria animal e por kg de peso vivo, considerando os resultados de quantificação de emissão de metano por gado leiteiro (São Carlos, SP) e gado de corte (Nova Odessa, Jaboticabal e Andradina, SP).

Apesar das diferenças regionais nos sistemas de produção, observou-se que as características intrínsecas dos alimentos e as categorias animais são os fatores determinantes das taxas de emissão de CH₄. Com base nessa premissa e nos resultados de avaliações de emissão de metano (g CH₄/kg PV) determinados por categoria animal, foram ajustados dois modelos de regressão polinomial (1 = gado de corte, e 2 = gado de leite não lactante). Esses modelos foram usados para estimar os fatores de emissão (kg CH₄ animal⁻¹ ano⁻¹) das categorias não avaliadas, com o auxílio de uma planilha eletrônica e com dados da evolução estimada de ganho de peso mensal e peso vivo dos animais. Assim, para gado de corte foi realizado um desdobramento do modelo principal em dois submodelos: um para

condição de dieta só a pasto (1a) e outro para dieta contendo concentrado (1b), ambos desenvolvidos com base em dados obtidos nessa pesquisa.

O modelo de regressão para bovinos de leite sobrevalora em certo grau as emissões de metano, porque, em sua média de dados, não existem situações de restrição alimentar, como ocorre para gado de corte.

Ambos os modelos não incluem as vacas de corte e leite em lactação. Além disso, deve-se considerar que, entre raças europeias e zebuínas, a eficiência de conversão alimentar é similar, variando apenas a capacidade de ingestão de matéria seca por dia (SOEST, 1994). Considerou-se que o bezerro ao nascimento, com peso vivo médio de 35 kg, não emite metano por não ingerir quantidades significativas de forragem nessa fase.

A. Bovinos de corte

$$y \text{ (g CH}_4\text{/dia kg PV)} = 0,000000004x^3 - 0,000007x^2 + 0,0034x - 0,1211$$

$$(R^2 = 0,94)$$

em que $x = \text{PV}$ (Peso vivo), em kg, com intervalo de dados de 35 kg a 800 kg.

(1a) Bovinos de corte a pasto

$$y \text{ (g CH}_4\text{/dia kg PV)} = 0,00000000192x^3 - 0,00000424x^2 + 0,002577x - 0,09$$

(1b) Bovinos de corte com dieta contendo concentrado

$$y \text{ (g CH}_4\text{/dia kg PV)} = 0,000000002x^3 - 0,000004x^2 + 0,0023x - 0,0792$$

B. Bovinos leiteiros, predominante rebanho mestiço

$$y \text{ (g CH}_4\text{/dia kg PV)} = 0,000002x^2 + 0,0021x - 0,0753$$

$$(R^2 = 0,81)$$

em que $x = \text{PV}$ (Peso vivo), em kg, com intervalo de dados de 35 kg a 623 kg.

Tabela 11. Estimativa preliminar Tier 2, da emissão de metano ruminal pelo rebanho bovino brasileiro (2001), utilizando fatores de emissão obtidos a campo (negrito), com ajuste para as diferentes categorias de animais.

Categoria animal	kg PV	Número de animais	g CH ₄ / dia/kg de PV	kg CH ₄ ano ⁻¹	1.000.000 t ano ⁻¹	
			Média animal		CH ₄	
Rebanho bovino de leite						
Touros	700	540.000	0,41	106	0,06	
Vacas lactantes	476	10.400.000	0,66	115	1,20	
Vacas secas	501	5.190.000	0,54	97	0,50	
Novilhas	2–3 anos	381	3.100.000	0,47	66	0,20
Novilhas	1–2 anos	250	4.800.000	0,32	30	0,14
Bezerras	160	5.436.000	0,21	12	0,07	
Bezerros	180	5.420.152	0,24	16	0,09	
Subtotal		34.886.152		Média = 65	2,26	
Rebanho bovino de corte						
Touros	800	1.631.719	0,18	52	0,08	
Vacas	500	43.870.221	0,33	60	2,63	
Novilhas	2–3 anos	350	9.198.246	0,38	49	0,45
Novilhas	1–2 anos	250	14.369.398	0,35	32	0,46
Bezerras	160	16.576.294	0,26	15	0,25	
Bezerros	180	16.497.199	0,29	19	0,31	
Novilhos	1–2 anos	215	15.710.335	0,27	22	0,35
Novilhos	2–3 anos	389	8.232.282	0,38	48	0,40
Novilhos	3–4 anos	458	2.764.984	0,32	53	0,15
Novilhos	> 4 anos	458	659.838	0,32	53	0,03
Subtotal		129.510.516		Média = 39	5,11	
Total geral		164.396.668			7,37	

Nota: os fatores de emissão (kg CH₄ ano⁻¹ animal⁻¹) foram gerados multiplicando-se os valores médios de g CH₄/dia/kg de PV por 365 dias, sem necessariamente considerar as variações estacionais, quando não foram medidas, considerando-se o período de lactação e o de vaca seca. Dados em negrito foram determinados sob condições do rebanho na região Sudeste. Dados do rebanho leiteiro puro europeu, ver Tabela 9. Valores médios default (DONG et al., 2006) são 63 kg CH₄ ano⁻¹ bovino leiteiro⁻¹ (vacas de 400 kg PV com produção acima de 800 kg leite⁻¹ ano⁻¹) e 56 kg CH₄ ano⁻¹ bovino de corte⁻¹ (sem os bezerros).

Variáveis que afetam as emissões de metano

- Consumo de alimento (matéria seca, matéria seca digestível, matéria orgânica digestível): variável influenciada por peso vivo (kg),

ganho médio diário de peso vivo (kg dia^{-1}), sistema de alimentação (confinamento, pastejo intensivo e extensivo), produção de leite por dia (kg dia^{-1}) e teor de gordura (%).

- Qualidade do alimento (concentrações de FDN, PB, DIVMS, baixa 45%–55%, média 55%–75% e alta 75%–85%; fatores antinutricionais): a composição da dieta pode limitar a ingestão de matéria seca ou reduzir a digestibilidade em altos níveis de ingestão.
- Tipo de dieta (densidade energética = energia metabolizável, tamanho de partícula, teor de óleo insaturado, porcentagem de concentrado e ou teor de amido, etc.): sua influência na variação qualitativa e quantitativa dos microrganismos do trato digestivo.
- Potencial genético de produção (espécies zebuínas ou taurinas; peso adulto para animais precoces a tardios; eficiência alimentar; consumo alimentar residual).
- Categoria animal (animais jovens e adultos, em fase de crescimento ou terminação, produção de leite e período seco; reprodução).
- Espécie animal: bovinos, caprinos, ovinos, bubalinos.
- Perdas de energia na forma de metano: porcentagem da energia bruta ingerida que é perdida como metano eructado.
- Manejo de pastagens (disponibilidade de matéria seca, método de manejo, seletividade, adubação (tipo, quantidade e época), uso de suplementos, período de pastejo e descanso, planta forrageira, etc.).
- Sistema de produção (extensivo ou intensivo), lotação animal, manejo alimentar (períodos de restrição ou suplementação alimentar, disponibilidade de forragem, etc.), manejo reprodutivo e manejo sanitário.

Ações possíveis de mitigação/ atenuação das emissões de GEEs

De forma geral, buscar uma maior eficiência de produção refletirá numa menor emissão de GEE por unidade de produto, cuja mitigação não será necessariamente proporcional a essa redução. Por exemplo, com a redução à metade da idade de abate, de 48 para 24 meses, provavelmente não haverá redução das emissões na mesma proporção. Isso ocorre porque há uma maior necessidade de recursos (alimento, energia, fertilizantes, mão de obra, etc.) para engordar um animal mais rapidamente. Estima-se que as emissões por unidade de produto ($\text{kg CH}_4/\text{kg}$ carne ou leite) sejam menores em sistemas mais eficientes.

As indicações para a redução das emissões de metano por kg de leite ou de carne bovinos estão ligadas à melhoria da dieta (alimentos com maior conteúdo de energia bruta digestiva, com maior conteúdo em proteína, menos fibrosa), à melhoria de pastagens (com maior oferta de forragem, mais digestiva, sem restrições ao longo do ano), à suplementação alimentar (com complementos energéticos e/ou proteicos), à melhoria genética dos animais (com maior capacidade de produção e melhor eficiência alimentar), às melhores práticas de manejo (menor exposição dos animais ao calor, com pastejo no período noturno e ruminação diurna debaixo de sombra, disponibilidade de água de qualidade, proximidade de fontes de água), e às outras medidas que resultam na melhor eficiência produtiva, o que num todo, reduz o impacto ambiental dos sistemas de produção, tornando-os mais rentáveis.

A oferta de alimento com baixa digestibilidade e teor de proteína bruta na forragem abaixo de 7% pode resultar em maior tempo de retenção no rúmen, maior atividade de digestão da celulose, e maior emissão de metano, comparado ao oferecimento de alimentos com bom teor de proteína bruta e maior taxa de passagem pelo rúmen. O uso de forragens com baixos valores nutricionais pode levar a uma ingestão maior de alimentos por novilhas, que procuram atender seu requerimento

energético para um metabolismo mais intensivo, resultando em uma maior taxa de emissão de metano pelos animais, com menor peso vivo.

Uma possível alternativa para redução da perda de energia na forma de metano ruminal é o uso de volumosos de qualidade, como forragens com maior digestibilidade utilizando estádios iniciais de maturação das gramíneas (C4) ou de plantas com metabolismo C3, uso de cana-de-açúcar (verificando a relação FDN/POL ou realizando uma simples despalha) corrigida com concentrado e/ou ureia e uso de alimentos com menos fibra e maior fração digestível, como leguminosas.

Utilizar animais com maior potencial de produção de carne e leite também reduz a perda de energia, porque se sabe que animais com capacidade produtiva mais baixa, selecionados para pastagens de menor qualidade, ou, por vezes, com restrição de oferta, crescem e se desenvolvem mais lentamente. Esses animais ingerem menos alimento, e, embora apresentem taxas similares de conversão de energia bruta ingerida ao de animais produtivos (CRUZ et al., 2003; TULLIO, 2004), necessitam de mais tempo em confinamento para atingirem o mesmo grau de acabamento de carcaça, relacionada com espessura da camada externa de gordura. A oferta de alimento de melhor qualidade para esses animais menos eficientes aumentaria a ingestão de matéria seca, porém direcionaria a energia excedente para a deposição de gordura e não de músculos.

Algumas ações possíveis de mitigação são listadas abaixo:

- Melhorar a oferta e a qualidade de alimentos (< FDN, > PB, > DIVMS) ao longo do ano, pelo correto manejo de pastagem, uso de grãos e de forrageiras de melhor qualidade (gramíneas, leguminosas) ou alternativas de volumosos (cana-de-açúcar picada corrigida, silagens, capineiras, pastos consorciados, etc.).
- Melhorar o manejo de pastagem por meio da aplicação de conceitos de interceptação de luz com o objetivo de determinar o momento correto de início do pastejo em sistemas rotacionados.

- Usar animais com maior potencial genético de produção (rebanho tradicional versus melhorado).
- Incorporar fator de eficiência alimentar (Residual Feed Intake) em programas de melhoramento genético.
- Aumentar a eficiência do sistema de produção, aumentando a produção animal, reduzindo a idade de abate e a produção de metano por unidade de produto (carne ou leite).
- Uso de aditivos nutricionais, como óleos essenciais, compostos vegetais secundários, probióticos, ionóforos, leveduras entre outros com vistas à otimização da fermentação ruminal.
- Aumentar a eficiência reprodutiva dos rebanhos, reduzindo a idade ao primeiro parto, aumentando a longevidade das matrizes, reduzindo a taxa de reposição e a necessidade de muitos animais de diferentes categorias na propriedade.
- Zelar pelo bem estar animal (animais produzem mais na ausência de estresse térmico, com sombra, sem vento, etc.) além de respeitar as relações sociais (definição da hierarquia, evitar misturas e trocas constantes de animais de categorias e lotes distintos).
- Aumentar a taxa de passagem (by pass) de nutrientes para o trato digestivo posterior (gordura e proteína protegida e/ou de baixa degradabilidade ruminal).

Nos estudos de estratégias de manejo dos sistemas de produção que visam à mitigação da emissão de metano no setor agropecuário, devem ser considerados, ainda:

- A implementação das boas práticas de manejo já conhecidas para o aumento da eficiência dos sistemas de produção, visando ao menor impacto ambiental e à menor pegada ecológica (*ecological footprint*) do produto final.

- A redução e a remediação de sistemas de produção que conduzem à degradação dos recursos naturais que, além de aumentar a emissão de gases de efeito estufa, contribuem significativamente para a geração de calor ou de elevação da radiação infravermelha¹.

Considerações finais

Os resultados apresentados neste capítulo poderão ser utilizados em futuros inventários de emissão de gases de efeito estufa no Brasil, pois consideram rebanhos típicos da pecuária dominante do País. É fundamental, entretanto, que o conjunto desses dados, gerados com o emprego de uma técnica de grande acurácia (traçador SF₆), sejam acompanhados do uso de dados estatísticos adequados para que boas estimativas de emissão de metano sejam produzidas nos inventários. Atualmente, ainda é possível verificar grandes distorções de dados de população do rebanho bovino no País entre fontes oficiais e não oficiais. Desse modo, salienta-se a necessidade de uma melhor quantificação e a caracterização dos rebanhos nacionais.

Além desse aspecto, há muitas perspectivas para a realização de novos estudos e experimentos visando ao aprimoramento de estimativas de fatores de emissão, entre as quais, destacam-se as seguintes:

- Melhorar as estimativas de consumo de matéria seca (MS) ao nível de campo (aprimorar o uso de indicadores como alcanos, cromo, lignina, titânio, Lipe, FDNi, FDAi, ganho de peso, etc.).
- Testar combinações de alimentos (cana-de-açúcar, silagem de milho, níveis de concentrado; forragens mais digestivas; subprodutos).
- Testar dietas com óleos vegetais insaturados e subprodutos de indústrias de biodiesel (tortas e glicerina) na emissão entérica de metano.

¹ A geração de calor e o aumento da radiação infravermelha são consequências da redução da umidade do solo e do ar ocasionada pela falta de sombreamento do solo e eliminação de estruturas vaporizadoras.

- Testar a campo animais de categorias distintas, necessários para estabelecer as equações para os fatores de emissão de metano e permitir a estimativa da emissão pelo rebanho nacional, sob semelhantes condições de manejo (oferta e qualidade de alimento, ao longo do ano).
- Mensurar a produção de metano em bezerros e vacas de corte em lactação.
- Avaliar os parâmetros ruminais conjuntamente à produção de metano (AGV, NH_3 , populações de microrganismos).
- Avaliar o efeito de dietas e aditivos sobre a produção de metano: níveis de concentrado, uso de ionóforos ou probióticos, efeito de substâncias como tanino, mimosina e outros.
- Avaliar emissões de metano em dejetos de bovinos (utilização potencial de biodigestores).
- Melhorar as estimativas disponíveis sobre as características do rebanho nacional (número total e estratificação) por região/estado.
- Avaliar o impacto de diferentes sistemas de produção sobre a produção de gases de efeito estufa com a introdução de diferentes tipos de manejo de pastagens, uso de suplementos e estratégias alimentares, da integração lavoura e pecuária e da silvicultura.
- Gerar fatores de emissão médios do rebanho brasileiro para alimentar o banco de dados do IPCC.
- Avaliar de forma integrada as fontes de emissão e sumidouro de gases de efeito estufa (N_2O , CH_4 , CO_2), no nível de sistema de produção, incluindo campo de produção de cana-de-açúcar, milho para silagem, pastagens manejadas de forma extensiva e intensiva; em solo úmido e seco; bem e mal arejado; com ou sem cobertura com resíduos vegetais; com baixo e alto nível de uso de insumos (N, calcário, material orgânico). Um levantamento sistemático

pode indicar as consequências de qualquer medida de mitigação em determinado sistema de produção animal. Por exemplo, ao se aumentar o uso de grãos na dieta, com redução na emissão de metano, pode ocorrer transferência do problema para o campo de produção de milho, com maior produção de óxido nitroso.

- Deve-se buscar descrever os fatores de emissão para todas as categorias animais por região. Para isso, deve-se determinar os pesos vivos médios por faixa etária divulgada pelo IBGE. Outro aspecto interessante é determinar a emissão de metano por unidade de produto final gerado ($\text{kg CH}_4/\text{kg}$ carne ou leite), e não por animal/ano, que em princípio indica os sistemas de produção de baixa eficiência como sendo mais vantajosos, porque animais que passam restrição alimentar geram menos metano. A indicação de emissão por kg de produto incorpora parâmetros de eficiência de produção aos índices de sustentabilidade.

Referências

- ANDERSON, B.; BARTLETT, K.; FROLKING, S.; HAYHOE, K.; JENKINS, J.; SALAS, W. **Methane and nitrous oxide emissions from natural sources**. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency-Office of Atmospheric Programs, 2010. Disponível em: <<http://www.epa.gov/outreach/pdfs/Methane-and-Nitrous-Oxide-Emissions-From-Natural-Sources.pdf>>. Acesso em: 27 ago. 2010.
- ANUALPEC 2005: anuário da pecuária brasileira. São Paulo: FNP, 2005. 340 p.
- ANUALPEC 2011: anuário da pecuária brasileira. São Paulo: FNP, 2011. 378 p.
- ASSOCON. O confinador: desafio de confinamento. **AG: a Revista do Criador**, Porto Alegre, ano 12, n. 120, p. 67-69, 2008.
- BERCHIELLI, T. T.; PEDREIRA, M. S.; OLIVEIRA, S. G.; PRIMAVESI, O.; LIMA, M. A.; FRIGHETTO, R. Determinação da produção de metano e pH ruminal em bovinos de corte alimentados com diferentes relações volumoso:concentrado. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 40., 2003, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria: SBZ, 2003. 1 CD-ROM.
- BERNDT, A. Estratégias nutricionais para redução de metano. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE NUTRIÇÃO ANIMAL, 4., 2010, São Pedro. **Anais...** São Pedro: CBNA: CLANA, 2010. p. 295-306.

BLAXTER, K. L.; CLAPPERTON, J. L. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. **British Journal of Nutrition**, Wallingford, v. 19, p. 511–522, 1965.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Inventário brasileiro de emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouros de gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal**: parte 2. Brasília, DF, 2010. 154 p. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0214/214061.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2011.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa**: relatórios de referência. Brasília, DF, 2006. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/17341.html>>. Acesso em: 15 dez. 2011.

CARMONA, J. C. El gás 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**, Medellín, v. 18, p. 49-63, 2005.

CHATFIELD, R. **The photochemistry of ozone**. 1996. 26 p. Disponível em: <<http://geo.arc.nasa.gov/ssg/chatfield/PhotochemFreeTrop.pdf>>. Acesso em: 30 jan. 2007.

CLARK, H.; KLEIN, C.; NEWTON, P. **Potential management practices and technologies to reduce nitrous oxide, methane and carbon dioxide emissions from New Zealand Agriculture**. Ngaherehere: Ministry of Agriculture and Forestry, 2001. Disponível em: <<http://www.maf.govt.nz/mafnet/rural-nz/sustainable-resource-use/climate/green-house-gas-migration/ghg-mitigation.htm>>. Acesso em: 12 jul. 2005.

COTTON, W. R.; PIELKE, R. A. **Human impacts on weather and climate**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 288 p.

CRUTZEN, P. J.; ASELMANN, I.; SEILER, W. Methane production by domestic animals, wild ruminants and other herbivorous fauna and humans. **Tellus**, Boston, v. 38B, p. 271-274, 1986.

CRUTZEN, P. J.; ZIMMERMAN, P. H. The changing photochemistry of the troposphere. **Tellus**, Boston, v. 43A-B, p. 136-151, 1991.

CRUZ, G. M.; TULLIO, R. R.; ALLEONI, G. F.; BERNDT, A.; ALENCAR, M. M.; LANNA, D. P. D. Ganho de peso e conversão alimentar de bovino jovem não-castrado de quatro grupos genéticos em confinamento em relação ao status nutricional na fase de pastejo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 40., 2003, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria: SBZ, 2003. 1 CD-ROM.

DEMARCHI, J. J. A. A.; MANELLA, M. Q.; LOURENÇO, A. J.; ALLEONI, G. F.; FRIGHETTO, R. S.; PRIMAVESI, O.; LIMA, M. A. Daily methane emission at different seasons of the year by Nellore cattle in Brazil grazing *Brachiaria brizantha* cv. Marandu: preliminary results. In: WORLD CONFERENCE ON ANIMAL PRODUCTION, 9., 2003, Porto Alegre. **Proceedings...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Zootecnia: World Association of Animal Production, 2003a. 1 CD-ROM.

DEMARCHI, J. J. A. A.; MANELLA, M. Q.; LOURENÇO, A. J.; ALLEONI, G. F.; FRIGHETO, R. T. S.; PRIMAVESI, O.; LIMA, M. A. Preliminary results on methane emissions by Nellore cattle in Brazil grazing *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. In: INTERNATIONAL METHANE AND NITROUS OXIDE MITIGATION CONFERENCE, 3., 2003, Beijing. **Proceedings...** [Beijing: China Coal Information Institute], 2003b. p. 80-84.

DONG, H.; MANGINO, J.; MCALLISTER, T. A.; HATFIELD, J. L.; JOHNSON, D. E.; LASSEY, K. R.; LIMA, M. A.; ROMANOVSKAYA, A. Emissions from livestock and manure management. In: EGGLESTON, H. S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (Ed.). **2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories programme**. Hayama: Institute for Global Environmental Strategies, 2006. v. 4, p. 10.1-10.87.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Evaluating ruminant livestock efficiency projects and programs. In: PEER review draft. Washington, DC: EPA, 2000. 48 p.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Greenhouse gas emissions from agricultural systems. In: WORKSHOP ON GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM AGRICULTURE, 1989, Washington, DC. **Proceedings...** Washington, DC: EPA, 1990a. v. 1.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Methane emissions and opportunities for control**: workshop results of Intergovernmental Panel on Climate Change. Washington, DC: EPA, 1990b.

HOLTER, J. B.; YOUNG, A. J. Nutrition, feeding and calves: methane prediction in dry and lactating Holstein cows. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v. 75, p. 2165-2175, 1992.

HOUGHTON, J. T.; JENKINS, G. J.; EPHRAUMS, J. J. (Ed.). **Climate change**: the IPCC scientific assessment. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 365 p.

HOUGHTON, J. T.; MEIRA FILHO, L. G.; BRUCE, J.; LEE, H.; CALLANDER, B. A.; HAITES, E.; HARRIS, N.; MASKELL, K. (Ed.). **Climate change 1994**: radiative forcing of climate change and an evaluation of the IPCC 1992 IS92 emission scenarios. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 339 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Anuário estatístico do Brasil**: 1997. Rio de Janeiro, 1998a. v. 57.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário 1995-1996, Brasil**. Rio de Janeiro, 1998b.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário 2006**: Brasil, grandes regiões e unidades da federação. Rio de Janeiro, 2006. 777 p. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/brasil_2006/Brasil_censoagro2006.pdf>. Acesso em: 7 out. 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema IBGE de Recuperação Automática**: SIDRA: banco de dados agregados. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 27 ago. 2010.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change; UNEP. United Nations Environment Programme; OECD. Organization for Economic Co-Operation and Development; IEA.

International Energy Agency. **Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Paris, FR, 1997. v. 3.

JOHNSON, K. A.; JOHNSON, D. E. Methane emissions from cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, 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**, Wallingford, v. 81, n. 3, p. 227-234, 1999.

LIMA, M. A.; DEMARCHI, J. J. A. A. Emissão de metano pela pecuária ruminante: quantificação e estratégias de mitigação. **Feed & Food**, Sorocaba, v. 2, n. 7, p. 66-68, 2007.

MOSIER, A. R.; DUXBURY, J. M.; FRENEY, J. R.; HEINEMEYER, O.; MINAMI, K. Assessing and mitigating N₂O emissions from agricultural soils. **Climatic Change**, Amsterdam, NL, v. 40, p. 7-38, 1998.

MOSIER, A. R.; SCHIMEL, D. S.; VALENTINE, D.; BRONSON, K.; PARTON, W. Methane and nitrous oxide fluxes in native, fertilized and cultivated grasslands. **Nature**, London, GB, v. 350, p. 330-332, 1991.

MOSIER, A.; WASSMANN, R.; VERCHOT, L.; KING, J.; PALM, C. Methane and nitrogen oxide fluxes in tropical agricultural soils: sources, sinks and mechanisms. In: WASSMANN, R.; VLEK, P. L. G. (Ed.). **Methane tropical agriculture in transition: opportunities for mitigating greenhouse gas emissions?** Heidelberg: Kluwer Academic Publishers, 2004. p. 11-49.

NASCIMENTO, C. F. M. **Emissão de metano por bovinos Nelore ingerindo Brachiaria brizantha em diferentes estádios de maturação**. 2007. 65 f. Dissertação (Mestrado em Nutrição e Produção Animal) – Universidade de São Paulo, Pirassununga.

NASCIMENTO, C. F. M.; DEMARCHI, J. J. A. A.; BERNDT, A.; RODRIGUES, P. H. M. Methane emissions by Nelore beef cattle consuming Brachiaria brizantha with different station of maturation. In: GREENHOUSE GASES AND ANIMAL AGRICULTURE CONFERENCE, 3., 2007, Christchurch. **Proceedings...** Christchurch: GGAA, 2007. p. 64-65.

OLIVEIRA, S. G. **Caracterização nutricional de silagens de sorgo com variação no teor de tanino em bovinos de corte**. 2005. 129 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal.

OLIVEIRA, S. G.; BERCHIELLI, T. T.; PEDREIRA, M. S.; PRIMAVESI, O.; FRIGHETTO, R.; LIMA, M. A. Effect of tannin levels in sorghum silage and concentrate supplementation on apparent digestibility and methane emission in beef cattle. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, NL, v. 135, n. 3-4, p. 236-248, 2007.

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. 162 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal.

PEDREIRA, M. S.; PRIMAVESI, O.; LIMA, M. A.; FRIGHETTO, R.; OLIVEIRA, S. G.; BERCHIELLI, T. T. Ruminant methane emission by dairy cattle in Southeast Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 6, p. 742-750, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/sa/v66n6/a04v66n6.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2009.

POSSENTI, R. A. **Efeitos de dietas com *Leucaena leucocephala* com ou sem adição de *Sacharomyces cerevisiae* na digestão, fermentação, protozoários e produção de metano no rúmen em bovinos**. 2006. 100 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade de São Paulo, Pirassununga.

POSSENTI, R. A.; FRANZOLIN, R.; SCHAMMMASS, E. A.; DEMARCHI, J. J. A. A.; FRIGHETTO, R. T. S.; LIMA, M. A. Efeitos de dietas contendo *Leucaena leucocephala* e *Sacharomyces cerevisiae* sobre a fermentação ruminal e a emissão do gás metano em bovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 8, p. 1509-1516, 2008.

PRIMAVESI, O.; ARZABE, C.; PEDREIRA, M. S. **Mudanças climáticas: visão tropical integrada das causas, dos impactos e de possíveis soluções para ambientes rurais ou urbanos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007. 200 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos, 70). Disponível em: <<http://www.cppse.embrapa.br/sites/default/files/principal/publicacao/Documentos70.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2008.

PRIMAVESI, O.; FRIGHETTO, R. T. S.; PEDREIRA, M. S.; LIMA, M. A.; BERCHIELLI, T. T.; BARBOSA, P. F. Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 3, p. 277-283, 2004a.

PRIMAVESI, O.; FRIGHETTO, 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, 2004b. 1 CD-ROM. (Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos, 39).

PRIMAVESI, O.; PEDREIRA, M. S.; FRIGHETTO, R. T. S.; LIMA, M. A.; BERCHIELLI, T. T.; OLIVEIRA, S. G.; RODRIGUES, A. A.; BARBOSA, P. F. **Manejo alimentar de bovinos leiteiros e sua relação com produção de metano ruminal**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2004c. 21 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Circular Técnica, 39).

SOEST, P. J. van. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2nd ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994. 476 p.

STEUDLER, P. A.; BOWDEN, R. D.; MELILLO, J. M.; ABER, J. D. Influence of nitrogen fertilization on methane uptake in temperate forest soils. **Nature**, London, GB, v. 341, p. 314-316, 1989.

TAMMINGA, S. Nutritional management of dairy cows as a contribution to pollution control. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v. 75, n. 1, p. 345-357, 1992.

TULLIO, R. R. **Estratégias de manejo para a produção intensiva de bovinos visando à qualidade da carne**. 2004. 107 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal.

UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change. **Key GHG Data**. Bonn, 2005.