CAROLINA FERNANDA MOYSÉS DO NASCIMENTO

Emissão de metano por bovinos Nelore ingerindo *Brachiaria brizantha* em diferentes estádios de maturação

Pirassununga

2007

CAROLINA FERNANDA MOYSÉS DO NASCIMENTO

Emissão de metano por bovinos Nelore ingerindo *Brachiaria brizantha* em diferentes estádios de maturação

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Produção Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Medicina Veterinária

Departamento:

Nutrição e Produção Animal

Área de concentração:

Nutrição e Produção Animal

Orientador:

Prof. Dr. Paulo Henrique Mazza Rodrigues

Pirassununga

2007

Autorizo a reprodução parcial ou total desta obra, para fins acadêmicos, desde que citada a fonte.

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO

(Biblioteca Virginie Buff D'Ápice da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo)

T.1877
FMVZ

Nascimento, Carolina Fernanda Moysés do
Emissão de metano por bovinos Nelore ingerindo *Brachiaria brizantha* em diferentes estádios de maturação / Carolina Fernanda Moysés do Nascimento. – Pirassununga: C. F. M. Nascimento, 2007.
65 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. Departamento de Nutrição e Produção Animal, 2007.

Programa de Pós-Graduação: Nutrição e Produção Animal.
Área de concentração: Nutrição e Produção Animal.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Henrique Mazza Rodrigues.

1. Ácidos graxos voláteis. 2. Canulados. 3. Gaiolas metabólicas. 4. Hexafluoreto de enxofre. 5. Ruminantes. I. Título.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia

Comissão de Bioética

PARECER

Interessado: Carolina Fernanda Moyses do Nascimento

Assunto: Protocolo de experimentação adotado em experimento animal.

A Comissão de Bioética da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo, após analisar o projeto protocolado sob o número 896/2006, intitulado: "Emissão de metano por bovinos nelore ingerindo *Brachiaria brizantha* em diferentes estágios de maturação", utilizando 06 (seis) bovinos, sob responsabilidade do Prof. Dr. Paulo Henrique Mazza Rodrigues, constatou que o mesmo foi realizado de acordo com os princípios de bioética, adotados por esta Comissão.

São Paulo, 17 de maio de 2006

Profa. Dra. Denise Tabacchi Fantoni
Vice-Presidente da Comissão de Bioética
FMVZ/USP

FOLHA DE AVALIAÇÃO

Nome: Nascimento, Carolina Fernanda Moysés do
Título: Emissão de metano por bovinos Nelore ingerindo feno de *Brachiaria brizantha* em diferentes estádios de maturação

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Produção Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Medicina Veterinária

Aprovado em: ____/____/____

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição: _____
Assinatura: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____
Assinatura: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____
Assinatura: _____ Julgamento: _____

À Deus, todos os momentos de alegria e dificuldade,

À minha querida e amada mãe, Sonia, e ao meu querido e amado pai, Ananias, que sempre me incentivaram nos momentos difíceis e por acreditarem em mim em todos esses anos de estudo,

Ao meu irmão Rafael que eu amo muito, por desligar o som nas horas do meu estudo,

Dedico este trabalho, com todo o meu amor, respeito e gratidão!

Ao Doutor João José Assumpção de Abreu Demarchi, orientador sempre presente, pela confiança em mim depositada,

Ao Professor Doutor Paulo Henrique Mazza Rodrigues, pela paciência e orientação dedicada a mim,

Registro aqui meus mais sinceros agradecimentos!

AGRADECIMENTOS

À pesquisadora científica Magda Aparecida Lima, pelo apoio para a realização deste projeto, à pesquisadora científica Rosa T. S. Frigueto, por realizar as análises de metano, ao pesquisador científico Odo Primavesi, pela confecção da aparelhagem utilizada no experimento, ao Dr. Marcelo de Queiroz Manella, por canular os animais e estar sempre à disposição para a realização deste experimento e ao Flávio Rocha Alves, por ajudar com o desenvolvimento da redação,

A todos os docentes do Departamento de Nutrição e Produção Animal (VNP),

A todos os funcionários do VNP e em especial às secretárias Cris, Júnior e Alessandra que tanto nos ajudaram pelo empenho, eficiência e pela delicadeza com que nos distinguiram,

À equipe do laboratório de Bromatologia do VNP: Ari, Gilson, Simi, Bel, Ogna pelos ensinamentos, pela paciência e dedicação dispensados a mim e inestimável ajuda nas análises laboratoriais,

Aos incríveis profissionais do Instituto de Zootecnia de Nova Odessa, Seu Zé Mineiro, Edgard, Nivaldo, Olinda, Antônia, Dr. Guilherme Fernando Alleoni, Dr. Romeu Fernandes Nardon, pelo respeito e amizade com que sempre me trataram,

Aos dedicados funcionários do Pólo Regional Exremo Oeste de Andradina, Cássia, Antônio Jurado de Almeida, Celso Manoel dos Santos, Delso Rodrigues Alves, Hélio Palomares, Joaquim Fernandes, Jomar Pinheiro Chagas (pela disposição e amizade), José Francisco Ramos, Lourival Vicente Ferreira, Natanael Alves Ferreira, Nelson Araújo Lima, Raimundo Ferreira da Silva, Valdomiro da Silva Gouveia, Aldemir da Silva Gouveia, Adércio Palomares, Antônio Gimenes (pela dedicação com os animais e amizade), Geremias dos Santos Oliveira, José Carlos M. Rasteiro, José Maria Michailuc (pela ajuda e companhia), Maria Ribeiro dos Santos (pessoa muito especial pra mim), Sebastião Sérgio Lopes Camargo (pela amizade e paciência comigo e com meu computador), Valéria Cristina Lima Claro, Jocelito Vieira, Adilson Marini, Dra. Teresinha Monteiro dos Santos, Dr. Silvio Tavares, pesquisador científico Gustavo Pavan Matheus, Dr. Ricardo Lopez Dias da Costa, pesquisador científico Rerison Catarino da Hora (pela confiança e amizade), Dra. Lídia Maruiama, pesquisadora científica Flávia Andrade e ao Dr. Alexandre Berndt,

A todos meus colegas de pós-graduação da FMVZ, pela amizade e convivência agradável e feliz,

À Ana Paula, Paulinha, Francine, Estelinha, Walesca, Rodrigo (tenente), Camila, Renata, Rodrigo da Costa Gomes, Amaury, Willian, Rafael, Emu, Riquelme, Gilson, Vinícius, Ana Maria, Lílian, Ana Louise e Letícia pela ajuda, amizades cultivadas durante esse período que espero que rendam frutos para toda a vida,

A todos os que contribuíram direta ou indiretamente para realização deste trabalho.

Agradeço sinceramente!

RESUMO

NASCIMENTO, C. F. M. **Emissão de metano por bovinos Nelore ingerindo *Brachiaria brizantha* em diferentes estádios de maturação.** [Methane emitions by Nelore beef cattle consuming *Brachiaria brizantha* with different stages maturation]. 2007. 65 f. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2007.

Objetivou-se avaliar a taxa de emissão de metano (CH_4) pela técnica do gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF_6) e fermentação ruminal dos animais alimentados com feno de *Brachiaria brizantha* em diferentes estágios de crescimento. Os três tratamentos foram: I- Feno de *Brachiaria brizantha* com 15 dias de crescimento, II- Feno de *Brachiaria brizantha* com 45 dias de crescimento e III- Feno de *Brachiaria brizantha* com 90 dias de crescimento. Seis bovinos da raça nelore, machos, castrados, canulados no rúmen e com peso médio inicial de 402 ± 51,62 kg foram utilizados em delineamento em quadrado latino 3x3 duplicado. O experimento teve duração total de 60 dias. A adaptação às dietas durou 7 dias. No oitavo dia foram feitas coletas de fezes (5 dias) e mensuração do consumo voluntário para determinação da digestibilidade *in vivo* dos alimentos. No 13° dia iniciaram-se as coletas de metano (7 dias) através da técnica do gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF_6). No 20° dia foram tomadas amostras do líquido ruminal às 0, 2, 4, 6, 8 e 10 horas após a primeira alimentação para determinação do potencial hidrogeniônico (pH), N-amoniacal e ácidos graxos voláteis do líquido ruminal. A idade de corte não afetou substancialmente a concentração total ou a proporção molar dos AGV, bem como o pH, embora a concentração de $N\text{-}NH_3$ ruminal tivesse diminuído com o avanço da idade de corte. Para os dados de digestão, apenas a digestibilidade da PB aumentou e os dados dos CNF diminuíram com o avanço da idade. A produção de metano por animal/dia não foi afetada pela idade de corte do capim. Os animais alimentados com o feno produzido com 45 dias de crescimento do capim apresentaram

diminuição de consumo de MS, o que resultou em maior produção de metano por unidade de MS ingerida.

Palavras–chave: Ácidos graxos voláteis. Canulados. Gaiolas metabólicas. Hexafluoreto de enxofre. Ruminantes.

ABSTRACT

NASCIMENTO, C. F. M. **Methane emitions by Nelore beef cattle consuming *Brachiaria brizantha* with different stages maturation**. [Emissão de metano por bovinos Nelore ingerindo *Brachiaria brizantha* em diferentes estádios de maturação]. 2007. 65 f. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2007.

The objective was to evaluate methane (CH_4) emission rate by sulfur hexafluoride (SF_6) tracer technique in bovines of Nelore breed fed with *Brachiaria brizantha* hay in different maturation stages. The three treatments were: I- Hay of *Brachiaria brizantha* with 15 days of maturation, II- Hay of *Brachiaria brizantha* with 45 days of maturation and III- Hay of *Brachiaria brizantha* with 90 days of maturation. Six bovines of Nelore breed, males, castrated, rumen-cannulated, with 402 ± 51.62 kg of initial average weight were used in a duplicated 3X3 latin square design. The trial lasted 60 days. The adaptation period to the diets lasted 7 days. In the eighth day excrement collections (5 days) and feed sampling were done. In 13th day the methane collections were initiated using the sulfur hexafluoride (SF_6) tracer technique. The 20th day was used for ruminal fluid sampling at 0, 2, 4, 6, 8, and 10 hours after 1st meal for determination of pH, amoniacal-N, and volatile fatty acids in ruminal fluid. The cutting ages did not affect the total concentration substantially or the molar ratio of the VFA, as well as pH, even so the ruminal concentration of NH_3-N decreased as the cutting ages increased. For the digestion data, only the digestibilidade of the CP increased and the data of the NFC decreased as the cutting ages increased. The methane production for animal/day was not affected by the different cutting ages. The animals fed with the hay produced with 45 days of age had presented reduction of DM intake, what it resulted in bigger methane production for unit of DM intake.

Key words: Cannulated. Metabolic cages. Ruminants. Sulfur hexafluoride. Volatile fatty acids.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO III

Tabela 1 - Composição bromatológica do feno de *Brachiaria brizantha*, com base na matéria seca 43

Tabela 2 - Médias, coeficientes de variação (CV) e probabilidades do consumo dos nutrientes 49

Tabela 3 - Médias, coeficientes de variação (CV) e probabilidades da digestibilidade aparente total da MS do feno e suas frações obtidas com os tratamentos 51

Tabela 4 - Concentração total de ácidos graxos voláteis (AGVt) no rúmen, porcentagens molares dos ácidos acético, propiônico e butírico, relação acético:propiônico (Relação Ace:Prop), pH ruminal e concentração de N-amoniacal (mg/dL), com os respectivos coeficientes de variação (CV) e probabilidades estatísticas 52

Tabela 5 - Médias, coeficientes de variação (CV) e probabilidades estatísticas pela emissão de metano 54

LISTA DE FIGURA

CAPÍTULO III

Figura 1 - Concentração do N-NH_3 (mg/dL) no líquido ruminal em função dos tempos nos diferentes tratamentos..... 53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGV	- ácidos graxos voláteis
atm	- atmosfera
GEE	- gás de efeito estufa
CH_4	- metano
CG	- cromatografia gasosa
CMS	- consumo de matéria seca
CNF	- carboidratos não fibrosos
CV	- coeficiente de variação
ED	- energia digestível
FDA	- fibra em detergente ácido
FDN	- fibra em detergente neutro
H_2	- hidrogênio
IPCC	- *Intergovernmental Panel on Climate Change*
kg	- quilograma
Mcal	- megacaloria
mg/dL	- miligrama por decilitro
µg/L	- micrograma por litro
µg/min	- micrograma por minuto
mL	- mililitro
mmHg	- milímetro de mercúrio
MS	- matéria seca
N_2	- nitrogênio
NDT	- nutrientes digestíveis totais
$N\text{-}NH_3$	- nitrogênio amoniacal
ONU	- Organização das Nações Unidas
PB	- proteína bruta
pH	- potencial hidrogeniônico
SF_6	- hexafluoreto de enxofre
Tg	- teragrama
UNFCC	- United Nations Framework Convention on Climate Change

SUMÁRIO

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO 15

CAPÍTULO II

2 REVISÃO DE LITERATURA 17

2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS 17

2.1.1 Aspectos gerais das mudanças climáticas 17

2.1.2 Histórico do Protocolo de Quioto 18

2.2 CARBOIDRATOS NA ALIMENTAÇÃO DOS RUMINANTES 19

2.3 PRODUÇÃO DE METANO 21

2.3.1 Aspectos gerais da produção de metano 21

2.3.2 Produção de metano entérico 23

2.3.3 Fatores que afetam a produção de metano em ruminantes 25

2.3.4 Metodologia do gás traçador hexafluoreto de enxofre (sf_6) 29

2.4 PRODUÇÃO DE ÁCIDOS GRAXOS VOLÁTEIS, N-AMONIACAL E PH. 29

REFERÊNCIAS 31

CAPÍTULO III – EMISSÃO DE METANO POR BOVINOS NELORE INGERINDO *Brachiaria brizantha* EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE MATURAÇÃO

3 INTRODUÇÃO 41

3.1 MATERIAIS E MÉTODOS 42

3.1.1 Consumo voluntário de feno 43

3.1.2 Digestibilidade total *in vivo* 44

3.1.3 Colheita de líquido ruminal e determinação do pH 44

3.1.4 Análises bromatológicas 45

3.1.5 Determinação dos ácidos graxos voláteis e N-NH_3 45

3.1.6 Determinação da taxa de emissão de SF_6 46

3.1.7 Gás metano (CH_4) 46

3.1.8 Análise estatística 47

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 48

5 CONCLUSÕES 58

6 RESUMO 59

7 ABSTRACT 60

REFERÊNCIAS 61

CAPÍTULO IV – CONSIDERAÇÕES FINAIS 65

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

Mudanças climáticas no mundo resultantes do aumento das concentrações de gases na atmosfera tem levado à alteração no balanço de entrada e saída de radiação solar do planeta, provocando aquecimento da superfície terrestre. Os principais gases responsáveis pelo efeito estufa são: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), clorofluorcarbonos (CFCs) e ozônio (O_3) (COTTON; PIELKE, 1995).

A questão relacionada às Mudanças Climáticas Globais tem sido muito debatida pelos especialistas do IPCC (*Intergovernamental Panel on Climate Change*). A quantificação das emissões de gases de efeito estufa por ecossistemas agrícolas e as estimativas preliminares dessas emissões para o Brasil mostram que a pecuária constitui uma das principais fontes de metano entre as atividades agropecuárias (IPCC, 1995).

As atividades agropecuárias contribuem para o total de metano emitido, principalmente com a produção de arroz inundada, a fermentação entérica dos animais e a degradação de dejetos e resíduos, com respectivamente 11%, 16% e 17%, sendo que os animais contribuem com 5% deste último item (USEPA, 2000).

O metano proveniente da fermentação ruminal constitui uma perda no potencial produtivo energético e tem sido estudado por décadas (HOWDEN; REYENGA, 1999).

Nos ruminantes, a quantificação da produção de gases ruminais tem sido utilizada como indicativo da atividade microbiana do ambiente ruminal, sendo que o metano eructado pelos animais representa uma perda de energia de aproximadamente 2 a 14% da energia bruta do alimento e tem implicações no aquecimento global (JOHNSON; JOHNSON, 1995; DEMARCHI et al., 2003).

O conhecimento dos fatores que determinam a eficiência do processo fermentativo ruminal e a emissão de produtos poluidores é fundamental ao processo de redução do impacto ambiental causado pelos sistemas de produção animal, além da busca por aumento da produtividade e eficiência econômica dos sistemas de produção animal. Diante desse fato, objetivou-se com o desenvolvimento desse trabalho quantificar a produção de metano ruminal com a metodologia direta do gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF_6) e avaliar alguns

aspectos relacionados com a nutrição que podem estar envolvidos na sua produção e ou mitigação.

CAPÍTULO II

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este item abordará aspectos gerais relacionados às mudanças climáticas, produção de metano entérico e metodologia utilizada para mensurar a emissão de metano ruminal.

2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Devido ao padrão atual de emissões de GEE para a atmosfera, existe a probabilidade de ocorrer mudanças climáticas globais de grande magnitude, nos próximos cem anos. Entre elas, as mais significativas são o aumento da temperatura do planeta, modificações nos padrões de chuvas, secas, inundações, penetração de frentes frias, geadas, tempestades severas, vendavais, granizo e etc. Os modelos climáticos computacionais sugerem que o aquecimento pode alcançar de 4 a 6°C em algumas partes do país (principalmente na Amazônia) ao final do século. O previsto aumento do nível médio do mar poderá trazer conseqüências para os ecossistemas e populações humanas nas áreas costeiras e nas áreas ribeirinhas que sofrem a influência das marés (CARTER; HULME, 2000).

2.1.1 Aspectos gerais das mudanças climáticas

As projeções do estudo do IPCC (1995) para a América do Sul mostram, de modo geral, um aumento de 1 a 6°C na temperatura para o norte da América do Sul e cerca de 4°C para o sul da América do Sul, em 2080.

O metano, após o dióxido de carbono, é um importante gás de efeito estufa, contribuindo com aproximadamente 18% de todo o potencial de aquecimento que ocorre atualmente (CLARK; KLEIN; NEWTON, 2001).

A concentração atmosférica de metano aumentou cerca de 1060 ppm (equivalente a 151%) desde 1750 e continua a aumentar. Em 1991, as emissões globais de metano por ruminantes chegaram a 80 Tg/ano (1 Tg = 10^6 toneladas), equivalente a 30%. Entretanto, os arrozais contribuíram com 29% destas emissões. As emissões de metano na área de geração de energia foram correspondentes a 21% e os aterros sanitários, 11% (HOWDEN; REYENGA, 1999).

O metano pode ser destruído na atmosfera pela oxidação com radicais hidroxila livres com estimativa de perda de 420 ± 80 Tg/ano, produzindo monóxido de carbono e hidrogênio. Também é uma fonte de vapor de água para a estratosfera. Elevados níveis de metano podem proteger a camada de ozônio da destruição pelos halocarbonos, correspondendo a uma perda de metano de 10 ± 5 Tg/ano (CRUTZEN, 1991).

Na tentativa de minimizar as emissões de gases de efeito estufa, China e Índia estão utilizando milhões de digestores anaeróbios para a produção de biogás e fertilizantes em pequenas fazendas. Mesmo com alguns sete ou oito animais é possível produzir gás suficiente para uma família cozinhar, ter iluminação necessária e suprimento de fertilizantes para o campo. Infelizmente, esses digestores, apesar do baixo custo para construção e instalação, necessitam de manutenção intensa (HOBSON, 1993).

2.1.2 Histórico do Protocolo de Quioto

O protocolo de Quioto foi um acordo internacional patrocinado pela Organização da Nações Unidas (ONU), firmado em 1997 por 59 países, no Japão. O protocolo inscreve-se no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, tendo por objetivo reduzir as emissões de GEE em nações industrializadas por meio de metas que correspondem, em média, à redução de 5% sobre o montante emitido pelo país em 1990, durante o período de 2008 a 2012 em países desenvolvidos, e estabelecer modelo de desenvolvimento limpo (MDL) para os países emergentes (CARTER; HULME, 2000).

Em 1988, o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) foi criado para melhorar o entendimento científico sobre o tema através da cooperação dos países membros da ONU. Em 1990, iniciam-se as negociações para a adoção da Convenção sobre Mudanças Climáticas. O Protocolo de Quioto divide os países em dois grupos: os que precisam reduzir suas emissões de poluentes e os que não tem essa obrigação. O Brasil está no segundo grupo

que irá receber para não poluir ainda mais e para tirar da atmosfera, com suas florestas e matas, o dióxido de carbono ainda produzido por seus financiadores. Também foi o 77º país a ratificar o Protocolo em junho de 2002 (LIMA, 2002).

As diversas conferências têm sido realizadas para regular e normalizar o acordo estabelecido para o cumprimento das metas e o protocolo estabeleceu três mecanismos de flexibilidade, sendo eles, implementação conjunta, mercado de carbono e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), sendo que este último interessa aos países em desenvolvimento. Estes mecanismos permitem que um país do Anexo I contabilize para si unidades de redução de emissão de GEE, seja por intermédio de aquisição direta, seja por intermédio de investimentos em projetos em outros países (PEREIRA; MAY, 2003).

Mas para que as negociações produzam resultados no cronograma, um mandato para estas negociações deve ser acordado na próxima conferência, prevista para 04 a 14 de dezembro de 2007, em Bali, Indonésia (MCT, 2000).

2.2 CARBOIDRATOS NA ALIMENTAÇÃO DOS RUMINANTES

O maior rebanho comercial de bovinos do mundo, com aproximadamente 180 milhões de cabeças, está localizado no Brasil, sendo que, 88% da carne bovina produzida é proveniente de rebanhos mantidos exclusivamente em pastos (ZIMMER; EUCLIDES FILHO, 1997; ESTANISLAU; CANÇADO JR., 2000).

A maior concentração do rebanho bovino nacional encontra-se na região dos cerrados, correspondendo a 55% da produção de carne do país. Em 1994, o potencial para exploração das pastagens nessa região foi estimada em 45 a 50 milhões de hectares, sendo 55% desta área com *Brachiaria decumbens* e 20% com *B. brizantha* (BARCELLOS, 1996; MACEDO; KICHEL; ZIMMER, 2000).

Segundo Caton e Dhuyvetter (1997) e Van Soest (1994), essas forrageiras, além de baixa qualidade, possuem altos teores de fibra, baixos teores de proteína e baixa concentração de energia metabolizável, resultando em baixa digestibilidade desta fração. Isto dificulta a extração de substratos pelos microrganismos ruminais, limitando a disponibilidade de nutrientes para o animal.

Quando o teor de proteína bruta encontra-se acima de 12% e o coeficiente de digestibilidade da matéria seca é superior a 55%, a qualidade da forrageira passa a ser relevante.

Entretanto, esta qualidade produtiva fica comprometida com o avanço da maturidade fisiológica da planta, reduzindo os teores de proteína bruta e digestibilidade. Neste caso, ocorre o espessamento da parede celular e o aumento da área ocupada pelo tecido vascular lignificado afeta a digestibilidade (BOGDAN, 1977).

Quando a forrageira ingerida chega ao rúmen, inicialmente ocorre a colonização dos tecidos vegetais pelas bactérias ruminais. Aderidas ao tecido vegetal, essas bactérias realizam a degradação enzimática extracelular, primeiramente dos carboidratos solúveis e tecidos menos resistentes. Posteriormente, à medida que se fragmentam e subdividem as partículas do alimento, são degradados os tecidos mais resistentes. Os tecidos do mesófilo e do floema são digeridos primeiramente com rapidez e facilidade, restando os tecidos do esclerênquima e xilema que apresentam maior resistência. Logo, a digestão dos tecidos vegetais pelas bactérias aderentes parece ser progressiva e seqüencial (CHURCH, 1988).

O resultado desse processo é a produção de amônia, ácidos graxos voláteis (AGV) e componentes celulares microbianos, entre outros. Os AGV produzidos (principalmente os ácidos acético, propiônico e butírico) são absorvidos e utilizados pelo metabolismo animal, com a finalidade de suprir suas exigências energéticas. No rúmen, parte da amônia é convertida em compostos nitrogenados dos microrganismos e outra parte é absorvida através da parede ruminal, sendo levada pela circulação sangüínea até o fígado, onde é metabolizada a uréia. Em geral, a maior parte da proteína microbiana é derivada da incorporação de amônia, mas parte significativa também provém da incorporação direta de aminoácidos e peptídeos da dieta (PILGRIM et al., 1970).

A degradação da parede celular, que representa a maior parte da matéria seca das forrageiras, é mais lenta e variável em relação ao conteúdo celular, o qual é prontamente degradado no rúmen. Os componentes da parede celular são representados pelas moléculas de celulose, hemicelulose, pectina e lignina (CUNNINGHAM, 1993). A parede celular é degradada apenas parcialmente no rúmen, tornando-se limitante para a utilização da forragem pelo animal. Bromatologicamente pode ser estimada pela fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), fibra insolúvel em detergente ácido (FDA) e lignina insolúvel em detergente ácido (LDA), que podem variar em proporções entre partes e diferentes tecidos da planta (VAN SOEST, 1994).

A digestibilidade da parede celular pode ser influenciada por fatores externos, como a presença de ceras e cutina que limitam o acesso das bactérias ao interior dos tecidos da planta, impedindo a sua degradação, ou a fatores internos, como a lignina, que tem sido constantemente associado à fração não digestível da parede celular em forrageiras. No

entanto, a digestibilidade da parede celular também pode estar associada à concentração e disponibilidade de substratos no interior do rúmen, os quais podem ser modificados pela suplementação alimentar (VAN SOEST, 1994).

No caso das dietas ricas em carboidratos não fibrosos (CNF), o pH ruminal sofre uma queda, aumentando o custo energético de manutenção das bactérias. As espécies que degradam carboidratos estruturais normalmente cessam o crescimento em pH 6,0 ou menor. Por sua vez, aquelas que degradam os CNF são mais resistentes à queda do pH, porém, também apresentam crescimento reduzido (MOULD; ORSKOV, 1983; MOURIÑO; AKKARAWONGSA; WEIMER, 2001).

Em bovinos consumindo gramíneas tropicais, o consumo de forragem diminuiu quando suplementados com milho (PORDOMINGO et al., 1991). A suplementação com baixos níveis de milho (7,8% do consumo de MS) em ovinos, aumentou o consumo de forragem. Entretanto, altos níveis de suplementação (maior que 23% do consumo de MS) resultaram em redução do consumo de forragem, quando comparado aos animais controle (HENNING; LINDEN; MATTHORPE, 1980).

2.3 PRODUÇÃO DE METANO

2.3.1 Aspectos gerais da produção de metano

O metano (CH_4) é um importante gás de efeito estufa, contribuindo aproximadamente com 15% do total das emissões globais. Possui uma forte habilidade de absorver radiação infravermelha, cerca de 20 vezes mais do que o CO_2 e apresentando um curto tempo de vida na atmosfera de 10 anos. Além disso, possui relação direta com a eficiência da fermentação ruminal em virtude da perda de carbono e conseqüentemente perda de energia, afetando, assim a produção animal (COTTON; PIELKE, 1995). Segundo Crutzen (1991), este gás aumenta anualmente a uma taxa de 0,9% na atmosfera, mas a grande quantidade de gases acaba sendo representada pelo CO_2, com 60% do total.

Os processos entéricos dos animais são responsáveis por gerarem 80 milhões de toneladas de metano por ano. Estima-se que 22% dessas emissões totais são originadas pelos ruminantes, o que representa 3,3% do total dos gases e efeito estufa (USEPA, 2000).

A emissão de metano proveniente dos processos digestivos dos animais, no Brasil, foi estimada em aproximadamente 8.000 Gg no ano de 1990, correspondendo a 96,3% do total de metano emitido pela pecuária brasileira, sendo o gado de corte responsável por 81,1% da emissão de metano por essa fonte (MCT, 2000). Já em 1995 as emissões de metano geradas pelos animais ruminantes e monogástricos foram estimadas em 9,2 Tg. Desse total, 96% foi referente à fermentação no trato digestivo dos ruminantes e o gado de corte foi responsável por 81,6% dessa emissão (MCT, 2000).

No caso dos dejetos dos animais, o manejo adotado é o principal fator condicionante da geração de metano. Os dejetos manipulados sob condições anaeróbias constituem uma importante fonte de emissão de metano e os animais mantidos em confinamento são considerados os principais fornecedores de metano proveniente dos dejetos, pois, além de serem manipulados como líquidos e estocados em lagoas, charcos ou tanques, apresentam mais substratos para fermentação (USEPA, 1990; GONZÁLEZ-AVALOS; RUIZ-SUÁREZ, 2001). Nestas condições, parte do material orgânico dos dejetos é decomposto por *Archae* metanogênicas que produzem quantidades consideráveis de metano (MCT, 2000).

O CH_4 é produzido por um grupo específico de bactérias, chamado de metanogênicas, do reino Archaebacteria (MOSS, 1993). As "arqueobactérias" correspondem a um grupo de organismos diferentes de bactérias e de células eucarióticas. De fato, estudos genéticos e fisiológicos posteriormente revelaram que tais organismos apresentam características de bactérias, de eucariotos, além de características exclusivas, não encontradas em qualquer outro domínio. Por esta razão, deixaram de ser denominadas "arqueobactérias", recebendo a denominação *archae* (FINLAY; ESTEBAN; CLARKE, 1994).

Segundo Finlay, Esteban e Clarke (1994), geralmente no rúmen as *Archae* metanogênicas são encontradas aderidas aos protozoários ciliados, mostrando uma relação de simbiose, onde as metanogênicas, por utilizarem o hidrogênio produzido pelos ciliados, favorecem a manutenção de um ambiente ruminal adequado ao desenvolvimento destes microrganismos. Além se serem encontradas na superfície dos protozoários, segundo Ushida e Jouany (1996), as archae metanogênicas também podem ser encontradas no meio intracelular destes.

2.3.2 Produção de metano entérico

O CH_4 é um subproduto da digestão de carboidratos pelos microrganismos presentes no trato digestório de herbívoros. Como o CH_4 não pode ser metabolizado pelo animal nem pelo microrganismo, a maior parte é removida do rúmen por expiração ou eructação, refletindo em perda da energia bruta da dieta (EB) (MOSS, 1993).

Durante o processo digestivo no pré-estômago (rúmen) dos ruminantes, a fermentação do material vegetal ingerido ocorre através de um processo anaeróbio que converte os carboidratos em ácidos graxos voláteis de cadeia curta (ácidos acético, propiônico e butírico, principalmente). Devido a esse processo metabólico, libera-se calor que é dissipado como calor metabólico pela superfície corporal. As bactérias anaeróbias específicas convertem os produtos fermentados por outros microrganismos, notavelmente o dióxido de carbono, hidrogênio, ésteres e sais de ácido metanóico (HCOOH) em metano, mas outros substratos podem ser utilizados também (KOYAMA, 1963; DUKES; SWENSON, 1977; CICERONE; OREMLAND, 1988; NEUE; ROGER, 1992).

O rúmen contém mais de 200 espécies de bactérias, porém, somente 5 a 10% correspondem às bactérias produtoras de metano. As archae metanogênicas presentes na microbiota ruminal pertencem aos gêneros *Methanobrevibacter, Methanobacterium, Methanomicrobium* e *Methanosarcina* (BAKER, 1999). A quantidade destas no rúmen varia de 10^7 a 10^9 cel/ml de líquido ruminal, valores que dependem do tipo de dieta ingerida pelo animal, especialmente o conteúdo de fibra na ração (KAMRA, 2005).

No rúmen, o hidrogênio é essencialmente utilizado pelas bactérias archae metanogênicas para redução do dióxido de carbono e produção de metano (DEHORITY, 1987; KLIEVE; HEGARTY, 1999).

Os microrganismos do rúmen metabolizam os carboidratos convertendo-os principalmente em glicose ou glicose-1-P, a qual é posteriormente oxidada até piruvato mediante a via glicolítica e posteriormente até acetato mediante a ação da enzima piruvato-liase, que produzem acetil-CoA que é convertido em acetato+ATP. A energia metabólica para as bactérias é liberada mediante a fosforilação do substrato em duas reações. Na primeira reação os elétrons e prótons são transferidos ao NAD (desidrogenação de gliceraldeído-3-P) e na segunda, há produção de acetil-CoA que é convertido à ferredoxina ou compostos relacionados. Posteriormente, prótons ou hidrogênio e CO_2 dão origem ao formato, o qual é

ativamente convertido a metano pelas bactérias *Methanobrevibacter, Methanobacterium, Methanomicrobium* e *Methanosarcina* (CHURCH, 1998; BAKER, 1999).

A emissão de gases em forma de metano varia entre 2 a 14% da energia bruta do alimento ingerido, dependendo do tipo da dieta (JOHNSON; JOHNSON, 1995; DEMARCHI et al., 2003).

Alimentos fibrosos usualmente têm baixos ou médios coeficientes de digestibilidade, acarretando em baixo desempenho animal (POPPI; FRANCE; MCLENNAN, 2000). Howden e Reyenga (1999) obtiveram uma relação linear entre a produção de metano e o consumo de matéria seca (27 e 34g de metano/kg de MS, para animais alimentados com dietas com alta concentração de grãos e forragens tropicais, respectivamente), sendo que o mesmo não ocorre quando a emissão de metano é expressa em relação ao ganho de peso vivo.

Segundo MCT (2000), a estimativa das emissões originadas dos processos digestivos foi realizada subdividindo a pecuária em categorias de espécies consideradas emissoras, subdividindo a população de bovinos em gado de corte (constituído de fêmeas adultas, machos adultos e jovens) e vacas ordenhadas com posterior quantificação censitária. As estimativas de emissão de metano anual por animal para fêmeas adultas, machos adultos e jovens foram de 58; 57; 42 kg, respectivamente. Enquanto que a estimativa de emissão para o gado de leite foi em média de 57 kg por animal, os ovinos e caprinos contribuem emitindo 5 kg e os suínos com 1 kg por animal.

Primavesi et al. (2002), utilizando a técnica do gás traçador SF_6, indicaram emissão de metano por vacas em lactação de 131 kg/cab/ano, superior ao valor estimado pelo MCT (2000) de 57 kg/cab/ano. Estas diferenças podem estar relacionadas ao tipo de animal utilizado ou devido à utilização dos dados originados de animais criados em ambiente temperado, com diferentes sistemas de arraçoamento, principalmente com altos teores de alimentos concentrados em sua dieta.

Diversos trabalhos desenvolvidos para o inventário dos gases de efeito estufa assumiram um fator de emissão de metano de 55 kg/ano em bovinos de países desenvolvidos e 35 kg/ano nos animais criados em países em desenvolvimento. Entretanto, destaca-se que este é um fator médio de emissão extrapolado para um grupo variado de animais (JOHNSON et al., 1994). Crutzen et al. (1986) sugeriram taxa média anual de emissão de CH_4 de 54 kg em bovinos em sistema de pastagens no Brasil.

No caso de herbívoros não ruminantes (cavalos, mulas, asnos), o metano também é produzido durante a decomposição digestiva dos compostos ingeridos, mas a ausência de rúmen nestas espécies previne a geração de altas quantidades desse gás, como ocorre nos

ruminantes. A contribuição de animais monogástricos e silvestres à emissão global de metano é considerada negligenciável, representando apenas cerca de 5% da emissão total de metano (JENSEN, 1996).

2.3.3 Fatores que afetam a produção de metano em ruminantes

Segundo McAllister, Okine e Mathison (1996), o grande desafio para nutricionistas é o desenvolvimento de estratégias para aperfeiçoar o funcionamento do rúmen, atenuando a produção de metano, sem causar impacto negativo na produtividade animal. Dentre as principais variáveis que influenciam a produção de metano em ruminantes, pode-se citar os fatores nutricionais (quantidade e tipo de carboidratos na dieta, nível de ingestão de alimento, presença de ionóforos ou lipídios), fatores metabólicos (taxa de passagem da digesta) e fatores ambientais (temperatura e manejo dos animais) (MOSS, 1994; MILLER, 1995; McALLISTER; OKINE; MATHISON, 1996).

Segundo Walker (1997), novilhos alimentados com grandes quantidades de alimentos, apresentaram maior ingestão de matéria seca, alcançando peso ao abate 90 dias mais cedo e produziram, em média, 11,9 kg a menos de metano em relação ao grupo controle (15,7 e 27,6 kg, respectivamente).

Kirchgebner, Windisch e Muller (1995) verificaram que, em bovinos de corte criados em regime de pastejo, a emissão total de metano durante a engorda foi aproximadamente duas vezes maior que em bovinos confinados, especialmente quando a qualidade e a produção da forragem foram baixos.

O estágio de maturidade, método de conservação e processamento físico dessa forragem também influenciam em maior ou menor produção de metano. Em geral, sua produção tende a aumentar quanto maior for o estágio de maturação da planta ingerida (SUNDSTOL, 1981).

Em trabalho realizado por Kurihara et al. (1999) com bovinos da raça *Brahmah*, foram fornecidas três dietas distintas: feno de baixa qualidade, feno de alta qualidade e dieta rica em grãos. Os autores notaram maior ingestão de matéria seca (MS) para as dietas de feno de alta qualidade e dieta rica em grãos (7,07 e 7,31 kg/dia, respectivamente), sendo que o menor consumo foi observado nos animais que receberam a dieta com feno de baixa qualidade (3,58 kg/dia). O maior consumo acarretou maiores produções diárias em gramas de metano. Porém,

ao avaliar a produção de metano em gramas por quilo de matéria orgânica digestível (g/kgMOD), observou-se os seguintes valores: 75,4, 64,6 e 32,1 g/KgMOD, para feno de baixa qualidade, alta qualidade e dieta à base de grãos, respectivamente. Os autores notaram que dietas à base de volumoso apresentaram perdas energéticas na forma de metano em torno de 10,9% da energia bruta consumida, enquanto que em dietas a base de grãos a perda foi de apenas 6,7%.

Observações semelhantes foram descritas em um trabalho com ovinos recebendo dietas com diferentes diferentes digestibilidades da MS, sendo 55, 65 e 75%. As dietas de melhor qualidade propiciaram maior consumo e maior produção diária de metano. Entretanto, a emissão de metano em relação ao consumo de energia digestível (%ED) e em relação ao ganho de peso, diminuiu com o aumento da digestibilidade, indicando uma maior retenção de energia (HEGARTY, 2001).

Segundo Shioya et al. (2001), com o aumento da ingestão em quilos de matéria seca (MS) houve um aumento linear na produção de metano diário por animal ($y = - 46,508 + 41,179x$, $r^2 = 0,93$) para animais consumindo forragens tropicais ensiladas, feno e palha de arroz.

Kurihara et al. (1999) observaram que a produção de CH_4 foi maior em forragens tropicais do que os valores publicados para forragens temperadas. Presume-se que essa maior taxa de conversão de metano em amimais alimentados com forragem tropical está relacionado com os altos níveis de fibra e lignina e os baixos níveis de carboidratos não fibrosos (VAN SOEST, 1994).

A adição de nutrientes em forragens de baixa qualidade incrementa o crescimento microbiano, pois aumentam a eficiência do processo fermentativo no rúmen com decréscimos na metanogênese por unidade de carboidratos degradados. Porém, isto deve incrementar a produção de metano por animal, pois uma quantidade maior de matéria orgânica deve ser fermentada. Considerando o ciclo de produção em bovinos de corte, este fato deve ser balanceado por um menor tempo de permanência para engorda e conseqüentemente, menor produção de metano por unidade de produto (MOSS, 1994).

Forragens com baixos a moderados valores de taninos condensados são apontadas em recentes trabalhos como capazes de reduzir a emissão de gás metano em ruminantes. Keyserlingk, Swift e Puchala (1996) sugeriram que forragens contendo de baixo a moderado teores de taninos condensados (2% a 17%) são capazes de diminuir a emissão de metano em ruminantes. Os autores conseguiram diminuição de 57% (6,9 vs 16,2 g/kg de MS ingerida) na

produção de metano no rúmen quando forneceram aos animais uma leguminosa com 17% de tanino condensado, em comparação a uma gramínea contendo apenas 0,5% deste composto.

A produção ruminal de metano está diretamente relacionada com a concentração de hidrogênio (H_2) dissolvida no líquido. Portanto, utilizando-se este H_2 dissolvido para processos produtivos pode-se evitar perdas de energia e o acesso a esses prótons por parte dos microrganismos metanogênicos. A disponibilidade de hidrogênio para estes microrganismos pode ser alterada reduzindo a liberação fosfoclástica de H_2, promovendo a oxidação do NAD(P)H em reações que não transfiram elétrons para as hidrogenases e promovendo reações não metanogênicas que utilizem H_2 (HEGARTY, 1999).

Dietas contendo níveis elevados de carboidratos solúveis levam a um menor pH ruminal do que dietas contendo forragens, aumentando a proporção molar de propionato, o que altera a produção de H_2 devido à baixa produção deste pelas bactérias amilolíticas e pela baixa tolerância das bactérias metanogênicas ao pH baixo, podendo inibir inclusive os protozoários ciliados (VAN KESSEL; RUSSEL, 1995). Dietas contendo alta proporção de concentrado (mais que 90%) podem reduzir as perdas por metano em torno de, aproximadamente, 3% da energia bruta ingerida (JOHNSON; JOHNSON, 1995).

No processo de digestão dos lipídios, ocorre a biohidrogenação dos ácidos graxos polinsaturados. Essa reação demanda grandes quantidades de elétrons do NADH, necessitando que os ácidos graxos sejam absorvidos pela célula bacteriana. O efeito supressivo do fornecimento dietético de gorduras insaturadas sobre a metanogênese é maior do que o explicado pela hidrogenação destes ácidos. As gorduras insaturadas exercem ainda um efeito tóxico sobre os microrganismos ruminais, incluindo os metanogênicos, sendo este o efeito mais importante na redução da metanogênese do que a simples competição pelos íons hidrogênio (HEGARTY, 1999).

No estudo *in vivo* a monensina diminuiu as produções de metano em 15,6%, 16,5% e 23,7% quando novilhos receberam respectivamente níveis de fibra baixo (12% de FDN), médio (27% de FDN) e alto (40% de FDN), não sendo observada interação entre a monensina e os níveis de fibra na dieta (THORNTON; OWENS, 1981). Entretanto, Zinn, Plascencia e Barajas (1994) não observaram alteração da produção ruminal de metano com a administração de monensina, quer a dieta possuísse 10% ou 20% de volumosos. McCaughey, Wittenberg e Corrigan (1997) não demonstraram efeito da monensina em diminuir a produção de metano em novilhos sob pastejo.

Vários aditivos alimentares têm se mostrado capazes de reduzir a emissão de metano *in vitro,* incluindo-se ácidos orgânicos como o fumárico (ASANUMA; IWAMOTO; HINO,

1999), enzimas (COLOMBATTO et al., 2003) e a levedura *Sacharomices cerevisiae* (CHAUCHEYRAS et al., 1995). Porém, poucos trabalhos *in vivo* foram conduzidos para demonstrar a eficiência desses produtos (MCGIN et al., 2004).

Quando esses aditivos foram administrados em altos níveis, também foi relatada uma depressão sobre a produção de dióxido de carbono (CHALUPA; CORBETT; BRETHOUR, 1980). Já Machado (1988), em estudo *in vitro*, e McGinn et al. (2004), em estudos *in vivo,* demonstraram diminuição da produção de metano com o uso da monensina, mas não sobre a produção de dióxido de carbono.

As leveduras são citadas na literatura como capazes de reduzir a emissão de gás metano *in vitro* pelo aumento da competição entre bactérias acetonogênicas e metanogênicas (CHAUCHEYRAS et al., 1995).

A remoção de protozoários do ambiente ruminal também reduz a metanogênese, seja em dietas ricas em amido ou fibra (KREUZER; KIRCHGESSNER; MULLER, 1986). Isto se deve ao fato de que os principais produtos da fermentação dos protozoários serem o acetato e o butirato. Portanto, a remoção desses microrganismos pode mudar o perfil de fermentação ruminal, favorecendo a produção de propionato e diminuindo a formação de metano (WHITELAW et al., 1984).

Segundo Lassey (2002), diferentes quantidades de metano podem ser produzidas por animais zebuínos, taurinos e seus cruzamentos e estas variações podem estar associadas com as distintas características dos animais, tais como volume do rúmen, capacidade de seleção de alimentos, tempo de retenção dos alimentos no rúmen e as associações de fatores que conduzem a maior ou menor capacidade de digestão da fibra dos alimentos.

Desta forma, pode-se verificar que, além dos fatores relacionados com as características dos alimentos e do manejo imposto ao animal, as características intrínsecas ao animal são importantes causas das variações na eficiência de utilização da energia ingerida e das conseqüentes quantidades de metano produzidas no rúmen. Portanto, forragens que possuam as propriedades de diminuir a taxa de digestão ou prolongar a permanência de partículas no rúmen, geralmente aumentam a quantidade de metano produzida por unidade de forragem digerida (MCALLISTER; OKINE; MATHISON, 1996).

A temperatura ambiental também afeta indiretamente a emissão de metano, por interferir na composição química das plantas, e diretamente por alterar o comportamento alimentar do animal e as características da digestão dos alimentos (MOSS, 2001; JOHNSON; JOHNSON, 2002; LASSEY, 2002).

2.3.4 Metodologia do gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF_6)

Do metano produzido no trato digestivo dos ruminantes, aproximadamente 98% é emitido pela eructação (MURRAY; BRYANT; LENG, 1976). A metodologia do gás traçador hexafluoreto de enxofre SF_6 foi desenvolvida por Westberg et al. (1998) e adaptada por Primavesi et al. (2004). Esta metodologia mede diretamente a emissão de metano por ruminantes em condições de produção, através da coleta do ar em torno do focinho e das narinas do animal a uma taxa constante de aspiração.

Essa técnica possui a vantagem permitir que o animal se desloque e pasteje normalmente. Também não é necessário realizar amostragem no rúmen do animal ou em sua faringe, porque o traçador SF_6 acompanha as mudanças na diluição associadas com o movimento da cabeça do animal ou do ar. Como os ruminantes eructam e respiram a maior parte do CH_4, a coleta de ar em torno do focinho e das narinas deve resultar em estimativa acurada da produção desse gás pelo animal. Grande parte do CH_4 produzido no intestino posterior é absorvida pela corrente sangüínea e expirada, sendo, portanto, também medida pela técnica do SF_6 (WESTBERG et al., 1998).

2.4 PRODUÇÃO DE ÁCIDOS GRAXOS VOLÁTEIS, N-AMONIACAL E pH

A proporção molar dos ácidos graxos voláteis (AGV) geralmente é influenciada pela dieta e o estado da população metanogênica do rúmen. Esta é uma população bastante estável apesar das variáveis proporções da concentração de forragem (fibra) e concentrado entre as dietas. Entretanto, as proporções ruminais de AGV são amplamente dependentes do pH (HALL, 2000).

Os AGV, principalmente o ácido acético, o ácido propiônico e o ácido butírico, fornecem a maior parte da energia utilizada pelos os ruminantes, cerca de 50 a 70% da energia digestível total (SUTTON, 1980).

O teor de fibras na dieta influencia a relação acético:propiônico (C_2:C_3). À medida que celulose e hemicelulose aumentam em relação aos carboidratos solúveis e amido, a relação acetato:propionato também tende a aumentar (BACKES et al., 2000). Owens e Goestsch

(1988) relataram que, com dietas à base de forragens, os AGV suprem cerca de 50 a 85% da energia metabolizável utilizada pelos ruminantes.

O nitrogênio presente no rúmen é oriundo do nitrogênio não-protéico (NNP) da dieta ou da saliva na forma de uréia, bem como das proteínas potencialmente fermentáveis no rúmen. As proteínas constituem o principal composto nitrogenado presente nas forragens (VAN SOEST, 1994).

A concentração de amônia no rúmen é função entre o equilíbrio das taxas de produção e absorção (BRODERICK; WALLACE; ORSKOV, 1991). Sua absorção é feita por difusão passiva através da parede ruminal e está intimamente ligada à concentração de sua forma não-ionizada no fluido ruminal (potencialmente absorvível), sendo, portanto, função de sua concentração total e do pH do meio (NOLAN, 1993).

Segundo Minson (1990), para que não haja comprometimento das atividades microbiológicas básicas no rúmen, necessita-se de ao menos 7% de proteína bruta (1% de nitrogênio) na MS ruminal.

Segundo Meherz, Orskov e McDonald (1977), a concentração ótima de $N\text{-}NH_3$ no rúmen proporciona máxima produção de proteína por unidade de substrato fermentado ou máxima taxa de fermentação. Entretanto, a concentração do $N\text{-}NH_3$ ruminal necessária para o máximo crescimento microbiano é diferente da concentração necessária para máxima fermentação (SONG; KENELLY, 1990).

O NRC (1989) recomenda que, para que sejam observados níveis aceitáveis de digestibilidade ruminal da MS, seja mantida uma concentração de N-amoniacal ruminal igual ou superior a 5 mg/dL. Segundo Preston e Leng (1987), a concentração ideal de $N\text{-}NH_3$ no rúmen varia de 5 a 25 mg/100mL. De acordo Slyter, Satter e Dinius (1979), a máxima eficiência microbiana ocorre quando a concentração de $N\text{-}NH_3$ varia de 2 a 5mg/100mL de líquido ruminal. Leng (1990) sugeriu valores de 10 mg/100 mL de $N\text{-}NH_3$ no fluido ruminal para máxima fermentação de forragens de baixa qualidade. Para que não haja influência negativa sobre seu consumo são necessários cerca de 20mg/100 mL de $N\text{-}NH_3$ no fluido ruminal.

Hoover (1986), em trabalho de revisão literária, encontrou a concentração de $N\text{-}NH_3$ ruminal necessária para obter, em conjunto, o máximo crescimento microbiano e a máxima taxa de fermentação valores entre 7 a 76 mg/dL.

REFERÊNCIAS

ASANUMA, N.; IWAMOTO, M.; HINO, T. Effect of the addition of fumarate on methane production by ruminal microorganism in vitro. **Journal Dairy Science**, v. 82, n. 4, p. 780-787, 1999.

BACKES, A. A.; SANCHES, L. M. B.; GONÇALVEZ, M. B. F.; VELHO, J. P. Determinação das frações de proteínas e carboidratos de alguns alimentos conforme método do CNCPS – Cornell Net Carbohydrate and Protein System. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., 2000, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 2000. p. 913-215.

BAKER, S. K. Rumen methanogens, and inhibition of methanogenesis. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 50, n. 8, p. 1293-1298, 1999.

BARCELLOS, A. O. Sistemas extensivos e semi-intensivos de produção: pecuária bovina de corte nos cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 8., 1996, Brasília. **Anais...** Brasília: EMBRAPA - CPAC, 1996. p. 130-136.

BOGDAN, A. V. **Tropical pasture and folder plants (grasses and legumes)**. London: Logman, 1997, 475 p.

BRODERICK, G. A.; WALLACE, R. J.; ORSKOV, E. R. Control of rate and extent of protein degradation. In: TSUDA, T.; SASAKI, Y.; KAWASHIMA, R. **Physiological aspects of digestion and metabolism in ruminants**. New York: Academic Press, 1991. p. 542-592.

CATON, J. S.; DHUYVETTER, D. V. Influence of energy supplementation on grazing ruminants: requirements and responses. **Journal of Animal Science**, v. 75, n. 2, p. 533-542, 1997.

CARTER, T.; HULME, M. **Interim characterizations of regional climate and related changes up do 2100 associates with the provisional SRES marker emissions scenarios**. IPCC Secretariat, WMO, Geneva: Switzerland, 2000.

CHALUPA, W.; CORBETT, W.; BRETHOUR, J. R. Effects of monensin and amicloral on rumen fermentation. **Journal of Animal Science**, v. 51, n. 1, p. 170-179, 1980.

CHAUCHEYRAS, F.; FONTY, G.; BERTIN, G.; GOUET, P. In vitro H_2 utilization by a ruminal acetogenic bacterium cultivated alone or in association with an archaea methanogen

is stimulated by a probiotic strain of *Saccharomyces cereviae*. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 61, n. 9, p. 3466-3467, 1995.

CHURCH, D. C. **The ruminant animal: digestive physiology and nutrition**. Englewood Cliffs: Waveland, 1988. 563 p.

CICERONE, R. J.; OREMLAND, R. M. Biogeochemical aspects of atmospheric methane. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 2, n. 4, p. 299-327, 1988.

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, NZ: 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: 30 maio 2005.

COLOMBATTO, D.; HERVÁS, D.; YANG, W. Z.; BEAUCHEMIN, K. A. Effects of enzyme supplementation of a total mixed ration on microbial fermentation in continuous culture, maintained at high and low pH. **Journal of Animal Science**, v. 81, n. 10, p. 2617-2627, 2003.

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

CUNNINGHAM, J. G. **Tratado de fisiologia veterinária**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1993. 454 p.

CRUTZEN, P. J. Methane's sinks and sources. **Nature**, v. 350, p. 380-381, 1991.

CRUTZEN, P. J.; ASELMANN, I.; SEILER, W. Methane production by domestic animals, wild ruminants and other herbivorous fauna and humans. **Tellus B – Chemical and physical meteorology**, v. 38, n. 8, p. 271-274, 1986.

DEHORITY, B. A. **Rumen microbiology**. Ohio: The Ohio State University, 1987. 125 p.

DEMARCHI, J. J. A. A.; MANELLA, M. Q.; LOURENÇO, A. J.; ALLEONI, G. F.; FRIGHETO, R. S.; PRIMAVESI, O.; LIMA, M. A. Daily methane emission at different seasons of the year by Nelore cattle in Brazil grazing *Brachiaria brizantha* cv. Marandu - Preliminary results. In: WORLD CONFERENCE ON ANIMAL PRODUCTION, 9., 2003, Porto Alegre. **Anais…** Porto Alegre: World Conference on Animal Production, 2003. [Cd-room].

DUKES, H. H.; SWENSON, M. J. Fisiologia de los animales domesticos. **Funciones vegetativas**. Madrid: Aguilar. 1977. 1054 p.

ESTANISLAU, M. L. L.; CANÇADO JR., F. L. Aspectos Econômicos da Pecuária de Corte**.** **Informe Agropecuário**, v. 21, n. 205, p. 5-16, 2000.

FINLAY, B. J.; ESTEBAN, G.; CLARKE, K. J. Some rumen ciliates have endosymbiotic methanogens. **FEMS Microbiology Letters**, v. 177, n. 1, p. 157-162, 1994.

GONZÁLEZ-AVALOS, E.; RUIZ-SUÁREZ, L. G. Methane emission factors from manure in Mexico. **Bioresource Technology**, v. 80, n. 2, p. 63-71, 2001.

HALL, M. B. **Neutral detergent-soluble carbohydrates: nutritional relevance and analysis, a laboratory manual**. Flórida: University of Florida. 2000. (Extension Bulletin, 339)

HEGARTY, R. S. Mechanisms for competitively reducing ruminal methanogenesis. **Australian Journal of Agricultural Research,** v. 50, n. 8, p. 1299-1305, 1999.

HEGARTY, R. S. Strategies for mitigating methane emissions from livestock-Australian options and opportunities. In: GREENHOUSE GASES IN ANIMAL AGRICULTURE, 2001, Japão. **Proceedings…** Japão: Greenhouse Gases in Animal Agriculture, 2001. p. 31-34.

HENNING, P. A.; LINDEN, Y.; MATTHORPE, M. C. Factors affecting the intake and digestion of roughage by sheep fed maize straw supplemented with maize grain. **Journal of Animal Science**, v. 94, n. 4, p. 565-573, 1980.

HOBSON, P. N. Methane from community wastes. **Bioresource Technology**, v. 43, n. 1, p. 91-92, 1993.

HOOVER, W. H. Chemical factors involved in ruminal fiber digestion. **Journal of Dairy Science**, v. 69, n. 5, p. 2755-2766, 1986.

HOWDEN, S. M.; REYENGA, P. J. Methane emissions from Australia livestock: implications of Kyoto Protocol. **Australian Journal of Agricultural Research,** v. 50, n. 8, p. 1285-1291, 1999.

IPCC. INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate change 1994: **Radiative forcing of climate change and an evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios**. Cambridge: Cambridge University, 1995. 339 p.

JENSEN, B. B. Methanogenesis in monogastric animals**. Enviromental Monitoring and Assessment**, v. 42, n. 1-2, p. 99-112, 1996.

JOHNSON, K.; HUYLER, M.; WESTBERG, H.; LAMB, B.; ZIMMERMAN, P. Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a SF_6 tracer technique. **Environmental Science Technology**, v. 28, n. 2, p. 359-362, 1994.

JOHNSON, D. E.; JOHNSON, K. A. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM, MAASTRICHT THE NETHERLANDS, NON-CO_2 GREENHOUSE GASES, 3., 2002, Netherlands. **Proceedings…** Netherlands: Millpress, 2002. p. 45-63.

JOHNSON, K. A.; JOHNSON, D. E. Methane emissions from cattle. **Journal Animal Science**, v. 73, n. 8, p. 2483-2492, 1995.

KAMRA, D. N. Rumen microbial ecosystem. **Current Science**, v. 89, n. 1, p. 124-134, 2005.

KEYSERLINK, M. G. A.; SWIFT, M. L.; PUCHALA, R. Degradability characteristics of dry matter and crude protein of forages in ruminantes. **Animal Feed and Tecnology**, v.57, n.4, p.291-311, 1996.

KIRCHGEBNER, M.; WINDISCH, W.; MULLER, H. L. Methane release from dairy cows and pigs. In: AGUILERA, J. F. **Energy metabolism of farm animals**. Mojacar: CSIC Servicio publicaciones, 1994. p.300-402. (EAAP Publ. 76).

KLIEVE, A. V.; HEGARTY, R. S. Opportunities for biological control of ruminal methanogenesis. **Australian Journal of Agriculture Research** v. 50, n. 8, p. 1315-1319, 1999.

KOYAMA, T. Gaseous metabolism in lake sediments and paddy soils and the production of atmospheric methane and hydrogen. **Journal of Geophysical Research**, v. 68, n. 13, p. 3971-3973, 1963.

KREUZER, M.; KIRCHGESSNER, J.; MULLER, H. L. Effect of defaunation on the loss of energy in wethers fed different quantities of cellulose and normal or steam-flaked maize starch. **Animal Feed Science and Technology**, v. 15, n. 4, p. 233-241, 1986.

KURIHARA, M.; MAGNER, T.; HUNTER, R. A.; MCCRAB, G. J. Methane production and energy partition of cattle in the tropics. **British Journal of Nutrition**, v. 81, n. 3, p. 227-234, 1999.

LASSEY, K. R. Methane emission by grazing livestock: some findings on emission determinants. In: International symposium, maastrieht the Netherlands, NON-CO_2 greenhouse gases, 3, 2002, Netherlands. **Proceedings…** Netherlands: Millpress, 2002. p. 95-100.

LENG, R. A. Factors affecting the utilization of "poor quality" forages by ruminants particulary under tropical conditions. **Nutritional Research Review**, v. 3, n. 2, p. 277-303, 1990.

LIMA, M. A. Agropecuária brasileira e as mudanças climáticas globais: caracterização do problema, oportunidades e desafios. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, v.19, n. 3, p.451-472, 2002.

MACEDO, M. C. M.; KICHEL, A. N.; ZIMMER, A. H. **Degradação e alternativas de recuperação e renovação de pastagens**. Campo Grande: EMBRAPA-CNPGC, 2000. 4 p. (Comunicado Técnico, 62)

MACHADO, P. F. **Estudo dos efeitos da combinação isoácidos - monensina sobre a fermentação ruminal e desempenho de vacas em lactação.**1988. 100 p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, São Paulo, 1988.

MCALLISTER, A. T.; OKINE, E. K.; MATHISON, G. W. Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 76, n. 2, p. 231-243, 1996.

MCCAGHEY, W. P.; WITTENBERG, K.; CORRIGAN, D. Methane production by steers on pasture. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 77, n. 3, p. 519-524, 1997.

MCGINN, S. M.; BEAUCHEMIM, K. A.; COATES, T.; COLOMBATTO, D. Methane emissions from beef cattle: Effects of monensin, sunflower oil, enzymes, yeast, and fumaric acid. **Journal of Animal Science**, v. 82, n. 11, p. 3346-3356, 2004.

MCT. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Convenção sobre Mudança do Clima**. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/clima/comunic_old/pecuar01.htm>. Acesso em: 11 dez. 2000.

MEHERZ, A. Z.; ORSKOV, E. R.; MCDONALD, I. Rates of rumen fermentation in relation to ammonia concentration. **British Journal of Nutrition**, v. 38, n. 3, p. 437-443, 1977.

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

MINSON, D. J. **Forage in ruminant nutrition**. San Diego: Academic Press, 1990. 483 p.

MOSS, A. R. **Methane**: global warming and production by animals. Chalcombe Publications, Kingston, United Kingdom, 1993. 105 p.

MOSS, A. R. Methane production by ruminants – literature review of I. Dietary manipulation to reduce methane production and II. Laboratory procedures for estimating methane potential of diets. **Nutrition Abstracts and Reviews (Series B)**, v. 64, n. 12, p. 785-806, 1994.

MOULD, F. L.; ORSKOV, E. R. Manipulation of the rumen fluid pH and its influence on cellulolysis in sacco, dry matter degradation and the rumen microflora of sheep offered either hay or concentrade. **Animal Feed Science and Technology**, v. 10, n. 1, p. 1-14, 1983.

MOURIÑO, F.; AKKARAWONGSA, R.; WEIMER, P. J. Initial pH as a determinant of cellulose digestion rate by mixed ruminal microorganisms in vitro. **Journal of Dairy Science**, v. 84, n. 4, p. 848-859, 2001.

MURRAY, B. R.; BRYANT, A. M.; LENG, R. A. Rates of production of methane in the rumen and large intestine of sheep. **British Journal of Nutrition**, 1976. p. 1-14.

NCR. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient Requirements of Dairy Cattle**. 6th ed. Washington: National Academy Sciences, 1989.

NEUE, H. U.; ROGER, P. A. **Rice agriculture: factors controlling emissions**. NATO-book Series, 1992.

NOLAN, J. V. Nitrogen kinetics In: FORBES, F. M.; FRANCE, F. **Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism**. London: CAB International, 1993. p.123-145.

OWENS, F. N; GOETSCH. Ruminal Fermentation. In: CHURCH, D.C. (Ed.). **The ruminant animal**: digestive physiology and nutrition. New Jersey: Prentice Hall., 1988. p. 145-216.

PEREIRA, A. S.; MAY, P. H. Economia do aquecimento global. In: MAY, P. H.; LUSTOSA, M. C.; VINHA, V. (Ed.). **Economia do meio ambiente: Teoria e Prática**. Rio de Janeiro: Campus, 2003. p. 219-244.

PILGRIM, A. F.; GRAY, F. V.; WELLER, R. A.; BELLING, C. B. Synthesis of microbial protein from ammonia in sheep's rumen and the proportion of dietary nitrogen converted into microbial nitrogen. **British Journal of Nutrition**, v. 24, n. 2, p. 589-598, 1970.

POPPI, D. P.; FRANCE, J.; MCLENNAN, S. R. Intake, passage and digestibility. In: THEODOROU, M. K.; FRANCE, J. (Ed.). **Feeding systems and feed evaluation models**. Wallingford: CAB Publishing, 2000. p. 35-52.

PORDOMINGO, A. J.; WALLACE, J. D.; FREEMAN, A. S.; GALYEAN, M. L. Supplemental corn grain for steers grazing native rangeland during summer. **Journal of Animal Science**, v. 69, n. 4, p. 1678-1687, 1991.

PRESTON, T. R.; LENG, R. A. **Ruminant Production Systems**. Queensland, Austrália. 1987. 245 p.

PRIMAVESI, O.; FRIGHETTO, R. T. S.; LIMA, M. A. Medição a campo de metano ruminal emitido por bovinos leiteiros em ambiente tropical 1 – adaptação de método. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., 2002, Recife. **Anais...** Recife: Sociedade Brasileira de Zootecnia/technoMEDIA, [2002]. (CD-ROM).

PRIMAVESI, O., FRIGHETO, 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 SF_6 para medição de campo do metano ruminal em bovinos: adaptações para o Brasil**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2004. 77p. (Documento n. 39)

SHIOYA, S.; TANAKA, M.; IWAMA, KAMIYA, M. Development of nutritional management for controlling methane emissions from ruminants in Southeast Asia. In: GreenHouse Gases in Animal Agriculture, 2001, Japão. **Anais…** Japão: Greenhouse Gases in Animal Agriculture, 2001. p. 346-349.

SLYTER, L. L.; SATTER, L. D.; DINIUS, D. A. Effect of ruminal concentration on nitrogen utilization by steers. **Journal of Animal Science**, v. 48, n. 4, p. 906-912, 1979.

SONG, M. K.; KENNELY, J. J. Ruminal fermentation pattern, bacterial population and ruminal degradation of feed ingredients as influence pattern, bacterial population and

degradation of feed ingredients influence by ruminal ammonia concentration. **Journal of Animal Science**, v. 68, n. 4, p. 1110-1120, 1990.

STAINER, R. I.; ADELBERG, E. A.; INGRAHAM, J. I. **General microbiology.** 4. ed. London: The MacMillan Press Ltd., 1976.

SUNDSTOL, F. Methods for treatment of low quality roughages. In: KATEGILE, J. A.; SAND, A. N.; SUNDSTOL, F. **Utilization of low-quality roughages in Africa**. Norway: Agricultural University of Norway, As-NLH, 1981. p. 61-80.

SUTTON, J. D. Digestion and end product formation in the rumen from production rations. In: RUCKEBUSCH, Y.; THIVEND, P. (Ed.). **Digestive physiology and metabolism in ruminants**. MTP press, 1980. p. 271-290.

THORNTON, J. H.; OWENS, F. N. Monensin supplementation and *in vivo* methane production by steers. **Journal of Animal Science**, v. 52, n. 3, p. 628-634, 1981.

USHIDA, K.; JOUANY, J. P. Methane production associated with rumen-ciliated protozoa and its effect on protozoan activity. **Letters Applied Microbiology**, v. 23, n. 2, p. 129-132, 1996.

USEPA.UNITED STATES ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY. (Environment Protection Authority). **International anthropogenic methane emission:** estimates for 1990. Washington DC.: Office of Policy, Planning and Evaluation, 1990. (230-R-93-010).

USEPA. UNITED STATES ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY. Evaluating Ruminant Livestock Efficiency Projects and Programs In: **Peer Review Draft**. Washington, D.C.: Office of Policy, Planning and Evaluation, 2000. 48 p.

VAN KESSEL, J. S.; RUSSEL, J. B. The effect of pH on *in vitro* methane production from ruminal bacteria. **Proceeding of Conference Rumen Function**, v. 23, n. 7, 1995.

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

WALKER, J. A. Animal performance and methane emitted by beef steers under alternative production strategies. **Journal of Animal Science**, v. 75, n. 1, p. 271. 1997.

WESTBERG, H. H.; JOHNSON, K. A.; COSSALMAN, M. W.; MICHAL, J. J. **A SF_6 tracer technique: methane measurement from ruminants**. 2. rev. Relatório. Pullman-Washington: Washington State University, 1998. 40 p.

WHITELAW, F. G.; EADIE, J. M.; BRUCE L. A.; SHAND, W. J. Methane formation in faunated and ciliate-free cattle and its relationship with rumen volatile fatty acid proportions. **British Journal of Nutrition**, v. 52, n. 2, p. 261-275, 1984.

ZIMMER, A. H.; EUCLIDES FILHO, K. As pastagens e a pecuária de corte brasileira. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTEJO, 1997, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1997. p. 349-379.

ZINN, R. A; PLASCENCIA, A.; BARAJAS, R. Interaction of forage level and monensin in diets for feedlot cattle on growth performance and digestive function. **Journal of Animal Science**, v. 72, n. 9, p. 2209-2215, 1994.

CAPÍTULO III - Emissão de metano por bovinos nelore ingerindo feno de *Brachiaria brizantha* cortado em diferentes estádios de maturação

3 INTRODUÇÃO

Mudanças climáticas no mundo resultantes do aumento das concentrações de gases na atmosfera tem levado à alteração no balanço de entrada e saída de radiação solar do planeta, provocando aquecimento da superfície terrestre. Os principais gases responsáveis pelo efeito estufa são: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), clorofluorcarbonos (CFCs) e ozônio (O_3) (COTTON; PIELKE, 1995).

A questão relacionada às Mudanças Climáticas Globais tem sido muito debatida pelos especialistas do IPCC (*Intergovernamental Panel on Climate Change*). A quantificação das emissões de gases de efeito estufa por ecossistemas agrícolas e as estimativas preliminares dessas emissões para o Brasil mostram que a pecuária constitui uma das principais fontes de metano entre as atividades agropecuárias (IPCC, 1995).

As atividades agropecuárias contribuem para o total de metano emitido, principalmente com a produção de arroz inundada, a fermentação entérica dos animais e a degradação de dejetos e resíduos, com respectivamente 11%, 16% e 17%, sendo que os animais contribuem com 5% deste último item (USEPA, 2000).

O metano proveniente da fermentação ruminal constitui uma perda no potencial produtivo energético e tem sido estudado por décadas (HOWDEN; REYENGA, 1999).

Nos ruminantes, a quantificação da produção de gases ruminais tem sido utilizada como indicativo da atividade microbiana do ambiente ruminal, sendo que o metano eructado pelos animais representa uma perda de energia de aproximadamente 2 a 14% da energia bruta do alimento e tem implicações no aquecimento global (JOHNSON; JOHNSON, 1995; DEMARCHI et al., 2003).

O conhecimento dos fatores que determinam a eficiência do processo fermentativo ruminal e a emissão de produtos poluidores é fundamental ao processo de redução do impacto ambiental causado pelos sistemas de produção animal, além da busca por aumento da produtividade e eficiência econômica dos sistemas de produção animal. Diante desse fato, objetivou-se com o desenvolvimento desse trabalho quantificar a produção de metano ruminal com a metodologia direta do gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF_6) e avaliar alguns aspectos relacionados com a nutrição que podem estar envolvidos na sua produção e ou mitigação.

3.1 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento de Andradina do PRDTA do Extremo Oeste, 27 da APTA (Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios). O galpão utilizado possuía oito gaiolas apropriadas para estudos de metabolismo, sendo estas dotadas de comedouro e bebedouro individuais.

Foram utilizados seis bovinos Nelores machos, castrados, canulados no rúmen e com peso médio inicial de 402 ± 51,62 kg de peso vivo ao início do experimento. Estes foram mantidos em gaiolas de metabolismo instaladas dentro de baias, com bebedouros e comedouros individuais. O delineamento experimental utilizado para designar as unidades experimentais aos tratamentos foi quadrado latino duplicado (dois quadrados 3x3) totalizando 18 unidades experimentais com seis delas por tratamento. Os tratamentos foram feno de *Brachiaria brizantha* cortado com 15 dias de maturação, feno de *Brachiaria brizantha* cortado com 45 dias de maturação e feno de *Brachiaria brizantha* cortado com 90 dias de maturação. O fornecimento de feno foi dividido em dois horários: às 8 e às 16h, tendo os animais livre acesso à água e suplemento mineral. Este possuía a seguinte composição por quilo: 100 g de cálcio, 150 mg de Cobalto, 1440 mg de Cobre, 12 g de Enxofre, 650 mg de Flúor (máx.), 65 g de Fósforo, 95 mg de Iodo, 13 g de Magnésio, 1530 mg de Manganês, 20 mg de Selênio, 188 g de Sódio e 5400 mg de Zinco.

O período experimental foi composto por três sub-períodos de 20 dias cada, sendo estes divididos em sete dias de adaptação, cinco de coleta de fezes, sete de coleta de metano e um de coleta de líquido ruminal. A pesagens dos animais eram realizadas no final de cada sub-período, pela manhã. A duração total do experimento foi de 60 dias.

No 13º dia iniciaram-se as coletas de metano através da técnica do gás traçador hexafluoreto de enxofre (WESTBERG et al., 1998). A coleta foi realizada a cada 24 horas.

O feno foi produzido na Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento de Colina (PRDTA da Alta Mogiana). No período da manhã, foram realizados cortes da forrageira com 15, 45 e 90 dias de maturação, em solo não adubado, utilizando-se segadeira. A viragem foi realizada no período da tarde com auxílio do ancinho. No segundo dia, a viragem foi feita pela manhã e a tarde. No terceiro dia, a forragem seca foi recolhida pela enfardadeira mecânica. Os fardos foram armazenados em galpão arejado sobre estrados de madeira e, após uma semana, foram transportados para Andradina, sendo utilizados neste experimento após cinco meses de

estocagem. O feno foi picado em partículas de 10 cm para reduzir a seletividade dos animais. A composição bromatológica está descrita na tabela 1.

3.1.1 Consumo voluntário de feno

A partir do oitavo dia o consumo voluntário de matéria seca (MS) dos animais foi calculado como a diferença entre as quantidades de MS oferecida e refugada através da pesagem. Para assegurar oferecimento *ad libtum*, os ajustes para o consumo foram feitos diariamente para que houvesse, no mínimo, 5% de sobras.

Tabela 1 - Composição bromatológica do feno de *Brachiaria brizantha*, com base na matéria seca[1]

Composição *Composition*	Dias de maturação dos fenos de *Brachiaria brizantha* *Days of maturation on Brachiaria brizantha hay*		
	15	45	90
MS (%) *DM (%)*	82,52	90,17	90,04
PB (% MS) *CP (% DM)*	10,71	4,24	4,54
EE (% MS) *EE (% DM)*	1,08	0,82	0,99
MM (% MS) *ASH (% DM)*	8,24	6,77	6,80
CNF (% MS) *NFC (% DM)*	9,34	10,51	11,67
FDN (% MS) *NDF (% DM)*	70,63	77,67	76,0
FDA (% MS) *ADF (% DM)*	41,01	43,94	42,64
LDA (% MS) *ADL (% DM)*	80,08	83,92	83,02

[1]MS: material seca, PB: proteína bruta, EE: extrato etéreo, MM: matéria mineral, CNF: carboidratos não fibrosos, FDN: fibra em detergente neutro, FDA: fibra em detergente ácido, LDA: lignina em detergente ácido

[1]DM: dry matter, CP: crude protein, EE: ether extract, NFC: non-fiber carbohydrates, NDF: neutral detergent fiber, ADF: acid detergent fiber, ADL: acid detergent lignin

3.1.2 Digestibilidade total *in vivo*

A partir do oitavo dia, após a adaptação, até o décimo segundo dia foram feitas coletas de fezes para determinar a digestibilidade total *in vivo*. As fezes foram coletadas uma vez ao dia em caixas localizadas atrás das gaiolas. Após a pesagem do material coletado, 10% das fezes foram armazenadas em sacos plásticos e colocadas em freezer a - 20ºC.

Durante esse período, amostras do feno oferecido foram coletadas e armazenadas sob refrigeração para posterior análise. Ao final do experimento, as amostras de fezes e do oferecido foram homogeneizadas por animal/período, secas em estufa de ventilação forçada a 60ºC por 72 horas e, em seguida, moídas em moinho com peneira com crivos de 1 mm para posterior análise laboratorial. As sobras diárias não foram analisadas por serem pouco representativas em quantidade.

Os nutrientes digestíveis totais (NDT) das dietas foram calculados segundo equação proposta pelo NRC (2001): NDT = PBD + 2,25 x EED + FDND + CNFD, em que: PBD, EED, FDND e CNFD significam, respectivamente, proteína bruta digestível, extrato etéreo digestível, fibra em detergente neutro digestível e carboidratos não-fibrosos digestíveis. O conteúdo de CNF dos alimentos foi calculado baseado nas porcentagens de nutrientes subtraídos de 100% de matéria seca, CNF% = 100% - (PB% + FDN% + EE% + Cinzas%), onde PB = proteína bruta, EE = extrato etéreo, FDN = fibra em detergente neutro (HALL, 2001).

3.1.3 Colheita de líquido ruminal e determinação do pH

No vigésimo dia de cada período experimental, foram realizadas as colheitas de líquido ruminal nos tempos 0, 2, 4, 6, 8, 10 horas após a alimentação da manhã. Para tal, cerca de 500 gramas de conteúdo ruminal foram colhidos manualmente em cinco pontos diferentes do rúmen e peneirados em fralda de pano dobrada, formando camada dupla.

O pH foi mensurado imediatamente após a colheita e filtragem, utilizando-se um potenciômetro portátil pré-calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0, nos mesmos tempos de amostragens descritos para AGV e $N\text{-}NH_3$.

Cerca de 5 mL de líquido ruminal foram acondicionados em tubos de ensaio e imediatamente congelados. Um dos tubos foi destinado às avaliações de AGV e o outro para $N\text{-}NH_3$.

Nessas colheitas, os animais eram alimentados apenas no período da manhã, pois assim, no dia seguinte, estariam em jejum completo para submeterem-se à pesagem.

3.1.4 Análises bromatológicas

As amostras dos fenos e das fezes foram analisadas para a determinação de matéria seca (MS) a 65ºC, proteína bruta (PB) pelo método micro-Kjeldahl, extrato etéreo (EE) e matéria mineral (MM) realizados segundo a AOAC (1990). A fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina detergente ácido (LDA) foram analisadas segundo Van Soest, Robertson e Lewis (1991).

As análises bromatológicas foram feitas no laboratório de Nutrição Animal e Bromatologia do Departamento de Nutrição e Produção Animal (VNP) da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo (FMVZ-USP), Campus de Pirassununga.

3.1.5 Determinação dos ácidos graxos voláteis e do $N\text{-}NH_3$

Uma alíquota de 100 mL de líquido ruminal foi centrifugada a 3.500 rpm por 15 minutos. Em seguida, 1 ml de sobrenadante foi colocado em tubo de ensaio contendo 0,2 mL de ácido fórmico P.A., sendo armazenado à – 20ºC até o momento da análise. A determinação de AGV foi realizada, em duplicata, por cromatografia gasosa (ERWIN; MARCO; EMERY, 1961).

A determinação da concentração do N-amoniacal ($N\text{-}NH_3$) no líquido ruminal foi realizada por colorimetria segundo procedimentos descritos por Kulasek (1972) e adaptado por Foldager (1977).

Todas as análises foram realizadas no laboratório de análises bromatológicas do Departamento de Nutrição e Produção Animal (VNP) da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo (FMVZ-USP), Campus de Pirassununga.

3.1.6 Determinação da taxa de emissão de SF_6

Antes do início do experimento as cápsulas de SF_6 foram monitoradas quanto à taxa de liberação desse gás. As cápsulas permaneceram em béquer imerso em banho Maria a uma temperatura de 39ºC durante 4 a 6 semanas. Semanalmente as cápsulas foram pesadas para se determinar a taxa de emissão de SF_6. Após esse processo, estavam prontos para serem introduzidas no rúmen dos animais.

3.1.7 Gás metano (CH_4)

A colheita dos gases ruminais foi realizada durante sete dias consecutivos, a intervalos de 24 horas, iniciando-se no 13º dia experimental. O metano proveniente da eructação do animal foi amostrado durante sete dias do período de colheita. A metodologia utilizada para colheita e determinação da emissão de metano, empregando o traçador hexafluoreto de enxofre (SF_6) foi descrita por Johnson e Johnson (1995) e adaptada por Primavesi et al. (2004a). O metano colhido foi armazenado no aparato de amostragem, chamado canga, que fica alojado ao pescoço do animal. Posteriormente as cangas foram enviadas ao laboratório, onde foi realizada a determinação de metano e SF_6. A leitura das concentrações dos gases foi realizada em cromatógrafo a gás equipado com detector de ionização de chama para leitura de metano e detector de captura de elétrons, para a leitura do SF_6 (assume-se que o padrão de emissão de SF_6 simule o padrão de emissão de CH_4), a quantificação de metano na amostra foi feita em função das concentrações de SF_6. As análises de metano foram realizadas no laboratório do Centro Nacional de Pesquisa em Meio Ambiente – CNPMA/EMBRAPA, unidade localizada no município de Jaguariúna, SP.

A conversão de metano de gramas para unidade energética foi feita segundo o fator de conversão apresentado por Holter e Young (1992), assumindo que a queima do metano produz 0,0133 Mcal/g.

O consumo de energia bruta foi calculado sobre a matéria orgânica ingerida e o consumo de energia digestível sobre a digestibilidade da matéria orgânica.

3.1.8 Análise estatística

Os dados foram analisados por meio do programa computacional Statistical Analysis System for Windows V8 (SAS, 2001). Todos os dados foram submetidos às premissas estatísticas, normalidade dos resíduos pelo teste de SHAPHIRO-WILK (PROC UNIVARIATE) e homogeneidade das variâncias, comparada pelo Teste F. Os dados que não respeitaram as premissas estatísticas foram submetidos à transformação logarítmica [Log(x+1)] ou pela raiz quadrada [RQ(x+1/2)]. Foi utilizada regressão polinomial simples para a avaliação do efeito linear e de desvio da linearidade referente aos níveis de idade de corte dos fenos. Os dados de AGV, pH e concentrações de nitrogênio amoniacal no líquido ruminal foram submetidos à análise de variância (PROC GLM do SAS), porém complementados pelo fator medidas repetidas no tempo (comando REPEATED do GLM do SAS), referentes aos diversos momentos de colheita entre as refeições. Na presença de interação entre tempo e tratamento, estudou-se efeito de tratamento dentro do tempo (0, 2, 4, 6, 8 e 10 horas) através do comando SLICE (GLM do SAS), adotando-se nível de significância de 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de consumo de nutrientes obtidos com os tratamentos encontram-se na tabela 2. O consumo de matéria seca (MS), o consumo de matéria seca em função do peso vivo (MS%PV), o consumo de matéria seca digestível (MSD) e o consumo de matéria seca digestível em função do peso vivo (MSD%PV) apresentaram efeito de desvio da linearidade.

Para o consumo de MS, a equação do efeito de desvio da linearidade é CMS (kg/d) = $8,16 – 0,1237x + 0,0001x^2$, com o $r^2 = 0,43$. O consumo de MS foi maior no feno cortado no 15º dia (6,54 kg/d) e menor no feno cortado ao 45º dia (4,68 kg/d). O consumo de matéria seca do feno do 90º dia (5,39 kg/d) foi intermediário aos anteriores. Conseqüentemente, pode-se observar uma redução no consumo de MS do feno do 45º dia de corte de 28,4% e 13,2% em relação ao feno do 15º e 90º dia (P=0,0024).

O consumo de MS, em função do peso vivo, acompanhou da mesma forma o consumo de MS. Os valores encontrados foram de 1,63, 1,19 e 1,37 kg/d, para os fenos do 15º, 45º e 90º dia, respectivamente. A equação do efeito de desvio da linearidade é CMS (%PV) = $2,0093 – 0,0291x + 0,0002x^2$ ($r^2 = 0,46$).

A equação do efeito de desvio da linearidade para o consumo de MS digestível obtida é CMSD (kg/d) = $5,41 – 0,0868x + 0,0071x^2$, com o $r^2 = 0,48$. O feno do 15º dia apresentou um valor mais alto (4,27 kg/d) do consumo de matéria seca digestível, havendo uma posterior redução de 31,1% e de 21,1% dos fenos cortados ao 45º (2,94 kg/d) e 90º (3,37 kg/d), respectivamente (P=0,0024). Relações bastante semelhantes foram encontradas para o consumo de matéria seca em função do peso vivo e o consumo de matéria seca digestível em função do peso vivo.

Os dados de consumo de proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), carboidratos não fibrosos (CNF), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina em detergente ácido (LDA) apresentaram efeito de desvio da linearidade. Todas estas variáveis apresentaram comportamentos semelhantes com respeito ao seu efeito de desvio da linearidade, ou seja, o maior valor encontrado com o feno do 15º dia, o menor valor com o feno do 45º dia e valores intermediários para o feno do 90º dia. Esta semelhança é devida ao consumo de matéria seca que apresentou o mesmo comportamento descrito acima.

Tabela 2 – Médias, coeficientes de variação (CV) e probabilidades do consumo dos nutrientes

	Tratamentos *Treatments*				**Probabilidade** *Probabilities*	
Variável *Variable*	**15**	**45**	**90**	**CV (%)** *CV (%)*	**Linear** *Linear*	**Desvio** *Deviation*
CMS (kg/d) *DMI (kg/d)*	6,54	4,68	5,39	21,5	0,0298	0,0024
CMS (%PV) *DMI (%BW)*	1,63	1,19	1,37	19,5	0,0339	0,0023
CMSD (kg/d) *DDMI (kg/d)*	4,27	2,94	3,37	23,3	0,0130	0,0024
CMSD (% PV) *DDMI (%BW)*	1,06	0,75	0,85	21,6	0,0213	0,0042
PB (kg/d) *CP (kg/d)*	0,70	0,20	0,24	63,1	<0,0001	<0,0001
EE (kg/d) *EEI (kg/d)*	0,07	0,04	0,05	31,9	0,0011	<0,0001
CNF (kg/d) *NFC (kg/d)*	0,63	0,49	0,61	19,7	0,3498	0,0032
FDN (kg/d) *NDF (kg/d)*	4,62	3,64	4,10	19,2	0,1594	0,0115
FDA (kg/d) *ADF (kg/d)*	2,68	2,05	2,30	20,0	0,0745	0,0087
LDA (kg/d) *ADL (kg/d)*	5,23	3,93	4,48	20,3	0,0692	0,0051

CMS: consumo de matéria seca, CMSD: consumo de matéria seca digestível, PB: consumo de proteína bruta, EE: consumo de extrato etéreo, CNF: consumo de carboidratos não fibrosos, FDN: consumo de fibra em detergente neutro, FDA: consumo de fibra em detergente ácido, LDA: consumo de lignina em detergente ácido, CV: coeficientes de variação (%), Probabilidades: probabilidades estatísticas

DMI: dry matter intake, DDMI: digestible dry matter intake, CP: crude protein intake, EE: ether extract, NFC: non-fiber carbohydrates intake, NDF: neutral detergent fiber, ADF: acid detergent fiber, ADL: acid detergent lignin intake, CV: coefficient of variation (%), Probabilities: statistical probability

As equações obtidas do efeito de desvio da linearidade foram PB (kg/d) = 1,1077 – 0,0308x + 0,0002x^2, com um r^2 = 0,93, EE (kg/d) = 0,0993 – 0,0022x + 0,00001877x^2, com um r^2 = 0,72, CNF (kg/d) = 0,7387 – 0,0099x + 0,0001x^2, com um r^2 = 0,32, FDN (kg/d) = 5,4927 – 0,067x + 0,0006x^2 (r^2 = 0,27), FDA (kg/d) = 3,2287 – 0,0418x + 0,0003x^2 (r^2 = 0,32) e LDA (kg/d) = 6,3837 – 0,0878x + 0,0007x^2 (r^2 = 0,35).

A maior quantidade de PB consumida com o feno do 15º dia deve-se ao maior consumo de MS deste feno e a maior porcentagem de PB na sua composição (10,71%) em relação aos fenos do 45º (4,24%) e do 90º dia (4,54%).

Os valores de consumo de MS expressos em porcentagem do peso vivo (%PV) dos animais recebendo feno, cortado ao 15º, 45º e 90º dias são considerados baixos (1,63, 1,19 e 1,37%, respectivamente), quando comparados ao indicado pelo NRC (1996), que recomenda valores próximos de 2,5% PV em bovinos de corte. Segundo Mertens (1994) e Van Soest

(1994), em rações formuladas com elevado teor de fibra ou baixa densidade energética em relação às exigências do animal, condições estas observadas neste experimento (oferecimento apenas de feno), o consumo é limitado pelo efeito de "enchimento" do rúmen-retículo. Segundo Russell, O'Connor e Fox (1992), se os alimentos volumosos são degradados muito lentamente, o enchimento ruminal pode limitar o consumo e as exigências nutricionais não são atendidas.

Este baixo consumo de MS em função do PV, também pode ser atribuído à deficiência de proteína bruta (PB) dos fenos do 45º e 90º dia de maturação (4,24 e 4,54% de PB), por estarem abaixo do teor de 7% de PB do total da dieta, valor que garante a adequada atividade dos microrganismos no rúmen (VAN SOEST, 1994).

Valadares, Gonçalves e Rodriguez (1997) utilizando dietas contendo 7,0, 9,5, 12,0 ou 14,5% de PB na MS, observaram que a dieta contendo 7,0% de PB apresentou menor consumo de MS que as demais, que não diferiram entre si.

Alves (2001), avaliando o consumo em animais Holandês-Gir, Holandês-Guzerá e Indubrasil nas fases de recria e terminação, submetidos a dietas com 12 ou 15% de PB, verificou que o consumo de MS não foi influenciado pelas dietas. Em condições semelhantes, Ítavo, Valadares Filho e Silva (2002), estudando novilhos na fase de terminação recebendo dietas contendo 15 ou 18% de PB, observaram que a ingestão dos nutrientes também não foi afetada pelos teores de PB das dietas, excetuando para consumo de PB. Rennó (2003), ao avaliar dietas com 12 ou 15% de PB para novilhos Holandeses, ½Holandês-Guzerá, ½Holandês-Gir e Zebu, verificou que, à exceção do consumo de PB, o consumo dos nutrientes não foi influenciado pelos níveis protéicos das dietas.

Também foi observado que o feno produzido com 45 dias crescimento tinha pior qualidade que foi evidenciada pelo seu aspecto amarelado, embora não fosse apresentado sinais indicativos de crescimento fúngico.

Os dados de digestibilidade da matéria seca da dieta e seus nutrientes encontram-se na tabela 3. De forma geral, os dados de digestibilidade das diversas frações, bem como o valor de NDT dos fenos, independentemente de tratamento, encontram-se dentro do esperado.

Tabela 3 – Médias, coeficientes de variação (CV) e probabilidades da digestibilidade aparente total da MS do feno e suas frações obtidas com os tratamentos

	Tratamentos *Treatments*				**Probabilidades** *Probabilities*	
Variável *Variable*	**15**	**45**	**90**	**CV (%)** *CV (%)*	**Linear** *Linear*	**Desvio** *Deviation*
MS (%) *DM (%)*	64,23	63,12	63,03	11,4	0,6740	0,7890
MO (%) *OM (%)*	64,21	64,14	64,06	11,2	0,9582	0,9972
PB (%) *CP (%)*	64,44	40,18	41,17	32,5	0,0007	0,0027
EE (%) *EE (%)*	19,74	24,86	22,81	67,9	0,7060	0,5183
CNF (%) *NFC (%)*	35,19	47,27	50,11	28,4	0,0174	0,1788
FDN (%) *NDF (%)*	70,06	69,17	69,61	9,9	0,9020	0,7804
FDA (%) *ADF (%)*	63,79	65,58	65,83	12,7	0,5248	0,7104
NDT (%) *TDN (%)*	60,16	60,53	60,97	11,1	0,7437	0,9824

MS: digestibilidade da matéria seca (%), MO: matéria orgânica (%), PB: proteína bruta (%), EE: extrato etéreo (%), CNF: carboidratos não-fibrosos (%), FDN: fibra em detergente neutro (%), FDA: fibra em detergente ácido (%), NDT: nutrientes digestíveis totais (%), CV: coeficientes de variação (%)
DM: digestibility of dry matter (%), OM: organic matter, CP: crude protein (%), EE: ether extract (%), NFC: non-fiber carbohydrates (%), ADF: acid detergent fiber (%), NDF: neutral detergent fiber (%), TDN: total digestible nutrients (%), CV: coefficient of variation (%)

Nenhum dos tratamentos testados afetou a digestibilidade da MS, da MO, do EE, da FDN, da FDA ou dos NDT. Entretanto, houve efeito de desvio da linearidade para a variável PB digestível (P = 0,0027) apresentada pela equação PBD (%) = 84,035 – 1,4726x + 0,0111x^2 (r^2 = 0,53). O tratamento com o feno do 15º dia apresentou maior digestibilidade para a fração de PB (64,44%) em relação ao feno do 45º e do 90º dia de maturação (40,18 e 41,17%, respectivamente).

Para a digestibilidade dos CNF, houve efeito linear (P = 0,0174) e a equação obtida é CNF (%) = 34,77 + 0,1882x (r^2 = 0,23). O feno do 90º dia apresentou o maior valor de digestibilidade dos CNF (50,11%) em relação aos fenos do 45º e do 90º dia (47,27 e 35,19%, respectivamente).

Na tabela 4 estão apresentadas as médias da concentração total de AGV (ácidos graxos voláteis) no líquido ruminal, porcentagem molar dos ácidos acético, propiônico e butírico, relação acético:propiônico, pH ruminal e concentração de N-amoniacal no rúmen em função dos tratamentos.

Tabela 4 – Concentração total de ácidos graxos voláteis (AGVt) no rúmen, porcentagens molares dos ácidos acético, propiônico e butírico, relação acético:propiônico (Relação Ace:Prop), pH ruminal e concentração de N-amoniacal ($N\text{-}NH_3$), com os respectivos coeficientes de variação (CV) e probabilidades estatísticas

	Tratamentos *Treatments*				**Probabilidades** *Probabilities*		
Variável *Measurement*	**15**	**45**	**90**	**CV(%)** *CV (%)*	**Linear** *Linear*	**Desvio** *Deviation*	**Trat*T**[1] *Treat*T*[1]
AGVt, mM *tVFA, mM*	87,9	79,4	81,0	18,9	0,5248	0,4988	0,6715
Ace., % molar *Acetate, molar %*	77,0	76,5	76,3	2,13	0,0740	0,2529	0,2306
Prop., % molar *Propionate, molar %*	17,0	17,0	16,3	6,10	0,0767	0,2635	0,6069
But., % molar *Butyrate, molar %*	6,01	6,49	7,40	17,2	0,0006	0,7718	0,1489
Relação Ace:Prop *Ace:Prop ratio*	4,55	4,50	4,68	7,7	0,1715	0,2595	0,6001
pH *pH*	6,80	6,61	6,67	2,72	0,2006	0,1119	0,6369
$N\text{-}NH_3$, mg/dL *NH_3-N, mg/dL*	7,21	2,74	2,22	72,5	0,0001	0,0013	0,1223

[1] Efeito de interação entre tempo e tratamento
[1] Interaction effect between treatment and time

Não foi constatado efeito significativo da interação entre tempo e níveis de maturação dos fenos (P> 0,05) para os diferentes ácidos avaliados no presente estudo. Do mesmo modo, não houve efeito de interação entre tempo e níveis de maturação dos fenos na proporção acético:propiônico, no pH e na concentração de $N\text{-}NH_3$. Entretanto, foi observado efeito linear Da idade de corte para a porcentagem molar do ácido butírico (P = 0,0006). O feno cortado com 90 dias de maturação resultou em maior proporção molar de ácido butírico seguido do feno cortado ao 45º dia e 15º dia de maturação. Embora significativo, o efeito sobre a proporção molar de ácido butírico foi pequeno.

Não foram observadas diferenças significativas sobre as porcentagens molares dos ácidos acético e propiônico, relação acético/propiônico o ou pH ruminal do líquido ruminal nos diferentes tratamentos. Segundo Silva e Leão (1979), os valores de pH inferiores a 6,0 podem acarretar diminuição da atividade dos microrganismos fibrolíticos, sendo que para Mertens (1992) a digestão da fibra declinaria em pH abaixo de 6,7 e para Orskov (1982) e Mould, Orskov e Mann (1983), abaixo de 6,2. A menor média encontrada nesse experimento foi de 6,61, muito acima daquele que afetaria a digestibilidade da fração fibrosa.

Foi observado efeito de desvio da linearidade para a concentração de N-amoniacal no rúmen, N-NH_3 (mg/dL) = 10,685 – 0,259x + 0,0018x^2 (r^2 = 0,59). As concentrações de N-NH_3 (Figura 1) para os fenos do 15º, do 45º e do 90º dia foram 7,21, 2,74 e 2,22 mg/dL, respectivamente. A dieta com o feno do 45º e do 90º dia de maturação resultaram em concentração de N-amoniacal menores (62,0 e 69,2%, respectivamente), em relação ao feno do 15º dia de maturação. Isso pode ser explicado pelo maior consumo de MS no feno do 15º dia de maturação que apresentava uma maior quantidade e digestibilidade da proteína bruta, disponibilizando, assim maior quantidade de nitrogênio para o rúmen.

Os valores de N-NH_3 observados nesse trabalho não foram limitantes para a fermentação ruminal, considerando os valores sugeridos por Slyter et al. (1979) de 2,0 a 5,0 mg/dL para atividade microbiana ideal nesse compartimento digestivo. Pedreira (2004) observou um valor de 3,15 mg/dL quando as dietas eram compostas exclusivamente de forragem (silagem de sorgo, 5% PB e 35,5 MS) e de 6,68 mg/dL, quando as dietas eram compostas por 60% concentrado.

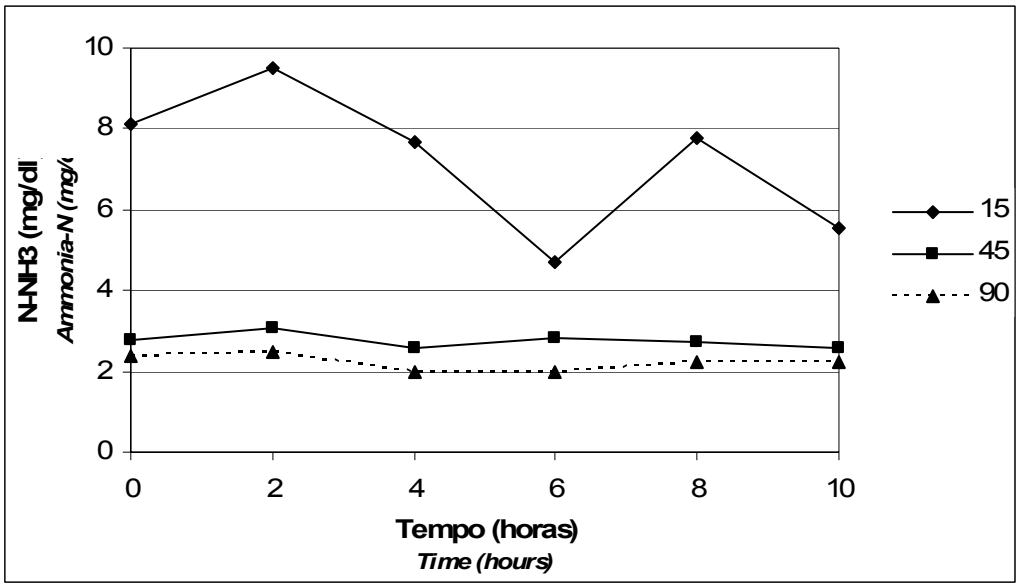

Figura 1 – Concentração do N-NH_3 (mg/dL) no líquido ruminal em função dos tempos nos diferentes tratamentos

Os dados de gramas de metano emitidas por animal por hora - CH_4 (g/h), gramas de metano emitidas por animal por dia - CH_4 (g/d), gramas de metano emitidas por quilograma de peso vivo por dia - CH_4 (g/kg PV), gramas de metano emitidas por quilograma de peso metabólico por dia - CH_4 (g/kg ^{0,75}), gramas de metano emitidas por megacalorias diárias -

CH_4 (g/Mcal), gramas de metano emitidas por quilograma de MS - CH_4 (g/kg MS), gramas de metano emitidas por quilograma de matéria orgânica - CH_4 (g/kg MO), gramas de metano emitidas por quilograma de matéria orgânica digestível - CH_4 (g/kg MOD), porcentagem de energia bruta perdida na forma de CH_4 - CH_4 (%EB) e porcentagem de energia digestível perdida na forma de CH_4 - CH_4 (%ED), estão na tabela 5.

Tabela 5 – Médias, coeficientes de variação (CV) e probabilidades estatísticas para emissão de metano

Variável *Variable*	Tratamentos *Treatments* 15	45	90	CV (%) *CV (%)*	Probabilidades *Probabilities* Linear *Linear*	Desvio *Deviation*
CH_4 (g/d) *CH_4 (g/d)*	132,65	138,32	133,93	25,14	0,9658	0,6767
CH_4 (g/h) *CH_4 (g/h)*	5,53	5,76	5,58	25,13	0,9655	0,6778
CH_4 (g/kg PV) *CH_4 (g/kg BW)*	0,33	0,34	0,33	20,96	0,9166	0,6395
CH_4 (g/kg^{0,75}) *CH_4 (g/kg^{0,75})*	1,48	1,54	1,51	21,72	0,8853	0,7043
CH_4 (g/kg MS) *CH_4 (g/ kg DM)*	17,38	23,41	20,02	22,07	0,3812	0,0299
CH_4 (g/kg MO) *CH_4 (g/kg OM)*	22,32	32,03	26,39	24,14	0,3614	0,0175
CH_4 (g/kg MOD) *CH_4 (g/kg DOM)*	36,86	56,4	46,18	30,29	0,3348	0,0340
CH_4 (%EB) *CH_4 (%GE)*	6,18	9,02	7,42	24,77	0,3249	0,0168
CH_4 (%ED) *CH_4 (%DE)*	11,04	16,89	13,83	30,3	0,3344	0,0340

Não foi possível mostrar diferença estatística significativa entre os tratamentos para as variáveis CH_4 (g/h), CH_4 (g/d), CH_4 (g/kg PV), CH_4 (g/kg^{0,75}). Os dados de CH_4 (g/kg MS), CH_4 (g/kg MO), CH_4 (g/kg MOD), CH_4 (%EB) e CH_4 (%ED) apresentaram efeito de desvio da linearidade.

A emissão de metano por kg de MS com o feno cortado ao 45º dia de maturação apresentou-se maior em relação aos fenos do 15º e 90º dia (23,41, 17,38 e 20,02 g/kg MS, respectivamente). O feno cortado ao 45º dia teve uma emissão de metano (g/kg MS) de 34,7% e 17,0% maior que aqueles cortados com 15 e 90 dias, respectivamente. Foi obtida a seguinte equação CH_4 (g/kg MS) = $1,915 + 20,17x - 4,7117x^2$ ($r^2 = 0,32$), onde x = idade de corte dos fenos.

As equações do efeito de desvio da linearidade são CH_4 (g/kg MO) = - 2,8683 + 32,912x – 7,7192x^2 (r^2 = 0,40), CH_4 (g/kg MOD) = - 12,43 + 64,171x – 14,877x^2 (r^2 = 0,34), CH_4 (%EB) = - 1,1213 + 9,5237x – 2,2257x^2 (r^2 = 0,41) e CH_4 (%ED) = - 3,7233 + 19,217x – 4,455x^2 (r^2 = 0,34).

De acordo com Olson et al. (2000), a emissão de CH_4 por bovinos de corte com animais em pastagens nativas foi de 9,9 g/h, contra 5,6 g/h, em média, observada no presente experimento. Os autores não verificaram diferença significativa nas taxas de emissão de metano (g/h) quando a qualidade dos pastos foi melhorada pela introdução de espécies forrageiras de maior valor nutricional. Os autores afirmaram que talvez isso seja reflexo do baixo poder seletivo desses animais, levando-se em consideração os parâmetros individuais e lotação adequada à oferta de forragem.

Estudos realizados em gaiolas metabólicas com novilhas zebuínas, Kurihara et al. (1999) verificaram que as emissões de CH_4 foram de 160 e 257 g/animal/dia, ou 0,42 e 0,71 g/kg de PV, com dieta a base de grãos ou com forrageira de clima temperado, respectivamente. No mesmo experimento, utilizando forrageira tropical de pior qualidade, os autores observaram perda de peso dos animais, com emissão de 0,32 g/kg de PV ou 113 g/animal/dia. A média geral de emissão de CH_4, no presente experimento foi de 134,97 g/animal/dia e 0,34 g/kg de PV, assemelhando-se aos valores obtidos pelos autores. Primavesi et al. (2004b) obtiveram valores similares ao de Kurihara et al. (1999), ao alimentarem novilhas mestiças com pastagem de capim *Brachiaria* sp. de melhor qualidade que a utilizada no presente experimento.

Sundstol (1981) afirmou que o estádio de maturidade, método de conservação e processamento físico dessa forragem também influenciam em maior ou menor produção de metano. Em geral, sua produção tende a aumentar quanto maior for o estádio de maturação da planta ingerida. Entretanto, no presente experimento o feno com estádio de maturação intermediário (45º dia de corte) resultou em maior produção de metano por kg de MS consumida. Esse fato, pode ser devido a baixa qualidade observada no feno cortado com 45 dias.

Moss, Givens e Garnsworthy (1995) destacaram que a produção de metano ruminal está diretamente relacionada com o consumo de MS, mas essa medida deve ser feita quando a fonte de MS não varia, principalmente com relação ao conteúdo e a qualidade da fibra da ração. Contrariamente, no presente experimento, o feno mais novo (15º dia de corte) emitiu menor quantidade de metano por kg de MS ingerida e o feno intermediário (45º dia de corte) maior, mas o consumo de MS foi maior no feno do 15º dia do que no feno do 45º dia.

A relação entre a produção de metano e o consumo de matéria seca para animais alimentados com dietas com alta concentração de grãos ou forragens tropicais resultou em 27 e 34 g de metano/kg de MS, respectivamente (HOWDEN; REYENGA, 1999). A maior produção de metano (feno do 45º dia) obtida, neste experimento, foi 23,41 g/kg MS, menor que a citada pelos autores acima.

Kurihara et al. (1999) estudaram a amissão de metano por bovinos da raça *Brahman* alimentados com três dietas distintas: feno de baixa qualidade, feno de alta qualidade e dieta rica em grãos. Os autores notaram maior ingestão de matéria seca (MS) para as dietas de feno de alta qualidade e dieta rica em grãos (7,07 e 7,31 kg/dia, respectivamente), sendo que o menor consumo foi observado nos animais que receberam a dieta com feno de baixa qualidade, (3,58 kg/dia). Os autores observaram que o maior consumo de MS acarretou em maiores produções diárias em gramas de metano, fato que não foi observado no presente estudo onde a emissão de metano em g/dia não varia com os tratamentos, apesar das diferenças no consumo. Porém, ao avaliarem a produção de metano em gramas por quilo de matéria orgânica digestível (g/kgMOD), observaram valores de 75,4, 64,6 e 32,1 g/KgMOD, para feno de baixa qualidade, alta qualidade e dieta à base de grãos, respectivamente. No presente estudo, a produção de metano em gramas por quilo de matéria orgânica digestível (g/kgMOD) obtida com o feno de 15 e 45 dias de corte foi de 36,86 g/kgMOD e 56,4 g/kgMOD, respectivamente.

Resultados apresentados por Moss (2001) evidenciaram que o maior consumo de matéria orgânica digestível no rúmen deve levar a maior produção de CH_4 por animal, mas também resulta em maior eficiência produtiva e, conseqüentemente, menor emissão de metano por unidade de produto (leite ou carne) ou por ciclo produtivo.

O porcentual de CH_4 produzido a partir da energia bruta ingerida foi estimado entre 5,5% e 6,5% na América do Norte e leste europeu (USEPA, 2000). Kurihara et al. (1999) concluíram que em animais alimentados com gramíneas de baixa qualidade, a perda de energia na forma de metano foi de 10,4%, enquanto que nos animais alimentados com dieta alta em grãos, a perda foi de 6,7%. O IPCC (1995) previu perdas de 7% da energia bruta da dieta quando os animais são alimentados com gramíneas tropicais de baixa qualidade e 6% quando alimentados com forrageiras de clima temperado de alta qualidade ou com dietas contendo grãos. As perdas de energia bruta na forma de metano, observadas neste experimento, chegaram a 9,02% com o feno do 45º dia de corte, maior do que o previsto pelo IPCC (1995) e menor do que os obtidos por Kurihara et al. (1999). Para Primavesi et al.

(2004b), esse valor chegou a 8,3% para vacas holandesas em lactação e 10,6% para as mestiças.

5 CONCLUSÕES

Não foi possível demonstrar que a digestão da fibra foi afetada pela idade de corte dos fenos. Tão pouco os parâmetros de fermentação ruminal também não foram influenciados pelas idades de corte dos fenos.

A qualidade do volumoso não afeta a emissão de metano por animal, mas afeta o consumo de matéria seca, o que resulta em diferenças na emissão de metano por unidade de matéria seca ou de nutrientes ingeridos.

6 RESUMO

Objetivou-se avaliar a taxa de emissão de metano (CH_4) pela técnica do gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF_6) e fermentação ruminal dos animais alimentados com feno de *Brachiaria brizantha* em diferentes estádios de crescimento. Os três tratamentos foram: I- Feno de *Brachiaria brizantha* com 15 dias de maturação, II- Feno de *Brachiaria brizantha* com 45 dias de maturação e III- Feno de *Brachiaria brizantha* com 90 dias de maturação. Seis bovinos da raça nelore, machos, castrados, canulados no rúmen e com peso médio inicial de 402 ± 51,62 kg foram utilizados em delineamento em quadrado latino 3x3 duplicado. O experimento teve duração total de 60 dias. A adaptação às dietas durou 7 dias. No oitavo dia foram feitas coletas de fezes (5 dias) e mensuração do consumo voluntário para determinação da digestibilidade total *in vivo* dos alimentos. No 13° dia iniciaram-se as coletas de metano (7 dias) através da técnica do gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF_6). No 20° dia foram tomadas amostras do líquido ruminal às 0, 2, 4, 6, 8 e 10 horas após a primeira alimentação para determinação do potencial hidrogeniônico (pH), N-amoniacal e ácidos graxos voláteis do líquido ruminal. A idade de corte não afetou substancialmente a concentração total ou a proporção molar dos AGV, bem como o pH, embora a concentração de $N\text{-}NH_3$ ruminal tivesse diminuído com o avanço da idade de corte. Para os dados de digestão, apenas a digestibilidade da PB aumentou e os dados dos CNF diminuíram com o avanço da idade. A produção de metano por animal/dia não foi afetada pela idade de corte do capim. Os animais alimentados com o feno produzido com 45 dias de crescimento do capim apresentaram diminuição de consumo de MS, o que resultou em maior produção de metano por unidade de MS ingerida.

Palavras–chave: Ácidos graxos voláteis. Canulados. Gaiolas metabólicas. Hexafluoreto de enxofre. Ruminantes.

7 ABSTRACT

The objective was to evaluate methane (CH_4) emission rate by sulfur hexafluoride (SF_6) tracer technique in bovines of the Nelore breed fed with *Brachiaria brizantha* hay in different maturation stages. The three treatments wore: I- Hay of *Brachiaria brizantha* with 15 days of maturation, II- Hay of *Brachiaria brizantha* with 45 days of maturation and III- Hay of *Brachiaria brizantha* with 90 days of maturation. Six bovines of the Nelore breed, males, castrated, rumen-cannulated, and 402 ± 51,62 kg of initial average weight had been used in a duplicated 3X3 latin square design. Trial lasted 60 days. The adaptation to the diets lasted 7 days. In the eighth day excrement collections (5 days) and feed sampling were done. In 13th day the methane collections were initiated using the sulfur hexafluoride (SF_6) tracer technique. The 20th day was used for ruminal fluid sampling at 0, 2, 4, 6, 8, and 10 hours after 1st meal for determination of pH, amoniacal-N, and volatile fatty acids in ruminal fluid. The cutting ages did not affect the total concentration substantially or the molar ratio of the VFA, as well as pH, even so the ruminal concentration of NH_3-N decreased as the cutting ages increased. For the digestion data, only the digestibilidade of the CP increased and the data of the NFC decreased as the cutting ages increased. The methane production for animal/day was not affected by the different cutting ages. The animals fed with the hay produced with 45 days of age had presented reduction of DM intake, what it resulted in bigger methane production for unit of DM intake.

Key words: Cannulated. Metabolic cages. Ruminants. Sulfur hexafluoride. Volatile fatty acids.

REFERÊNCIAS

ALVES, D. D. **Desempenho produtivo e características de carcaças de bovinos zebu e cruzados Holandês-zebu (F1), nas fases de recria e terminação**. 2001. 77 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 2001.

AOAC. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 10.ed. Washington, D.C.: Association of Analytical Chemistry. 1980. 1015 p.

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

DEMARCHI, J. J. A. A.; MANELLA, M. Q.; LOURENÇO, A. J.; ALLEONI, G. F.; FRIGHETO, R. S.; PRIMAVESI, O; LIMA, M. A. Daily methane emission at different seasons of the year by Nelore cattle in Brazil grazing *Brachiaria brizantha* cv. Marandu - Preliminary results. In: WORLD CONFERENCE ON ANIMAL PRODUCTION, 9., 2003, Porto Alegre. **Anais…** Porto Alegre: World Conference on Animal Production, 2003. [Cd-room].

ERWIN, E. S.; MARCO, G. J.; EMERY, E. M. Volatile fatty acid analyses of blood and rumen fluid by gas chromatografhy. **Journal of Dairy Science**, v. 44, n. 9, p. 1768-1771, 1961.

FOLDAGER, J. **Protein requirement and non protein nitrogen for high producing cow in early lactation.**, 1977. 167 p. Tese (Doutorado em Ciência Animal) - Michigan State University, East lansing, 1977.

HALL, M. B. Recent advanced in non-NDF carbohydrates for the nutrition of lactating cows. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL EM BOVINOS DE LEITE, 2., 2001, Lavras. **Anais…** Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2001. p. 139-148.

HOLTER, J. B.; YOUNG, A. J. Nutrition, feeding and calves: methane prediction in dry and lactating Holstein cows. **Journal of Dairy Science**, v. 75, n. 8, p. 2165-2175, 1992.

HOWDEN, S. M.; REYENGA, P. J. Methane emissions from Australia livestock: Implications of Kyoto Protocol. **Australian Journal of Agricultural Research,** v. 50, n. 8, p. 1285-1291, 1999.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 1994**: Radioactive Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios. Cambridge: University Press, 1995. 339 p.

ÍTAVO, L. C. V.; VALADARES FILHO, S. C.; SILVA, F. F. Níveis de concentrado e proteína bruta na dieta de bovinos Nelore nas fases de recria e terminação: consumo e digestibilidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 2, p. 1033-1041, 2002.

JOHNSON, K. A.; JOHNSON, D. E. Methane emissions from cattle. **Journal Animal Science,** v. 73, n. 8, p. 2483-2492, 1995.

KULASEK, G. A micro method for determination of urea in plasma, whole blood and blood cells using urease and phenol reagent. **Polskie Archiwum Weterynaryjne**, v. 15, n. 4, p. 801-810, 1972.

KURIHARA, M.; MAGNER, T.; HUNTER, R. A.; MCCRABB, G. J. Methane production and energy partition of cattle in tropics. **British Journal of Nutrition**, v. 81, n. 3, p. 227-234, 1999.

MERTENS, D. R. Analysis of fiber in feeds and its use in feed evaluation and ration formulation. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE RUMINANTES, 1992, Lavras, MG. **Anais…** Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1992. p. 1-32.

MERTENS, D. R. Regulation of forage intake. In: FAHEY JR., G. C. (Ed.). **Forage quality, evaluation and utilization**. Madison: American Society of Agronomy. 1994. p. 450-493.

MOSS, A. R. Enviromental control of methane production by ruminants. In: INTERNACIONAL CONFERENCE ON GREENHOUSE GASES AND ANIMAL AGRICULTURE – GGAA, 1., 2001, Hokkaido. **Proceedings…** Hokkaido: Greenhouse Gases and Animal Agriculture. 2001. p. 35-43.

MOSS, A. R.; GIVENS, D. I.; GARNSWORTHY, P. C. The effect of supplementing grass silage with barley on digestibility, in sacco degradability, rumen fermentation and methane production in sheep at two levels of intake. **Animal Feed Science and Technology**, v. 55, n. 1, p. 9-33, 1995.

MOULD, F. L.; ORSKOV, E. R.; MANN, S. O. Associative effects of mixed feeds, 2. The effect of dietary additions of bicarbonate salts on the voluntary intake and digestibility of diets containing various proportions of hay and barley. **Animal Feed Science and Technology**, v. 10, n. 1, p. 31-47, 1983.

NRC. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirement of beef cattle**. 7. ed. Washington : National Academy Press, 1996. 242 p.

NRC. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requeriments of dairy cattle**. 7.rev.ed. Washinton, D.C.: 2001. 381p

OLSON, K. C.; BANNER, R. E.; WIEDMEIER, R. D. Reducing methane emission from beef cow herds in range-based management systems. In: **Final report to the ruminant livestock efficiency program atmospheric pollution prevention division United States Environmental Protection Agency**. Utah State University: Logan, 2000. 31 p.

ORSKOV, E. R. **Protein nutrition in ruminants.** London: Academic Press, 1982. 160 p.

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 (SF_6)**. 2004. 136p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista, 2004.

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**, v. 39, n. 3, p. 277-283, 2004b.

PRIMAVESI, O.; FRIGHETO, 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 SF_6 para medição de campo do metano ruminal em bovinos: adaptações para o Brasil**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2004a. n. 39, 77 p.

RENNÓ, L. N. **Consumo, digestibilidade total e parcial, produção microbiana, parâmetros ruminais e excreções de uréia e creatinina em novilhos alimentados com dietas contendo quatro níveis de uréia ou dois níveis de proteína**. 2003. 252 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

RUSSELL, J. B.; O'CONNOR, J. D.; FOX, D. G.; VAN SOEST, P. J.; SNIFFEN, C. J. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminal fermentation. **Journal Animal Science**, v. 70, n. 11, p. 3551-3561, 1992.

SAS. STATISTICAL ANALISYS SYSTEM FOR WINDOWS. -, **SAS Institute.** Version 8.02. Cary: SAS, 2001.

SILVA, C. J. F.; LEÃO, M. I. **Fundamentos de nutrição dos ruminantes**. Piracicaba: Livroceres, 1979. 380 p.

SLYTER, L. L.; SATTER, L. D.; DINIUS, D. A. Effect of ruminal concentration on nitrogen utilization by steers. **Journal of Animal Science**, v.48, n.4, p.906-912, 1979.

SUNDSTOL, F. Methods for treatment of low quality roughages. In: KATEGILE, J. A.; SAND, A. N.; SUNDSTOL, F. **Utilization of low-quality roughages in Africa**. **Agricultural University of Norway.** Norway: As-NLH, 1981. p. 61-80.

USEPA. UNITED STATES ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY. –. Evaluating Ruminant Livestock Efficiency Projects and Programs. In: **Peer Review Draft**. Washington, D.C.: USEPA, 2000. 48 p.

VALADARES, R. F. D.; GONÇALVES, L. C.; RODRIGUEZ, N. M.; SAMPAIO, I. B. M.; VALADARES FILHO, S. C.; QUEIROZ, A. C. Níveis de proteína em dietas de bovinos, 1. Consumo e digestibilidades aparentes totais e parciais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 26, n. 6, p. 1252-1258, 1997.

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

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Symposium: Carboydrate metodoloy, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v. 74, n. 10, p. 3583-3597, 1991.

WESTBERG, H. H.; JOHNSON, K. A.; COSSALMAN, M. W.; MICHAL, J. J. **A SF_6 tracer technique: methane measurement from ruminants**. 2. revisão. Relatório. Pullman-Washington: Washington State University, 1998. 40p.

CAPÍTULO V

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção de CH_4 em bovinos consiste na perda da eficiência energética obtida através dos alimentos. Essa perda varia de acordo com a quantidade e qualidade do alimento ingerido e com as várias modalidades e condições dos sistemas de criação dos ruminantes.

Uma das principais indicações para a redução da produção de CH_4 por bovinos parece ser o fornecimento de alimentos de melhor qualidade.

A identificação e quantificação dos fatores que determinam a eficiência do processo fermentativo ruminal e a emissão de produtos poluidores é fundamental para que haja uma meta para reduzir a emissão de gases poluidores para a atmosfera.