

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

**VALOR NUTRICIONAL DO CAPIM-ELEFANTE
VERDE EM DIFERENTES IDADES DE CORTE**

ALEX DE MATOS TEIXERA

Belo Horizonte

2013

ALEX DE MATOS TEIXERA

**VALOR NUTRICIONAL DO CAPIM-ELEFANTE VERDE EM DIFERENTES
IDADES DE CORTE**

**Tese apresentada ao departamento
de Zootecnia da Escola de
Veterinária da Universidade
Federal de Minas Gerais, como
requisito parcial para obtenção do
grau de Doutor em Zootecnia. Área
de Concentração: Nutrição Animal**

Orientador: Prof.: Lúcio Carlos Gonçalves

**Belo Horizonte – Minas Gerais
Escola de Veterinária – UFMG**

2013

Ficha catalográfica

Folha de aprovação/Banca examinadora

"O sucesso geralmente vem para aqueles que estão muito ocupados para estarem procurando por ele."

(Henry David Thoreau)

AGRADECIMENTOS

À Deus por tudo.

À minha mãe pelo exemplo de luta, amor incondicional, educação, confiança, enfim, pela pessoa que hoje sou.

Ao meu pai e meu irmão pelo exemplo de profissional, amizade e companheirismo.

Ao professor Lúcio Carlos Gonçalves pela oportunidade, orientação, ensinamentos e confiança.

Aos companheiros de batalha Gabriel e Frederico pela amizade.

À Mônica, pelo seu apoio incondicional em todos os momentos, amor e companheirismo e também à sua família, pelo acolhimento e por torcerem por mim.

Aos amigos do grupo: Daniel, Cristiano, Roberto Guimarães, Roberto Camargos, Wilson, Wellington, André, Matheus, Diego pelo convívio e coleguismo.

Ao Professor Diogo pelos conselhos e pela contribuição para a vida profissional e pessoal.

Ao Carlos pela amizade e colaboração imprescindível.

À Kelly, ao Toninho e ao Marcos do LAB-NUTRI pela colaboração com as análises.

Aos professores Iran, Norberto, Thierry e Luiz Gustavo pelos ensinamentos e por estarem sempre prontos a colaborar.

Aos professores e funcionários da Escola de Veterinária que contribuíram neste trabalho.

Aos membros do Colegiado de Pós-Graduação e Departamento de Zootecnia, pela disponibilidade.

Ao CNPq, FAPEMIG e CAPES pelo apoio financeiro.

A todos que participaram deste trabalho e torceram por mim.

Muito obrigado.

Sumário

RESUMO GERAL	12
ABSTRACT	13
CAPÍTULO I.....	14
1.1. Introdução geral.....	14
CAPÍTULO II.....	16
REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1. O capim-elefante	16
2.2. Classificação e caracterização da planta	16
2.3. Potencial de produção e valor nutricional	17
2.4. Degradabilidade ruminal <i>in situ</i>	18
2.4.1. Fontes de variação da técnica.....	19
2.4.1.1. Porosidade e material do saco	19
2.4.1.2. Dieta	20
2.4.1.3. Animal	20
2.4.1.4. Moagem da amostra	21
2.4.1.5. Preparo da amostra	21
2.4.1.6. Relação peso da amostra:área do saco	21
2.4.1.7. Ordem de incubação.....	21
2.4.1.8. Contaminação microbiana.....	22
2.4.2. Modelagem na degradabilidade <i>in situ</i>	22
2.5. Técnica <i>in vitro</i> de produção de gases.....	24
2.5.1. Fontes de variação da técnica.....	25
2.5.1.1. Preparo da amostra	25
2.5.1.2. Condições do meio de cultura	26
2.5.1.3. Líquido ruminal.....	26
2.5.1.4. Origem dos gases	26
2.5.2. Modelagem da cinética de produção de gases.....	27
2.6. Metabolismo de energia	28
2.6.1. Partição da energia dos alimentos	28
2.6.2. Eficiência de utilização da energia.....	31
2.6.2.1. Metabolizabilidade	31
2.6.2.2. Eficiência de utilização (K).....	32
2.6.3. Técnicas para estudo de metabolismo	32
2.7. Emissão de metano entérico por ruminantes	34
2.7.1. Micro-organismos metanogênicos	35

2.7.2.	Vias de fermentação que produzem ou utilizam H ₂	36
2.7.3.	Importância do metano para o ambiente ruminal	38
2.7.4.	Influência da metanogênese sobre o metabolismo energético no animal.....	39
2.7.5.	Técnicas de mensuração.....	40
2.8.	Referências bibliográficas	40
Capítulo III – Experimento I		54
Degradabilidade in situ dos componentes nutricionais do capim-elefante verde em diferentes idades de corte		54
3.1.	Resumo.....	54
3.2.	Introdução	54
3.3.	Material e métodos	55
3.3.1.	Colheita do material	55
3.3.2.	Procedimento experimental.....	56
3.3.3.	Procedimento laboratorial	57
3.3.4.	Procedimento estatístico.....	58
3.4.	Resultados e discussão	60
3.4.1.	Valor nutricional do capim-elefante.....	60
3.4.2.	Matéria seca	62
3.4.3.	Proteína bruta	63
3.4.4.	Fibra insolúvel em detergente neutro	64
3.5.	Conclusões	65
3.6.	Referências bibliográficas	66
Capítulo IV – Experimento II.....		69
Cinética de fermentação ruminal in vitro do capim-elefante verde em diferentes idades de corte		69
4.1.	Resumo.....	69
4.2.	Introdução	69
4.3.	Material e métodos	70
4.3.1.	Procedimento experimental.....	70
4.3.2.	Procedimento laboratorial	70
4.3.3.	Procedimento estatístico.....	71
4.4.	Resultados e discussão	73
4.5.	Conclusões	78
4.6.	Referências bibliográficas	78
Capítulo V – Experimento III.....		80

Partição da energia e produção de metano em ovinos alimentados com capim-elefante verde colhido em diferentes idades de corte.....	80
5.1. Resumo.....	80
5.2. Introdução	80
5.3. Material e métodos	81
5.3.1. Procedimento experimental.....	81
5.3.2. Procedimento laboratorial	82
5.3.3. Calorimetria.....	83
5.3.4. Cálculos.....	84
5.3.5. Procedimento estatístico.....	86
5.4. Resultados e discussão	86
5.4.1. Consumo de energia.....	86
5.4.2. Perdas energéticas	88
5.4.3. Eficiência de utilização da energia.....	91
5.4.4. Teores de energia	92
5.4.5. Respirometria	93
5.4.6. Produção de metano entérico	95
5.5. Conclusões	97
5.6. Referências bibliográficas	98
CAPÍTULO VI.....	102
CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	102

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO III

Tabela 01. Análise de variância para o delineamento de blocos ao acaso com parcelas subdivididas.....	60
Tabela 02. Composição química e valores de energia bruta do capim-elefante em três idades de corte.....	60
Tabela 03. Parâmetros de degradabilidade ruminal e degradabilidade efetiva da matéria seca do capim-elefante verde cortado aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.....	62
Tabela 04. Parâmetros de degradabilidade ruminal e degradabilidade efetiva da proteína bruta do capim-elefante verde cortado aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.....	64
Tabela 05. Parâmetros de degradabilidade ruminal e degradabilidade efetiva da fibra insolúvel em detergente neutro do capim-elefante verde cortado aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.....	65

CAPÍTULO IV

Tabela 01. Análise de variância para o delineamento de blocos ao acaso com parcelas subdivididas.....	72
Tabela 02. Produção acumulativa de gases (PAG) em ml/g de matéria seca (MS) após 6, 12, 24, 48 e 96 horas de fermentação para o capim-elefante verde cortado aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.....	74
Tabela 03. Degradabilidade da matéria seca e matéria orgânica em porcentagem (%), após 6, 12, 24, 48 e 96 de fermentação para o capim-elefante verde cortado aos 56, 84 e 112 dias.....	76
Tabela 04. Parâmetros da cinética de fermentação ruminal e degradabilidade efetiva da matéria seca para o capim-elefante verde cortado aos 56, 84 e 112 dias de crescimento...77	77
Tabela 05. Equações geradas pelas análises de regressão ao modelo de France <i>et al.</i> (1993) dos dados de produção acumulada de gases (y) do capim-elefante verde cortado aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.....	77

CAPÍTULO V

Tabela 01. Análise de variância para o delineamento inteiramente casualizado.....	86
Tabela 02. Valores médios do consumo de matéria (CMS) em gramas/unidade de tamanho metabólico (UTM)/dia, consumo de energia bruta (CEB), consumo de energia digestível (CED), consumo de energia metabolizável (CEM), consumo de energia líquida (CEL) e	

balanço de energia (BE) em Kcal/UTM/dia do capim-elefante verde cortados aos 56, 84 e 112 dias.....	87
Tabela 03. Valores médios das perdas diárias de energia bruta nas fezes, na urina, na forma de metano (CH ₄) e de incremento calórico (IC) em Kcal/UTM/dia e em percentagem da energia bruta consumida (% EB) por ovinos alimentados com capim-elefante verde cortado aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.....	88
Tabela 04. Valores médios de digestibilidade aparente da energia bruta em % (DAEB), metabolizabilidade (q _m), eficiência de uso da energia metabolizável para manutenção (K _m) e razão entre energia líquida e energia bruta em %, do capim-elefante verde cortado aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.....	91
Tabela 05. Valores médios de energia bruta (EB), de energia digestível (ED), de energia metabolizável (EM) e de energia líquida (EL), em Mcal por Kg de matéria seca consumida (Mcal/ Kg de MS) do capim-elefante verde cortado aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.....	92
Tabela 06. Valores médios da produção de metano (CH ₄) e gás carbônico (CO ₂), e consumo de oxigênio (O ₂) em litros por unidade de tamanho metabólico por dia (L/UTM/dia), produção diária de calor (PC) em Kcal/UTM/dia e coeficiente respiratório (CR) de ovinos alimentados com capim-elefante verde cortado aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.....	94
Tabela 07. Valores médios para formação de metano (CH ₄) em litros por dia (L/dia), em gramas por unidade de tamanho metabólico por dia (g/UTM/dia) e em gramas por Kg de matéria seca (MS), matéria seca digestível (MSD), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e fibra insolúvel em detergente neutro digestível (FDND) consumido por ovinos alimentados com capim-elefante verde cortado aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.....	95
Tabela 08. Estimativa da emissão anual de metano por ovinos alimentados em nível de manutenção com diferentes forrageiras tropicais.....	96
Tabela 09. Estimativa da perda de energia em percentagem da energia bruta ingerida por ovinos alimentados em nível de manutenção com diferentes forrageiras tropicais.....	97

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

- Figura 01. Energia bruta resultante da completa combustão de alimentos purificados.....29
- Figura 2. Fermentação de carboidratos por *Ruminococos albus* na presença e na ausência de metanogênicas.....39

CAPÍTULO III

- Figura 01. Condições climáticas durante o período de crescimento do capim-elefante.....56

CAPÍTULO IV

- Figura 01. Produção estacionária de gases em ml do capim-elefante verde em três diferentes idades (56, 84 e 112 dias).....73
- Figura 02. Produção cumulativa de gases do capim-elefante verde em três diferentes idades (56, 84 e 112 dias).....75

RESUMO GERAL

Objetivou-se com este trabalho determinar o valor nutricional do capim-elefante verde cortado aos 56, 84 e 112 dias de crescimento. Para tal foi conduzido experimento com a técnica de incubação *in situ* (experimento I) e outro com a técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases (experimento II) e ensaio de calorimetria indireta (experimento III). O capim-elefante colhido aos 56 dias apresentou maiores valores para a fração rapidamente degradável no rúmen da matéria seca (22,52%) e da proteína bruta (45,09%). As taxas constantes de degradação da matéria seca foram de 4,08; 3,29 e 2,25%/hora para o capim cortado aos 56, 84 e 112 dias, respectivamente. A degradabilidade potencial da proteína bruta variou entre 56,52 e 84,80% para o capim colhido aos 56 e 112 dias, respectivamente. A taxa constante de degradação da fibra insolúvel em detergente neutro reduziu em função do avanço da idade de corte, variando de 3,89 a 2,03%/hora. Houve efeito negativo do estágio de maturação da planta sobre a cinética de fermentação ruminal avaliado por meio da técnica “*in vitro*” semi-automática de produção de gases. O capim cortado aos 56 dias apresentou maior valor de produção cumulativa de gases (210,50 ml/g de matéria seca) e de degradabilidade da matéria seca (63,8%) após 96 horas de fermentação, sendo os capins colhidos nas demais idades semelhantes. O potencial máximo de produção de gases variou entre 187,98 e 200,13 ml/g de matéria seca. O consumo de matéria seca, energia bruta, digestível e metabolizável de ovinos alimentados com o capim cortado aos 56 dias foi superior aos demais tratamentos que não variaram entre si. O consumo de energia líquida variou entre 88,07 e 137,35 Kcal/UTM/dia. Todos os balanços de energia foram positivos. A menor perda de energia nas fezes e as maiores perdas na forma de metano e incremento calórico foram encontradas para animais alimentados com o capim cortado aos 56 dias de idade. As perdas de energia na forma de fezes, urina, metano e incremento calórico variaram entre 29,89 e 42,03%; 1,78 e 2,33%; 4,21 e 6,11%; 6,83 e 19,53% da energia bruta ingerida, respectivamente. Os maiores valores de metabolizabilidade da energia bruta (0,62) e eficiência de utilização da energia líquida para manutenção (0,86) foram obtidos para o capim-elefante cortado aos 56 e 112 dias de crescimento, respectivamente. Os animais alimentados com o capim colhido após 56 dias de rebrota consumiram mais oxigênio e produziram mais dióxido de carbono e metano. As emissões de metano em gramas por quilo de matéria seca digestível (27,2 g/Kg) e fibra insolúvel em detergente neutro digestível (22,4 g/Kg) foram semelhantes entre as idades de corte. Em função do maior potencial de degradação ruminal e digestibilidade da energia, o capim-elefante cortado aos 56 dias apresentou maior valor nutricional. Sendo assim, o momento ideal para a utilização do capim-elefante como forrageira para corte ocorre aos 56 dias de crescimento.

Palavras-chave: calorimetria indireta, cinética de fermentação, digestibilidade, metano

ABSTRACT

This study was undertaken to evaluate the nutritional value of fresh elephant grass harvested with different regrowth ages (56, 84 and 112 days). To achieve this objective three experiments were carried out: *in situ* digestion kinetics (experiment I), semi-automated *in vitro* gas production technique (experiment II), and indirect calorimetry assay (experiment III). The elephant grass harvested with 56 days of regrowth had higher values of dry matter (22.52%) and crude protein (45.09%) readily digested fraction. The rates of dry matter digestion were 4.08, 3.29 and 2.25%/hour for 56, 84 and 112 days of regrowth, respectively. The crude protein potentially digestible fraction ranged from 56.52 to 84.80% for the grass harvested with 56 and 112 days, respectively. The neutral detergent fiber rate of digestion decreased with maturity, ranging from 3.89 to 2.03%/hour. Maturity of the grass affected negatively rumen fermentation kinetics evaluated through the semi-automated *in vitro* gas production technique. The grass harvested with 56 days had higher cumulative gas production (210.50 ml/g dry matter) and dry matter disappearance (63.8%) at 96 hours of incubation, and the other regrowth ages of the grass did not differ between themselves. The maximum potential of gas production varied between 187.98 and 200.13 ml/g of dry matter. Sheep fed elephant grass with 56 days of regrowth had higher dry matter and gross, digestible and metabolizable energy intakes, and the other regrowth ages did not differ between themselves. Net energy intake ranged from 88.07 to 137.35 Kcal/BW^{0.75}/day. The energy balances of the sheep from all treatments were positive. Sheep fed elephant grass harvested with 56 days of regrowth had the lowest energy loss in feces; however had the greatest energy losses as methane and heat. The energy losses as feces, urine, methane and heat varied from 29.89 to 42.03%, 1.78% to 2.33, 4.21 to 6.11% and 6.83 to 19.53% of gross energy intake, respectively. The highest values of gross energy metabolizability (0.62) and net energy use efficiency for maintenance (0.86) was obtained for elephant grass harvested with 56 and 112 days of regrowth. The sheep fed elephant grass harvested with 56 days of regrowth had higher oxygen consumption and produced more carbon dioxide and methane. Methane emissions by sheep in g/kg of digestible dry matter (27.2 g / kg) and digestible neutral detergent fiber (22.4 g / kg) did not differ with increasing grass regrowth age. Due to higher total potentially digestible fraction and energy digestibility elephant grass harvested with 56 days of regrowth had a higher nutritional value. In conclusion, elephant grass should be harvest with 56 days of regrowth for better nutrient use as fresh forage.

Keywords: digestibility, fermentation kinetics, indirect calorimetry, methane

CAPÍTULO I

1.1. Introdução geral

No país, com frequência, as plantas forrageiras constituem a principal fonte de nutrientes necessários à manutenção, crescimento e/ou produção dos ruminantes. Com grande parte do território na faixa tropical, predominam no Brasil as gramíneas do tipo C4, as quais apresentam elevada eficiência fotossintética e acelerada velocidade de crescimento. A escolha da gramínea a ser implementada no sistema de produção deve ser pautada nas condições de clima e solo da região, porém sem deixar de lado questões como produtividade e valor nutricional.

Dentre estas gramíneas, o capim-elefante (*Pennisetum purpureum Schum.*) exerce papel de destaque por apresentar um dos maiores potenciais de produção de biomassa. De origem africana, este capim foi inicialmente utilizado como capineira, para fornecimento como forragem picada verde ou conservada, sendo versátil quanto às formas de utilização (capineira, silagem, feno, pastagem).

Apesar do crescente interesse por forrageiras com elevado potencial produtivo, a qualidade nutricional do volumoso tem grande impacto sobre o desempenho dos animais e, conseqüentemente, sobre o resultado financeiro do sistema. Em se tratando de gramíneas forrageiras, o valor nutricional está muito associado à idade de corte da planta. Assim como em outras gramíneas forrageiras, o capim-elefante apresenta um declínio da qualidade nutricional em função do aumento da idade de rebrota, devido a modificações na estrutura e na composição química da planta. Quanto à estrutura, a planta passa a apresentar maior relação colmo/folha, enquanto que na composição química as principais modificações se referem aos teores de carboidratos estruturais e lignina, além das interações entre eles. Estas características irão influenciar negativamente o consumo e a digestibilidade da forrageira, tornando-se importante a busca do melhor momento de utilização para cada gramínea.

Com o constante melhoramento genético e conseqüentemente aumento do potencial de produção dos animais, tem-se tornado importante uma determinação mais precisa e acurada da energia do alimento que de fato estará disponível para o animal. Diferentes técnicas podem ser utilizadas para avaliação do valor nutricional das plantas forrageiras. Metodologias como a técnica de degradabilidade ruminal *in situ* e técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases têm como vantagens o fato de serem menos trabalhosas e menos onerosas, além de utilizarem um menor volume de amostra.

Entretanto, o critério mais adequado atualmente para expressar as exigências de energia dos animais e o valor energético dos alimentos, nos cálculos de ração, é o sistema de energia líquida. Na maioria dos sistemas nutricionais que se baseiam no conceito de energia líquida, o ponto de partida é a energia metabolizável. O sistema de energia líquida permite quantificar a energia do alimento utilizada para os processos metabólicos

envolvidos na manutenção, gestação e/ou produção animal, garantido formulações de dietas mais precisas.

Objetivou-se com este estudo determinar o melhor momento para utilização do capim-elefante verde como forrageira de corte, por meio de ensaios de bioenergética, degradabilidade *in situ* e a cinética de fermentação ruminal.

CAPÍTULO II

REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O capim-elefante

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) é uma das mais importantes forrageiras, sendo cultivado em quase todas as regiões tropicais e subtropicais do mundo, devido ao seu elevado potencial de produção de massa seca, qualidade, aceitabilidade, vigor e persistência (PEREIRA *et al.*, 2010). De ocorrência natural, ao longo dos vales férteis com precipitação acima de 1000 mm anuais no continente africano (Guiné, Moçambique, Quênia, Angola e Zimbábue) (BRUNKEN, 1977), esta gramínea teve seu descobrimento e divulgação realizados pelo coronel Napier (GRANATO, 1924; BENNET, 1976).

Introduzida no Brasil em 1920, no Rio Grande do Sul, a partir de estacas procedentes de Cuba (MOZZER, 1993), esta gramínea passou a ter utilização expressiva apenas na década de 70, com a ampliação do sistema de eletrificação rural brasileiro e com o maior uso de máquinas picadoras de forragem (FARIA, 1994). A sua rápida disseminação está relacionada ao bom valor nutritivo e elevadas eficiências fotossintéticas, traduzidas por uma capacidade de produção de até 300t/ha/ano de matéria verde, (CARVALHO, 1985). Trazida ao Ocidente, tornou-se conhecida pelo nome de seu descobridor, embora existam outras denominações, como pasto elefante, pasto gigante, capim cana africana, cameroon, mineiro, entre outros, (PEREIRA, 1994).

2.2. Classificação e caracterização da planta

O capim-elefante pertence à classe *Monocotyledonae*, à família *Gramineae*, à subfamília *Panicoideae*, à tribo *Paniceae*, sendo uma das espécies (*Pennisetum purpureum*, Shumack) da secção *Pennisetum* do gênero *Pennisetum* L. Rich (XAVIER *et al.*, 1995: TCACENCO e BOTREL, 1997).

Trata-se de uma gramínea tropical perene cujas características morfológicas apresentam amplas variações fenotípicas entre os cultivares, o que fez vários autores sugerirem subdivisões da espécie. Porém, de maneira geral, esta gramínea apresenta crescimento cespitoso; colmos eretos, cilíndricos, glabros e cheios, variando de 3,5 a 6,0 metros de altura, com entrenós de 15 a 20 cm e diâmetro de até 2,5 cm; raízes grossas e rizomatosas. As folhas atingem até 1,25 m de comprimento por 4,0 cm de largura; nervura central larga e de cor mais clara; disposição alternada, bainha lanosa, fina, estriada; lígula curta e ciliada. As inflorescências, embora apresentem aparência de espigas, são classificadas como panículas espiciformes (PEREIRA *et al.*, 2010).

Exigente em relação à fertilidade do solo, o capim-elefante suporta bem a seca e queimadas, porém, não apresenta resistência ou tolerância a geadas. Desenvolve-se melhor em solos com grande capacidade de retenção de umidade, com textura variável, de moderada a pesada. Não produz bem em locais expostos à inundação ou a grandes períodos de encharcamento (FARIA, 1993). Em relação às condições climáticas, este capim desenvolve-se bem em faixas de temperaturas que variam de 18 a 30°C, precipitações pluviométricas entre 800 e 4.000 mm, e altitudes desde ao nível do mar até 2.200m (JACQUES, 1997).

2.3. Potencial de produção e valor nutricional

O capim-elefante apresenta a possibilidade de ser utilizado de diferentes formas, entre as quais estão o pastejo, capineira e forragem conservada (silagem ou feno). A capineira constitui a forma mais comum de utilização, apresentando como vantagem o maior aproveitamento da forragem disponível (PEREIRA *et al.*, 2010).

O capim-elefante é a forrageira tropical mais utilizada no sistema de forrageiras para corte, pois apresenta o maior potencial de produção de biomassa por área (RODRIGUES *et al.*, 2000), com produtividade alcançando de 80 a 90 t de matéria seca (MS)/ha/ano (FARIA, 1994).

Avaliando a produção de matéria seca dos cultivares de capim-elefante Napier e Cameroon, além de dez novos genótipos obtidos pelo programa de melhoramento genético de forrageiras da Embrapa Gado de Leite, Lima *et al.*, (2007) encontraram valores entre 7,30 e 14,50 t MS/ha para o capim colhido aos 56 dias de crescimento. Quando colhidos nesta mesma idade de corte, os capins *Brachiaria decumbens* (LOBATO, 2010) e *Andropogon gayanus* (RIBEIRO JUNIOR, 2009) produziram 3,70 e 1,77 t MS/ha, respectivamente.

Entretanto, o estabelecimento de critério de uso do capim-elefante para corte tem por base o conhecimento da curva de crescimento e do valor nutritivo em cada fase de desenvolvimento da planta (VICENTE-CHANDLER, 1973; FERREIRA, 1998). Erros no ajuste do corte com o estágio de maturidade da planta resultam na utilização de uma forragem de baixo valor nutritivo (CÓSER; PEREIRA, 2001).

De um modo geral, as gramíneas forrageiras apresentam declínio na qualidade nutricional associada ao aumento da idade de rebrota. Diferentemente das gramíneas temperadas, as gramíneas de clima tropical, ainda durante a fase de desenvolvimento vegetativo, apresentam uma característica morfogênica peculiar, o alongamento de colmo, que contribui de forma significativa para o aumento da produção de matéria seca, porém, tem importância significativa sobre a estrutura do dossel forrageiro (SBRISSIA E DA SILVA, 2001). Além destas modificações nas características estruturais, observa-se nos tecidos uma redução do conteúdo celular e aumento dos constituintes da parede celular tais como a

celulose, hemiceluloses e a lignina, resultando no espessamento da mesma (MINSON, 1990; VAN SOEST, 1994). Esta alteração seja na estrutura e/ou na composição química resultam na queda do valor nutricional de forrageiras em virtude do avanço no estágio de maturação.

Avaliando o rendimento e a qualidade do capim-elefante cultivar Roxo submetido a quatro intervalos entre cortes (40, 60, 80 e 100 dias), Queiroz *et al.* (2000) observaram um aumento da produção total de MS com os intervalos de cortes, sendo obtida uma produção de 30,90 t de MS/ha aos 100 dias. Porém, os teores de fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e fibra insolúvel em detergente ácido (FDA) aumentaram linearmente à medida que se aumentou a idade entre os cortes, indicando uma queda do valor nutricional. Esta variação no valor nutricional da forrageira esteve relacionada, pelo menos parcialmente, com a mudança na relação folha:colmo (F/C), que aos 100 dias foi de 0,8. Este decréscimo verificado na relação F/C com o aumento da idade do corte, também foi descrito por Acunha e Coelho (1994) para a cultivar Mott, à medida que o intervalo de corte aumentou de 28 para 140 dias.

Bastante utilizado no Brasil para alimentação dos ruminantes, o capim-elefante dentro de um período de tempo relativamente curto pode perder seu valor nutritivo, tornando-se muito fibrosa e pouco digestível, energeticamente deficiente (MACHADO *et al.*, 2008). Estes autores encontraram valores de proteína bruta (PB), FDN e nutrientes digestíveis totais (NDT) variando de 5,18 a 14,10%; 60,62 a 69,58% e 55,22 a 68,89%, respectivamente, para o capim-elefante cv. Cameroon com idade de rebrotação entre 33 e 93 dias. Trabalhando com diferentes genótipos colhidos aos 56 dias de crescimento, Lima *et al.* (2008) relataram teores de PB entre 10,16 e 12,54%. Estes valores estão próximos ao encontrado por Teixeira (2009) para o capim-elefante na mesma idade de corte (10,91%).

2.4. Degradabilidade ruminal *in situ*

A obtenção de avanços na nutrição de ruminantes passa por um minucioso conhecimento sobre as complexas interações que ocorrem entre os diversos componentes do alimento e os microrganismos do retículo-rúmen (THIAGO, 1994). Neste contexto, informações sobre a digestão ruminal de forragens e o conhecimento da disponibilidade dos nutrientes nesse compartimento são de fundamental importância para se estabelecer a quantidade e a proporção de nutrientes necessários para a máxima resposta microbiana e animal (NOCEK, 1988). Conforme Mertens (1987), existe uma relação direta entre a degradação ruminal e a ingestão de forragens, indicando que o conhecimento da taxa de degradação se mostra um instrumento de significativa importância na ingestão voluntária de forrageiras.

Dentre os métodos e técnicas existentes, considera-se que os ensaios *in vivo* envolvendo o consumo, a digestibilidade aparente e a produção animal representam a estratégia mais adequada para a determinação do valor nutricional de alimentos. Contudo, a técnica *in situ* possui a vantagem de ser menos trabalhosa e menos onerosa, além de utilizar um menor

volume de amostra e ser capaz de descrever a degradabilidade ruminal do alimento. Esta metodologia baseia-se no uso de animais fistulados no rúmen e nas medidas de desaparecimento de frações das amostras acondicionadas em bolsas mantidas em incubação ruminal por períodos pré-estabelecidos. Para Nocek (1988), a metodologia *in situ* permite o íntimo contato do alimento testado com o ambiente ruminal, não havendo melhor maneira de simular as condições do rúmen (temperatura, pH, substratos tamponantes, enzimas) em determinado regime alimentar específico e determinar a degradabilidade ruminal de alimentos (HUNTINGTON e GIVENS, 1995). Segundo Mertens (1993), essa metodologia fornece informações precisas sobre a extensão e a taxa de degradação dos nutrientes, permitindo o estudo da cinética da digestão. Utilizada pelo Agricultural and Food Research Council (AFRC, 1992) e pelo National Research Council (NRC, 2001) como metodologia padrão para caracterização da degradabilidade ruminal da fração proteica, para Ørskov & McDonald (1979), a metodologia de degradabilidade *in situ* também pode ser a técnica de eleição a ser empregada para estudar a dinâmica ruminal de outros nutrientes.

Embora nos estudos empregando-se esta metodologia as amostras testadas estejam submetidas às condições reais do ambiente ruminal, conforme Van Soest (1994), elas não estão sujeitas à mastigação, à ruminação ou à passagem para os demais compartimentos do sistema digestivo dos ruminantes. Adicionalmente, há uma série de procedimentos experimentais relacionados à bolsa de incubação, à dieta basal, aos animais experimentais, às características das amostras e condições de incubação capazes de influenciar os resultados obtidos pelo emprego desta metodologia.

2.4.1. Fontes de variação da técnica

2.4.1.1. Porosidade e material do saco

O tamanho do poro da fibra foi considerado por Nocek (1985) e por Michalet-Doreau & Ould-Bah (1992) como fator capaz de influenciar significativamente os resultados da cinética de degradação. Conforme Michalet-Doreau & Ould-Bah (1992), o tamanho do poro influencia a entrada de agentes responsáveis pela degradação dos alimentos nas sacolas de incubação e também influencia a saída das partículas, fatos que podem influenciar os resultados da degradabilidade. No interior das sacolas, o número de microrganismos é inferior ao observado no ambiente ruminal e quanto menor o tamanho do poro da sacola, maior é esta diferença. A Porosidade de tamanho excessivo pode resultar no escape de partículas do alimento, enquanto o oposto, poros pequenos podem dificultar a saída do material degradado, criando um microambiente dentro do saco com menor valor de pH (MARINUCCI *et al.*, 1992). A partir de uma revisão da literatura, Gonçalves *et al.* (2012) recomendam uma padronização dos procedimentos experimentais da técnica *in situ* visando o alcance de resultados mais realísticos. Para tanto, recomendam

o uso de sacolas de incubação confeccionadas em náilon com malha apresentando poros de tamanho variando de 40 a 60 μm .

Os materiais citados mais comumente como tendo sido usados na confecção dos sacos são o náilon, poliéster e o dácron. Huntington e Givens (1995) sugerem que mais importante do que o material utilizado na confecção dos sacos, é a estrutura do tecido, devendo este ser monofilamentoso por favorecer a manutenção da porosidade.

2.4.1.2. Dieta

Apesar de ainda haver certa divergência na literatura quanto aos efeitos da dieta basal sobre as degradabilidades dos alimentos (VALADARES FILHO, 1994), os alimentos testados devem compor a dieta basal (Nocek, 1988) ou ainda deve-se usar uma dieta com características mais próximas possíveis às do material a ser analisado (THIAGO, 1994). Segundo Barbosa *et al.* (1998b), a dieta pode afetar significativamente os valores de degradabilidade ruminal, principalmente a degradabilidade potencial, sendo indicado que a dieta ideal para se testar simultaneamente várias forrageiras em um mesmo rúmen deve ser composta por forragem de qualidade suficiente para não comprometer a atividade microbiana ruminal e, conseqüentemente, a função de degradação proposta.

Outro fator ainda relacionado à dieta basal seria a necessidade de tamanho de partícula adequado para a ocorrência de uma ação física (fricção) sobre os sacos de náilon. Desta forma, há remoção de partículas que possam estar ocluindo os poros e expulsão dos gases formados dentro dos sacos de náilon devido ao processo de fermentação (MARINUCCI *et al.*, 1992).

2.4.1.3. Animal

Para Nocek (1988), em uma mesma espécie, diferenças de sexo e estado fisiológico representam potencial fonte de variação para os resultados obtidos. Essas variações estão relacionadas às taxas de digestão observadas em animais em condições distintas. Nesse sentido, foi recomendado por Huntington e Givens (1995) que todos os animais experimentais de um mesmo experimento devem estar em um mesmo estado fisiológico. Já Pereira e Sampaio (1992) não verificaram diferenças nos valores de degradabilidade da matéria seca ao comparar resultados obtidos com animais europeus ou zebuínos. Por sua vez, estudo desenvolvido por Campos *et al.* (2006) apresentou variações nos resultados de taxa de degradação da matéria seca e da FDN obtidos em bovinos ou em ovinos. Os ovinos apresentaram maiores taxas de degradação, sendo as diferenças entre espécies atribuídas, principalmente, as características específicas do ambiente ruminal. Os autores concluíram que os ovinos não devem ser considerados modelos experimentais para bovinos em experimentos de degradabilidade *in situ*.

2.4.1.4. Moagem da amostra

Segundo Romero (1990), a área de exposição da amostra ao líquido ruminal é influenciada pelo tamanho das partículas contidas nas sacolas de incubação. O efeito do tamanho médio das partículas incubadas sobre os resultados obtidos na metodologia de degradabilidade *in situ* foi objeto de estudo em diversas pesquisas, sendo observada certa divergência entre os resultados (WEAKLEY *et al.*, 1977; NOCEK, 1988; BARBOSA *et al.*, 1998a; CAMPOS *et al.*, 2006). Para Nocek (1985) a moagem do material em uma peneira de 5 mm é indicada para alimentos volumosos, a fim de criar uma maior uniformidade do substrato. De forma semelhante, Vazant *et al.* (1998) recomendam a moagem de 1,5 a 3,0 mm para alimentos concentrados, e de 1,5 a 5,0 mm para forragens, enquanto Ørskov *et al.* (1988) recomendam uma moagem em peneira com malhas de 5,0 mm quando se trabalha com forragens verdes, úmidas e ensiladas.

2.4.1.5. Preparo da amostra

Variações nos procedimentos de preparação de amostras para incubação na metodologia de degradabilidade *in situ* podem afetar os resultados obtidos (MICHALET-DOREAU & OULD-BAH, 1992; UDÉN, 1988). No entanto, a literatura é inconclusiva quanto ao benefício de se umedecer o material previamente à incubação.

2.4.1.6. Relação peso da amostra:área do saco

Segundo Nocek (1988), a quantidade de amostra ideal para incubação pela metodologia de degradabilidade *in situ* é aquela capaz de permitir sobra suficiente de resíduo ao final da incubação para realização das análises químicas, sem, contudo, preencher as sacolas de incubação de forma a atrasar o ataque microbiano e aumentar o tempo de colonização da amostra, subestimando a taxa de degradação. A relação entre o peso da amostra e a área superficial da sacola de incubação foi estudada por Nocek (1985), que verificou redução das taxas de desaparecimento da matéria seca e do nitrogênio de amostras de farelo de soja com aumentos da relação peso da amostra/área superficial da sacola de incubação de 2,5; 12,6; 25,3 até 37,9 mg/cm². Segundo Nocek (1988) a faixa variando 10 a 20 mg/cm² pode ser utilizada para a maioria dos experimentos de degradabilidade *in situ* com forragens.

2.4.1.7. Ordem de incubação

Nocek (1985) comparou a degradabilidade entre experimentos em que todos os sacos foram colocados ao mesmo tempo dentro do rúmen e retirados em determinados horários frente a experimentos onde os sacos foram introduzidos em sequência inversa e removidos ao mesmo tempo. A incubação dos sacos simultaneamente apresentou menor coeficiente de variação porém com taxas de degradação mais lentas, fato atribuído à interrupção do

processo de digestão e exposição ao ambiente externo quando os sacos são removidos e novamente colocados no rúmen. Por outro lado, quando os sacos não são colocados simultaneamente no rúmen não estarão submetidos às mesmas condições de degradação, dependendo da frequência e número de refeições diárias fornecidas ao animal fistulado.

2.4.1.8. Contaminação microbiana

A contaminação do resíduo da fermentação resultante da colonização das partículas pelos micro-organismos ruminais é, possivelmente, uma das maiores fontes de erro nas estimativas da extensão e da taxa de degradação da proteína, sendo menos relevante na porção fibra do alimento (GONZALEZ *et al.*, 2009; BERCHIELLI *et al.*, 2011). Segundo Nocek (1985), o nitrogênio bacteriano como porcentagem do nitrogênio total apresenta comportamento quadrático em relação ao tempo de incubação, observando seu valor máximo no tempo de 12 horas.

Para minimizar os efeitos da contaminação microbiana tem sido proposta a lavagem dos sacos que visa remover a digesta ruminal e resíduos de matéria microbiana aderidos. Diferentes metodologias de lavagem têm sido sugeridas: lavagem manual em água corrente até esta sair límpida, lavagem mecânica em máquina com tempos oscilando entre 2 a 15 minutos (DOREAU e OULD-BAH, 1992). Apesar da escassez de informações na literatura, tem sido sugerida a utilização de indicador bacteriano para corrigir a degradabilidade da proteína bruta quando se avalia volumosos de baixo teor proteico (VALADARES FILHO *et al.*, 1992).

2.4.2. Modelagem na degradabilidade *in situ*

A dinâmica de degradabilidade de componentes nutritivos no rúmen é descrita por parâmetros inseridos em modelos matemáticos que exigem os valores observados para os desaparecimentos dos nutrientes e os tempos de incubação utilizados no experimento. Ørskov & McDonald (1979) propuseram o seguinte modelo para descrever a dinâmica de degradação ruminal em experimentos utilizando a metodologia *in situ*:

$$p = a + b (1 - e^{-ct}), \text{ em que:}$$

p = percentagem de degradação após um tempo (t) de incubação no rúmen;

a = é o intercepto da curva de degradação no tempo zero, representando a fração rapidamente degradada do substrato (completamente degradado);

b = degradabilidade potencial do material que permaneceu na sacola de incubação após o tempo zero, que será degradado a partir deste momento e representa o substrato insolúvel potencialmente degradável (lentamente degradada);

c = taxa constante de degradação da fração b (%/hora);

t = tempo de incubação em horas.

A fração a (solúvel) é determinada pela lavagem de sacolas contendo amostras do alimento avaliado sem que essas sejam incubadas no rúmen, enquanto o substrato não degradável é representado por $1 - (a + b)$. Posteriormente, Sampaio *et al.* (1995) sugeriram uma simplificação deste modelo pelo emprego da seguinte função matemática:

$$p = A + B * e^{-ct}, \text{ em que:}$$

p = percentagem de degradação após um tempo (t) de incubação no rúmen (mesmo parâmetro do modelo anterior);

A = percentagem máxima de degradação do material contido na sacola de incubação em um tempo t (correspondente à soma dos parâmetros $a + b$ do modelo anterior);

B = degradabilidade potencial do material incubado a partir do momento da incubação;

c = taxa constante de degradação da fração que permanece na sacola de incubação após o tempo zero (%/hora);

t = tempo de incubação em horas.

Com o emprego deste modelo, Sampaio *et al.* (1995) sugeriram que a qualidade da forrageira deve ser interpretada pelo valor de A e pela taxa de degradação c . Onde o maior valor de A indica uma forrageira mais degradável no rúmen e o maior valor de c implica em necessidade de menor tempo para que o potencial máximo de degradação das frações nutritivas da forrageira seja alcançado. Adicionalmente, baseando-se no critério de variância generalizada de tal maneira que a eficiência do delineamento seja melhor que qualquer outro delineamento definido por diferentes combinações de pontos experimentais (tempos de incubação), esses autores recomendaram delineamento experimental com apenas três tempos de incubação para se estimar os parâmetros A , B e c . Recomendaram que, após a inserção das amostras no rúmen, o primeiro tempo de incubação fosse de 6 horas, o segundo entre 21 e 28 horas (dependendo da taxa de degradação – forrageiras de melhor qualidade com valores c próximos a 0,06/hora deveriam ser retiradas mais cedo do rúmen em relação àquelas menos degradáveis com valores de c próximos a 0,03/hora) e o terceiro tempo de incubação de 96 horas. A utilização do delineamento proposto por Sampaio *et al.* (1995) conduziu à maior precisão nas estimativas de degradabilidade pela metodologia *in situ*, reduziu a necessidade de manipulação excessiva dos animais experimentais e poupou trabalho experimental.

Além da atual restrição para uso de animais em experimentos, especialmente o uso de animais fistulados, a falta de padronização de procedimentos experimentais entre laboratórios e entre experimentos representa um desafio para o emprego da metodologia de

degradabilidade *in situ* para a avaliação de forrageiras. Essa falta de padronização é considerada a mais importante fonte de variação de resultados obtidos com o emprego da metodologia de degradabilidade *in situ*, capaz de conduzir à baixa repetibilidade de resultados obtidos para avaliação de uma mesma forrageira.

2.5. Técnica *in vitro* de produção de gases

Dentre os métodos químicos e/ou biológicos disponíveis para estimar a digestibilidade e degradabilidade de alimentos, os ensaios *in vivo* envolvendo produção animal e digestibilidade são os métodos mais precisos para determinar o valor nutricional dos alimentos. Contudo, são métodos que requerem considerável uso de animais, alimentos, mão de obra, tempo e elevado custo financeiro. Por isso, metodologias *in vitro* de avaliação de alimentos têm sido também utilizadas para a determinação do valor nutricional de forrageiras, apresentando altas correlações com o consumo e a digestibilidade *in vivo* (ØRSKOV, 2002). Estas técnicas possuem menor custo, exigindo menor tempo de execução e apresentam melhor controle da condição experimental (FONDEVILLA e BARRIOS, 2001).

Dentre os métodos mais utilizados, está a técnica de digestibilidade de duplo estágio proposta por Tilley e Terry (1963), sendo capaz de estimar a digestibilidade *in vitro* da MS com boa precisão. Esta técnica baseia-se na mensuração do desaparecimento do substrato (gravimétrico), o que pode ou não estar relacionado com a ocorrência da fermentação (GETACHEW *et al.*, 1998). Apesar da técnica inicialmente proposta por Tilley e Terry (1963) fazer uma referência mínima à dinâmica da fermentação ruminal (MINSON, 1990), adaptações à técnica foram propostas (TOMICICH *et al.* 2006), permitindo assim a determinação dos parâmetros da cinética de degradação ruminal da matéria seca de alimentos volumosos, com a vantagem de apresentar alta capacidade de análise.

A segunda geração destes métodos incorpora as estimativas da cinética de degradação no retículo-rúmen tanto pela mensuração na degradação ruminal de alimentos em sacos de náilon incubados no rúmen (MEHREZ *et al.*, 1977; ØRSKOV e MCDONALD, 1979; ØRSKOV *et al.*, 1980; SAUVANT *et al.*, 1985; MICHALET-DOREAU *et al.*, 1987) quanto pelas técnicas de produção de gases (BLUMMEL e ØRSKOV, 1993; PELL e SCHOFIELD, 1993; THEODOROU *et al.*, 1994; MAURÍCIO *et al.*; 1999; CONE *et al.*, 1996; SILESHI *et al.*, 1996).

A técnica de produção de gases consiste na incubação de um substrato moído em um frasco contendo meio de cultura anaeróbico e inóculo microbiano proveniente do fluido ruminal. O substrato pré-pesado é suspenso no meio anaeróbico, mantido a 39°C e fluido ruminal fresco é adicionado como inóculo. A partir deste momento, a produção de gases da fermentação começa a ser registrada possibilitando a descrição da cinética de fermentação (WILLIAMS, 2000), tendo em vista que os gases produzidos durante o processo estão intimamente relacionados ao processo fermentativo dentro do rúmen (QUIN, 1943). A

técnica *in vitro* de produção de gases apresenta como vantagens a fácil execução, boa repetibilidade e possibilidade de determinar as taxas de digestão da fração solúvel dos alimentos, fornecendo dados com maior acurácia (NOGUEIRA *et al.*, 2006).

Esta técnica passou a receber destaque após o trabalho de Menke *et al.* (1979), que demonstrou elevada correlação entre a produção de gases *in vitro* e a digestibilidade aparente *in vivo*. Posteriormente, Blummel e Ørskov (1993) adaptaram a técnica e passaram a fazer leituras periódicas de produção cumulativa de gases, iniciando os estudos sobre a cinética de fermentação dos alimentos pela produção de gases (RYMER *et al.*, 2005). Diferentes metodologias foram desenvolvidas para implantação desta técnica, dentre as quais pode-se destacar a utilização de seringas de vidro graduadas (MENKE *et al.*, 1979); a técnica do transdutor manual (THEODOROU *et al.*, 1994); o sistema automático (PELL & SCHOFIELD, 1993), e o sistema semiautomático (MAURÍCIO *et al.*, 1999).

A técnica *in vitro* semiautomática de produção de gases ou *Reading Pressure Technique* (RPT) inicialmente sugerida por Maurício *et al.* (1999), embora seja baseada na técnica descrita por Theodorou *et al.* (1994), se destaca por ter eliminado as medições manuais de volume (gases) através do uso de seringas e ser capaz de avaliar um grande número de amostras com custo inferior se comparada ao sistema automático proposto por Pell e Schofield (1993). Esta técnica utiliza uma equação de regressão para determinar o volume de gases produzidos a partir da leitura da pressão interna de cada frasco, sendo esta equação específica conforme a altitude do laboratório no qual foi realizado o experimento.

Esta metodologia tem sido uma importante ferramenta auxiliar na determinação do ponto ótimo de ensilagem, fenação ou de uso na forma verde das principais espécies forrageiras (PEREIRA *et al.*, 2005; PIRES *et al.*, 2006; CASTRO *et al.*, 2007; JAYME *et al.*, 2009), para a avaliação de mistura de alimentos (Faria *et al.*, 2008) e de efeitos associativos, já que a técnica permite a incubação de mais de um alimento em um mesmo frasco de fermentação.

Assim como ocorre nas demais técnicas de avaliação de alimentos, determinados fatores relacionados principalmente com o meio de cultura (de tampões, anaerobiose, temperatura e pH), líquido ruminal e preparo da amostra podem interferir na acurácia dos resultados obtidos pela técnica *in vitro* semiautomática de produção de gases.

2.5.1. Fontes de variação da técnica

2.5.1.1. Preparo da amostra

O grau de moagem da amostra influencia a superfície de contato entre os microorganismos e o substrato, podendo favorecer a degradação microbiana quando se trabalha

com um tamanho de partícula adequado (WILLIAMS, 2000). Em sua maioria, os trabalhos que utilizam a técnica de produção de gases adotam uma peneira de 1 mm para moagem do material (MENKE *et al.*, 1979; PELL e SCHOFIEL, 1993; THEODOROU *et al.*, 1994; MAURICIO *et al.*, 1999).

2.5.1.2. Condições do meio de cultura

Para que a microbiota contida no líquido ruminal possa atuar sobre o substrato é preciso que seja assegurado um pH ente 6,2 e 6,8. quando o pH do meio atinge valores inferiores a 6,0 há um prejuízo sobre a atividade das bactérias celulolíticas (RUSSEL e DOBROWSKI, 1980). O controle da temperatura deve ser feito de forma criteriosa, para que esteja próximo a 39° C, pois a atividade microbiana, o volume de gases produzidos e a pressão são influenciados diretamente pela temperatura (SCHOFIELD, 2000).

2.5.1.3. Líquido ruminal

A composição do líquido ruminal pode variar em qualidade e homogeneidade de acordo com a espécie, raça, dieta, condição fisiológica, sexo e hora de coleta em relação ao horário de alimentação (PEREIRA, 2003), podendo afetar o perfil de degradação dos substratos incubados (SCHOFIELD, 2000). Para manter a atividade da microbiota é importante que o tempo decorrido entre a coleta do líquido ruminal e a incubação seja o menor possível. Em relação ao horário da coleta, tem-se recomendado que esta ocorra antes da refeição do animal (BLUMMEL e ØRSKOV, 1993; PELL e SCHOFIELD, 1993; THEODOROU *et al.*, 1994).

2.5.1.4. Origem dos gases

Após incubar um substrato em um frasco contendo líquido ruminal e tampão, a fermentação resulta na formação de ácidos graxos de cadeia curta, gases e células microbianas. Os gases produzidos são basicamente resultantes da fermentação dos carboidratos, já que a fermentação da proteína produz baixa quantidade de gases e na fermentação das gorduras os gases podem ser desconsiderados (GETACHEW *et al.*, 1998; MENKE *et al.*, 1979). Quando 200 mg de óleo de côco, óleo de palmiste e/ou óleo de soja foram incubados, apenas 2,0 a 3,8 ml de gases foram produzidos enquanto a mesma quantidade de caseína e celulose produziram 23,4 e 80 ml de gases (MENKE e STEINGRASS, 1998; GETACHEW *et al.*, 1997).

Os gases mesurados pela técnica *in vitro* de produção de gases podem ser oriundos do processo fermentativo das pentoses e hexoses (forma direta) ou da neutralização dos ácidos graxos voláteis pelo tampão bicarbonato presente no líquido ruminal ou saliva artificial (forma indireta) (GETACHEW *et al.*, 1998). A quantidade de gases diretos produzidos é

variável em função da proporção molar dos ácidos graxos voláteis (AGV's) (STERN *et al.*, 1997; GETACHEW *et al.*, 1998). Para cada mmol de ácido acético e butírico originados durante processo fermentativo há uma produção de 1 e 2 mmol de CO₂, respectivamente. Por outro lado, quando o substrato é fermentado a propionato, a produção de gases fica restrita apenas ao tamponamento pelo meio (GETACHEW *et al.*, 1998; FONDEVILLA e BARRIOS, 2001).

A fermentação ruminal da proteína, além de produzir uma baixa quantidade de gases, como citado anteriormente, produz amônia, que por sua vez reage com o CO₂ e precipita na forma de carbonato de amônia, reduzindo a quantidade de gases no frasco de fermentação (FONDEVILLA e BARRIOS, 2001). Para avaliar o efeito da fermentação de proteínas sobre a cinética de produção de gases *in vitro*, Oliveira *et al.* (2005) adicionaram diferentes quantidades de caseína em amostras incubadas de glicose, amido, pectina e celulose. Segundo estes autores, o volume de gases foi reduzido com a adição de caseína, porém eles chamam a atenção para que tal efeito foi obtido com níveis de caseína extremamente elevados, valores estes que representariam situações dietéticas irreais em termos de porcentagem de proteína bruta na dieta.

2.5.2. Modelagem da cinética de produção de gases

A modelagem da cinética de degradação *in vitro* é menos complexa que a metodologia *in situ* por se tratar de um sistema fechado e controlado, não havendo a perda ou infiltração de partículas nos frascos de fermentação (MERTENS, 1993). Contudo, para uma correta interpretação dos resultados é fundamental o ajuste dos dados ao modelo utilizado para descrever a cinética da fermentação ruminal (FONDEVILLA e BARRIOS, 2001).

Diferentes modelos matemáticos não lineares, exponenciais ou sigmóides, uni ou multi-compartimentais têm sido propostos para estimar os parâmetros de degradação por meio das curvas de produção de gases, todos apresentando vantagens e desvantagens de ajuste dependendo das condições experimentais e do tipo de substrato avaliado (NOGUERA *et al.*, 2004). A escolha do modelo depende do ajuste obtido às características do alimento avaliado, o que varia entre diferentes forrageiras, concentrados e subprodutos (LÓPEZ *et al.*, 2011; SAHIN *et al.*, 2011).

Inicialmente, as equações exponenciais propostas para experimentos *in situ* como as de Ørskov e McDonald (1979) e McDonald (1981) foram empregadas na técnica *in vitro* de produção de gases pela simplicidade e popularidade do modelo e devido à similaridade entre as curvas de produção de gases e de degradabilidade. Porém, pelo fato deste modelo assumir que a taxa fracional de produção *in vitro* de gases é constante durante todo o processo, que o substrato tem composição homogênea (FONDEVILLA e BARRIOS, 2001) e sugerir que todos os componentes solúveis e produtos da hidrólise são fermentados, continuamente vários outros modelos, principalmente sigmóides, têm sido avaliados, buscando maior flexibilidade das curvas.

2.6. Metabolismo de energia

A energia armazenada pelas plantas por meio dos processos fotossintéticos não é considerada um nutriente. Ela é liberada do alimento pelos complexos processos metabólicos, uma vez que todos os constituintes orgânicos de uma dieta são susceptíveis de oxidação (RESENDE *et al.*, 2011).

A partir da descoberta de que o uso dos nutrientes do alimento para a manutenção da vida dos animais e de suas funções produtivas é um processo de combustão (Johnson *et al.*, 2003), o conhecimento da bioenergética passou a ser de suma importância, uma vez que retrata a energia e suas transformações ligadas aos processos biológicos, utilizando-se das leis da termodinâmica aplicada aos seres vivos (RESENDE *et al.*, 2011).

2.6.1. Partição da energia dos alimentos

As leis da termodinâmica e a lei de Hess foram fundamentais para o estudo da transformação da energia no meio biológico. A primeira lei da Termodinâmica trata da conservação da energia, ou seja, a energia não pode ser criada ou destruída, apenas transformada de uma forma para outra. Ela é aplicada em estudos de nutrição animal, indicando que a energia acrescida no tecido corporal é equivalente à energia removida de outro local, neste caso do alimento consumido. Já a segunda lei da termodinâmica e a Lei de Hess consideram que todas as formas de energia podem ser convertidas a calor, e que a perda de calor em uma reação química independe dos caminhos da conversão. Através destas leis é possível afirmar que tanto a energia liberada pela completa oxidação da glicose em uma bomba calorimétrica quanto àquela liberada se o processo ocorresse na célula são idênticas (FERREL e OLTJEN, 2008).

A partir da determinação da energia contida em diferentes alimentos, bem como em amostras de fezes e urina, por meio de bomba calorimétrica adiabática, surgiu a necessidade de desenvolver sistemas de avaliação nutricional que conseguissem explicar a capacidade de um determinado alimento em prover uma resposta produtiva no animal. O sistema deveria ser capaz de apresentar o fracionamento da energia, buscando descrever a utilização, as perdas e as eficiências energéticas do animal para os diferentes alimentos, dietas, níveis de consumo e produção (CHWALIBOG, 2004). Em relação aos ruminantes, a habilidade de quantificar todas as perdas de energia só foi possível após a descoberta do metano nos gases respiratórios e a compreensão dos fatores que influenciam a perda de calor (VAN SOEST, 1994).

O primeiro passo para a realização do fracionamento seria determinar a energia presente no alimento, o que é realizado pela combustão completa em uma bomba calorimétrica, ou seja, a energia bruta (EB). Como descrito por Lawrence e Fowler (2002), cada nutriente de um alimento possui uma capacidade diferente de produção de energia (Figura 01). Em se

tratando de plantas forrageiras, por serem constituídas principalmente por carboidratos, a energia bruta resultante de sua completa combustão é de aproximadamente 4,1 Mcal/kg (RESENDE *et al.*, 2011).

Apesar de facilmente mensurada, a EB apresenta pouca relação com o que de fato está disponível para o animal, devido às perdas variáveis no processo de digestão e metabolização (CHWALIBOG, 2004). A primeira evidência desta constatação seria a produção fecal (RESENDE *et al.*, 2011). As fezes de um animal são constituídas pelos resíduos indigestíveis dos alimentos, por células de descamação desprendidas durante o trânsito do alimento, por secreções glandulares do trato gastrointestinal e por micro-organismos, principalmente bactérias vivas e mortas.

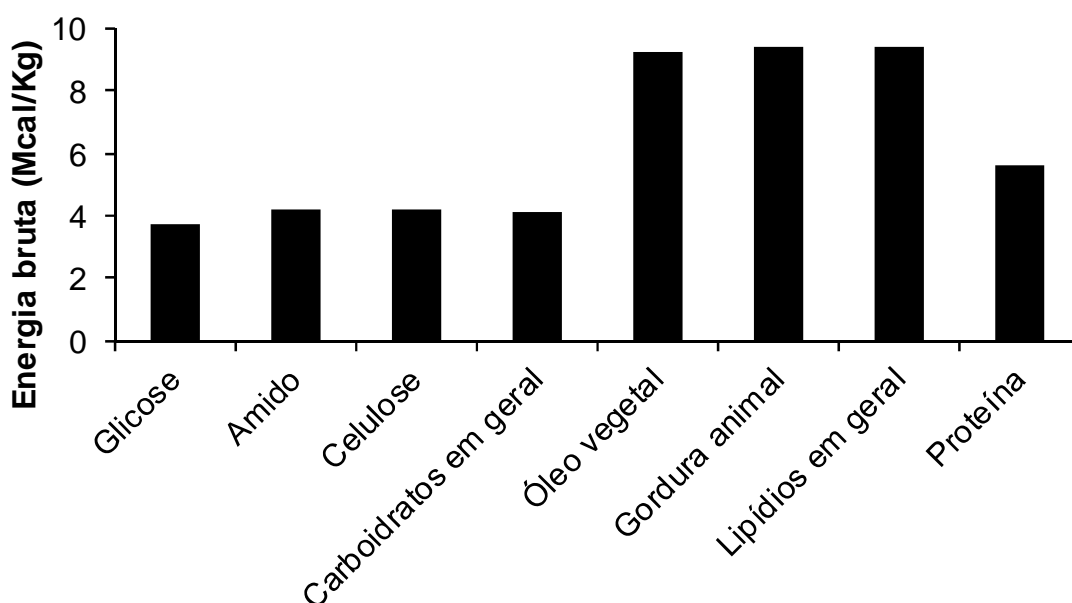


Figura 01. Energia bruta resultante da completa combustão de alimentos purificados. Fonte: adaptado de Lawrence e Fowler (2002)

A energia perdida na forma de fezes pode ser subtraída da energia bruta ingerida, originando-se a energia digestível aparente. O termo aparente se faz necessário já que a matéria fecal contém substâncias de origem endógena (tecido animal) bem como de origem microbiana (BLAXTER, 1962; RESENDE *et al.*, 2011). Segundo Blaxter (1962), as perdas fecais podem representar de 10% a 70% EB ingerida, sendo o principal fator determinante do valor nutricional do alimento.

A energia aparentemente absorvida não é capaz de fornecer uma medida do valor energético dos nutrientes absorvidos no intestino, já que parte dela é perdida na forma de gases provenientes da fermentação dos alimentos pelos micro-organismos ruminais e na urina, a qual inclui a energia dos compostos absorvidos e não utilizados, os produtos finais dos processos metabólicos e os produtos de origem endógena. Subtraindo-se essas perdas

(gases e urina) do valor da energia digestível aparente, determina-se a energia metabolizável (EM), que é aquela efetivamente disponível para o metabolismo do animal (RESENDE *et al.*, 2011). Em média, a EM corresponde a aproximadamente 82% da energia digestível (NRC, 2001), mas é variável de acordo com a dieta e a espécie (bovinos: 0,81; ovinos: 0,73 e caprinos: 0,86) (RESENDE *et al.*, 2011).

O animal pode utilizar a EM do alimento para produção (leite, carne, lã), porém, primeiramente a utiliza para atender sua exigência basal que está associada à produção de calor necessária para que ocorram os processos vitais de um animal saudável, em jejum e em repouso (BLAXTER, 1967). Esta produção basal de calor advém do uso da energia para manter a atividade celular, o que inclui a energia gasta com a bomba de sódio-potássio e outros sistemas que mantêm o gradiente eletroquímico das membranas celulares e a energia necessária para o funcionamento dos sistemas cardiovascular e respiratório (DIENER, 1997).

É importante ressaltar que metabolismo basal não é o mesmo que manutenção. Podem ocorrer ainda gastos adicionais de energia oriundos de processos não relacionados ao alimento (regulação térmica, atividade muscular) e aqueles relacionados com a utilização dos alimentos. O somatório destes processos resulta na exigência metabólica de manutenção do animal. Sendo assim, a energia metabolizável de manutenção é sempre maior que o metabolismo basal, porque os processos de alimentação, digestão e metabolismo do alimento requerem energia e esta aparece na forma de calor (RESENDE *et al.*, 2011). Este aumento da produção de calor decorrente do consumo de um alimento, denominado de incremento calórico (IC), tem sua magnitude variável em função da quantidade de alimento ingerido e da composição da dieta. O IC abrange o calor gasto na obtenção, apreensão e mastigação do alimento; o calor de fermentação produzido pela microbiana ruminal, sendo o principal componente nos ruminantes (YOUSEF *et al.*, 1968); pelo calor de digestão e absorção, resultante da ação enzimática, trânsito da digesta e transporte ativo nas membranas (ex.: bomba de sódio e potássio) (ØRSKOV & MACLEOD, 1990); pelo calor de formação de produto, o qual é produzido nos processos anabólicos a partir dos substratos absorvidos (ex.: glicogênese, síntese proteica) (McBRIDE & KELLY, 1990); e finalmente pelo calor de excreção, associado à síntese e excreção de produtos finais, como por exemplo, a síntese de ureia a partir da amônia no fígado e a atividade dos rins (COCK *et al.*, 1967; BONDI, 1987).

O balanço entre a energia metabolizável ingerida e a energia necessária para o atendimento das demandas de manutenção (produção basal de calor e incremento calórico) resulta na energia retida no organismo animal, ou seja, aquela disponível para crescimento e produção (CHWALIBOG, 2004). Surge então o conceito de energia líquida (EL), a qual equivale à energia utilizada para a realização de diferentes funções de retenção de substâncias nos tecidos e produtos além daquela utilizada na produção do calor liberado durante os processos de manutenção (incremento calórico).

O conteúdo de EL de um mesmo alimento varia em função da espécie e condição fisiológica do animal para a qual o alimento é fornecido e em função da finalidade para a qual a energia será utilizada (manutenção ou ganho) (CHWALIBOG, 2004). Os fatores que alteram o ambiente ruminal (nível de consumo, frequência de alimentação, nível e tipo de concentrado, aditivos) e comprometem a digestibilidade do alimento (tamanho de partícula, processamento, taxa de passagem) podem alterar os valores de energia líquida, em razão de flutuações na produção de metano, digestibilidade e metabolismo dos tecidos. Assim a determinação da energia líquida deve ser realizada o mais próximo das condições de uso (FERREL & OLTJEN, 2008).

2.6.2. Eficiência de utilização da energia

Tomando por base as mensurações descritas acima, outros termos foram derivados com intuito de avaliar a eficiência com a qual ocorre o fluxo de energia no animal. Dentre estes termos destaca-se a metabolizabilidade (q) e a eficiência de utilização (K).

2.6.2.1. Metabolizabilidade

Entende-se por metabolizabilidade (q) a relação entre a energia metabolizável (EM) e a energia bruta (EB) do alimento ou dieta.

$$q = \frac{EM}{EB}$$

Quando o animal está consumindo no nível de manutenção, a metabolizabilidade é referida como q_m ; e quando está consumindo acima da manutenção q_L , sendo L nível de ingestão dado em múltiplos da manutenção (RESENDE *et al.*, 2011).

Diversas pesquisas foram conduzidas no intuito de se determinar uma relação entre metabolizabilidade e o nível de consumo, sendo verificada certa divergência entre os resultados. Quando o nível de consumo é elevado observa-se um decréscimo da metabolizabilidade da dieta, o que estaria atribuído ao aumento na taxa de passagem resultando na redução da digestão dos carboidratos, com consequente diminuição da digestibilidade e aumento das perdas fecais (GEAY, 1984).

O conhecimento da metabolizabilidade se faz necessário à medida que guarda uma relação com a concentração de nutrientes da dieta. À medida que se eleva a concentração de fibra há uma redução na metabolizabilidade do alimento ou da dieta (RESENDE *et al.*, 2011).

2.6.2.2. Eficiência de utilização (K)

A eficiência de utilização da energia metabolizável reflete quanto desta ficou disponível para o animal, ou seja, ela representa a relação entre a energia líquida e a energia metabolizável. A eficiência de utilização da EM para manutenção (K_m) ou para produção (K_p) podem ser expressas como:

$$K_m = \frac{El_m \times 100}{EM_m} \quad K_p = \frac{El_p \times 100}{EM - EM_m}$$

Em que, El = energia líquida; EM = energia metabolizável; EM_m = energia metabolizável requerida para manutenção; El_m = energia líquida de manutenção; El_p = energia líquida para produção.

Considerando-se os componentes do incremento calórico é possível determinar que o IC associado à manutenção é menor que aquele associado à produção, uma vez que neste último está incluído também o gasto energético decorrente da síntese de produtos. Como consequência, pode-se inferir que a eficiência de utilização da energia para manutenção (K_m) é superior à da utilização de energia no tecido ou produto (AGNEW & YAN, 2005).

Dados da literatura indicam que a eficiência do uso da EM para manutenção é relativamente constante e independe da composição do alimento. Armstrong e Blaxter (1957; 1961) demonstraram que o incremento calórico de misturas de ácidos graxos voláteis (AGV's) era influenciado pela razão acetato:propionato em ovinos em engorda, mas teve pouco efeito para ovinos em manutenção. O AFRC (1993) adota a fórmula: $K_m = 0,35 q_m + 0,503$, o qual considera que a metabolizabilidade dos alimentos está entre 0,35 a 0,80 kcal/kcal EB, resultando, portanto, em valores de K_m entre 0,65 a 0,78 kcal/kcal EM. Já Fox *et al.* (2003; 2004) (CNCPS) utilizam os valores de K_m de 0,576; 0,651 e 0,686 kcal/kcal EM para dietas com concentrações de energia metabolizável de 2,0; 2,6 e 3,2 Mcal/Kg MS, respectivamente.

2.6.3. Técnicas para estudo de metabolismo

Atualmente, o critério mais adequado e amplamente utilizado para expressar as exigências de energia dos animais e o valor energético dos alimentos, nos cálculos de ração, é o sistema de energia líquida (FONTES *et al.*, 2005a,b). Na maioria dos sistemas nutricionais que se baseiam no conceito de energia líquida, o ponto de partida é a energia metabolizável. Entretanto, os valores de energia digestível, metabolizável e líquida dos alimentos utilizados por esses sistemas são estimados por equações. O NRC (2001), por exemplo, determina os valores de ED, EM e EL a partir de valores de nutrientes digestíveis totais (NDT) ($1g\ NDT=3,9\ kcal\ EM$), que por sua vez, são obtidos através da composição

química dos alimentos, incorporando erros acumulativos das análises químicas, desvios de predição das equações e sem avaliação direta do efeito do animal.

Por isso, técnicas mais adequadas devem ser adotadas para a determinação do conteúdo de energia líquida dos alimentos. Dentre os métodos mais precisos para a determinação da energia líquida dos alimentos estão os métodos diretos (calorimetria) ou indiretos (abate comparativo) (AGNEW & YAN, 2005).

Inicialmente proposta por Lawes e Gilbert em 1861, a técnica do abate comparativo foi popularizada em 1959 por Garret e seus colaboradores (RESENDE *et al.*, 2011). Neste caso, a EM é determinada separadamente, em ensaios de metabolismo, enquanto a energia das perdas gasosas geralmente são estimadas e a produção de calor determinada pela diferença entre a energia metabolizável ingerida e a energia retida. Apesar de ser uma opção para ensaios envolvendo animais em pastejo, este método é oneroso e laborioso (FONTES *et al.*, 2005a,b).

A calorimetria, mensuração da produção de calor, poder ser realizada de forma direta ou indireta. A calorimetria direta é relativamente simples na teoria, porém bastante difícil na prática. Ela consiste na determinação da produção de calor pelo animal em câmaras calorimétricas, as quais são baseadas nos mesmos princípios das bombas calorimétricas, onde o calor liberado é utilizado para elevar a temperatura do ambiente circundante (RODRIGUEZ *et al.*, 2007). Contudo, devido à complexidade dos calorímetros diretos, especialmente para uso com grandes ruminantes, a maioria dos métodos calorimétricos utilizados a partir da segunda metade do século XX tem sido a calorimetria indireta (RESENDE *et al.*, 2011).

A calorimetria indireta ou respirometria é baseada no princípio de que a produção de calor metabólico é resultado da oxidação de compostos orgânicos. Caso estes compostos fossem oxidados completamente, a produção de calor poderia ser calculada pela quantidade de oxigênio consumido e gás carbônico produzido. Contudo, outras formas de perda de calor devem ser consideradas como a oxidação incompleta da proteína, a qual determina a formação de compostos nitrogenados combustíveis que são excretados com a urina, sendo a ureia o principal composto bem como a fermentação anaeróbica, a qual produz gases combustíveis, principalmente, o metano, devendo dessa maneira, ser também computada no cálculo (RESENDE *et al.*, 2011). Para o cálculo da produção de calor em ruminantes tem sido sugerida a equação de Brouwer (1965): $H \text{ (kj)} = 16,18 \times O_2 \text{ (L)} + 5,02 \times CO_2 \text{ (L)} - 5,99 \times N_u \text{ (g)} - 2,17 \times CH_4 \text{ (L)}$; onde H é a produção de calor, N_u é o nitrogênio urinário.

Através da relação entre a quantidade de gás carbônico produzido e o oxigênio consumido é possível identificar qual substrato está sendo metabolizado pelo animal. Esta relação ($CO_2:O_2$) é referida como quociente respiratório (QR), sendo descritos valores de 0,7; 0,8 e 1,0 para gordura, proteína e carboidrato, respectivamente (DIENER, 1997).

Para medir as trocas gasosas pode-se utilizar câmaras de respiração com circuito aberto ou fechado. Nesta última, o ar é recirculado dentro da câmara, porém, enquanto o CO_2 é retido

em absorventes (hidróxido de sódio ou potássio), novas quantidades de O₂ são adicionadas. Neste caso, CO₂ produzido é determinado diretamente pela diferença de peso dos absorventes antes e depois do experimento, enquanto que o O₂ consumido pelo animal é determinado pela mensuração do volume adicionado no sistema (CHWALIBOG, 2004). O metano é determinado pela retirada de amostras de ar sobre caulim platinizado aquecido ao rubro, podendo também ser estimado por meio de fórmulas matemáticas.

Por outro lado, nas câmaras de circuito aberto, o ar externo passa através da câmara sendo amostrado na entrada e na saída e suas composições são analisadas. Conhecendo-se o fluxo de ar que passa através da câmara e as concentrações dos gases, é possível determinar as quantidades de CO₂ e CH₄ produzidas e a quantidade de O₂ consumida (RESENDE *et al.*, 2011). Atualmente, os sistemas utilizam analisadores de gases eletrônicos, com alta precisão e as suas descrições são encontradas em Rodríguez *et al.*, (2007), Grainger *et al.* (2007) e Odongo *et al.*(2007).

2.7. Emissão de metano entérico por ruminantes

Os bovinos produzem de 150 a 420 litros de metano (CH₄) por dia e os ovinos de 25 a 55 L/dia (CZERKAWSKI, 1969; HOLTER e YOUNG, 1992; MCALLISTER *et al.*, 1996), o que corresponde a emissões anuais de 39,1 a 109,5 kg e de 6,5 a 14,4 kg, respectivamente.

O metano de origem entérica dos ruminantes é responsável por cerca de 22% das emissões totais de CH₄ geradas por fontes antrópicas, representando 3,3% do total dos gases de efeito estufa (UESPA, 2000; PEDREIRA *et al.*, 2005). Este gás apresenta uma relação direta com a eficiência da fermentação ruminal em virtude da perda de carbono e, conseqüentemente, perda de energia, influenciando o desempenho animal (COTTON e PIELKE, 1995; BELL *et al.*, 2011). Representa um produto secundário da fermentação ruminal e corresponde a 27% de todos os gases produzidos no rúmen, ficando atrás apenas do CO₂ com 65%.

Como o metano não pode ser metabolizado tanto pelo ruminante quanto pelos micro-organismos presentes no rúmen, a maior parte é removida do rúmen por expiração ou eructação (MOSS, 1993). Do metano produzido por fermentação entérica no rúmen, 95% é excretado por eructação, e daquele produzido no trato digestivo posterior, 89% é excretado através da respiração e apenas 11% pelo ânus (MURRAY *et al.*, 1976). Segundo Immig (1996), o intestino grosso é responsável por cerca de 6 a 14% da produção do CH₄ do animal por dia.

A fermentação, que ocorre durante o metabolismo dos componentes dietéticos ingeridos pelos ruminantes, é um processo anaeróbio, efetuado pela população microbiana ruminal, que converte os carboidratos em ácidos graxos de cadeia curta, principalmente ácidos acético (C2), propiônico (C3) e butírico (C4). Nesse processo fermentativo, ainda são produzidos CO₂ e íons hidrogênio em quantidades variáveis, dependendo da concentração

e das proporções relativas dos ácidos produzidos (OWENS e GOETSCH, 1988; EUN *et al.*, 2004). Estes íons hidrogênio são oriundos de reações de desidrogenação envolvendo cofatores reduzidos (NADH, NADPH e FADH) gerados durante a fermentação por meio de processos oxidativos.

Como um processo aceptor de elétrons, a metanogênese remove continuamente o gás Hidrogênio (H₂) do meio. Dessa forma, a formação de metano é essencial para o ótimo desempenho do ecossistema ruminal, porque evita o acúmulo de H₂ no rúmen, o que poderia levar à inibição da atividade desidrogenase, envolvida na reoxidação dos cofatores reduzidos. A remoção eficiente do H₂ do rúmen contribui para o aumento da taxa de fermentação pela eliminação do seu efeito inibitório na degradação microbiana de materiais vegetais (WOLIN, 1979; MCALLISTER e NEWBOLD, 2008).

2.7.1. Micro-organismos metanogênicos

No rúmen existem micro-organismos específicos para produção de metano, sendo classificados como *Archae* metanogênicas. Estas *Archae* são micro-organismos anaeróbicos e exigem um ambiente altamente reduzido. Cinco espécies são encontradas no rúmen, sendo que apenas duas (*Methanobrevibacter ruminantium* e *Methanosarcina sp.*) são encontradas com populações acima de 1×10^6 UFC/mL (MCALLISTER *et al.*, 1996).

As *Archaea* Metanogênicas são um grupo microbiano distinto das *Eukarya* (protozoários e fungos) e *Bacteria*, possuindo cofatores (coenzima M, F420 e F430) e lipídeos (ésteres de isopranyl glicerol) únicos. A parede celular destes microrganismos é composta por pseudomureína, proteína, glicoproteína ou heteropolissacarídeos e a sequência de nucleotídeos indica uma evolução inicial distinta das bactérias (ISHINO *et al.*, 1998). Diante da função central do H₂ no metabolismo, as metanogênicas são importantes para o funcionamento do rúmen e nutrição animal, apesar de responderem por pequena parte da biomassa microbiana ruminal (JANSSEN e KIRS, 2008).

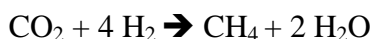
As archaeobactérias são encontradas intimamente associadas com protozoários ciliados e em justaposição com bactérias, não sendo essa, no entanto, uma localização obrigatória (FINLAY *et al.*, 1994). Para Ushida e Jouany (1996), as metanogênicas podem ser encontradas tanto aderidas na superfície celular dos protozoários, como na fase intracelular dos mesmos. Tal associação é importante para a produção de metano no rúmen, sendo que 37% do metano ruminal pode advir de bactérias que vivem dentro ou sobre a superfície dos protozoários (PEDREIRA *et al.*, 2005; HEGARTY, 2001).

Os protozoários engolfam matéria orgânica, particularmente bactérias, dentro de vacúolos digestivos, onde acontecem a hidrólise e a fermentação. Os principais AGVs produzidos são acetato e butirato (WILLIAMS e COLEMAN, 1992). Os protozoários contribuem para a metanogênese por meio do fornecimento de H₂ produzido durante a fermentação dos carboidratos, servindo de hospedeiros para cerca de 30% das *Archaea* metanogênicas

(USHIDA e JOUANY, 1996), e protegendo-as da toxicidade do O₂ (MORGAVI *et al.*, 2010). O H₂ é produzido em grande quantidade pelos protozoários em organelas equivalentes às mitocôndrias dos eucariotas aeróbicos: o hidrogenossoma. Esse H₂ é utilizado pelas metanogênicas que estão dentro ou em estreita associação com as células protozoárias (STUMM *et al.*, 1982; FINLAY *et al.*, 1994).

A associação somática das metanogênicas com os protozoários ciliados representa uma típica relação simbiótica de transferência de H₂ interespecífica, em que ambos são favorecidos. As metanogênicas, por utilizarem o H₂ produzido pelos ciliados, favorecem a manutenção de ambiente ruminal adequado ao desenvolvimento desses microrganismos (PEDREIRA *et al.*, 2005), permitindo que a fermentação da matéria orgânica seja direcionada mais para a produção de acetato e CO₂ em detrimento de butirato e lactato, o que resulta em maior eficiência na produção de ATP pelo protozoário hospedeiro (MORGAVI *et al.*, 2010). A extensão da associação entre as metanogênicas e os protozoários é influenciada pela dieta e pelo tempo após alimentação (TOKURA *et al.*, 1997).

Os micro-organismos metanogênicos são capazes de utilizar o hidrogênio produzido durante a fermentação dos carboidratos, na redução de moléculas de dióxido de carbono, formato, acetato, metilamina e metanol para a produção de metano (MOSS, 1993). No entanto, no ambiente ruminal, os principais substratos metanogênicos são o formato, que pode contribuir com 18% da produção (HUNGATE *et al.*, 1970), e principalmente o dióxido de carbono (Moss, 1993; Wolin *et al.*, 1997). O ciclo de formação do metano pelas *Archaea* metanogênicas a partir do CO₂ envolve a captação de quatro moléculas de H₂:



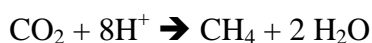
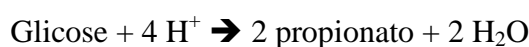
A quantidade absoluta de CH₄ formado por animais consumindo diferentes dietas está relacionada a características inerentes ao alimento, incluindo a natureza e quantidade do alimento, a extensão de sua degradação, e a quantidade de H₂ formado (JOHNSON e JOHNSON, 1995; PELCHEN e PETERS, 1998; JANSSEN, 2010). De forma geral, o aumento da taxa de digestão do alimento está associado ao aumento da taxa de passagem no rúmen. Também está associado a uma menor produção de CH₄ por unidade de alimento digerido no rúmen (JANSSEN, 2010).

2.7.2. Vias de fermentação que produzem ou utilizam H₂

Os diferentes produtos da fermentação ruminal (AGVs) não são equivalentes em termos de liberação de H₂, substrato para a metanogênese. A maior parte do hidrogênio consumido pelos micro-organismos metanogênicos é oriunda da produção de acetato, predominantemente formado durante o processo de fermentação ruminal de carboidratos fibrosos. Morvan *et al.* (1996) observaram correlação positiva entre o número de bactérias fibrolíticas e o de micro-organismos metanogênicos no rúmen de vários animais, incluindo

bovinos, ovinos, lhamas e veados, e no ceco de equinos. Tal correlação foi encontrada porque as principais espécies fibrolíticas, tais como *R. albus* e *R. flavefasciens*, produzem H₂ como principal produto da fermentação.

Por outro lado, a geração de propionato consome cofatores reduzidos no rúmen, reduzindo dessa forma a quantidade de substrato disponível para a metanogênese, sendo, portanto, uma via competitiva de utilização de H₂. Assim, a produção de metano depende do balanço de hidrogênio no rúmen, ou seja, das taxas de produção de acetato e propionato (HEGARTY, 2001), como descrito por Van Soest (1994):



Segundo Moss *et al.* (2000) a produção de metano pode ser calculada por meio da estequiometria dos principais ácidos graxos voláteis produzidos durante a fermentação ruminal: CH₄ = 0,45 C₂ - 0,275 C₃ + 0,40 C₄, em que C₂ = acetato; C₃ = propionato e C₄ = butirato. Através da estequiometria pode-se perceber o efeito negativo do propionato sobre a metanogênese devido à competição pelo mesmo substrato.

A pressão parcial de H₂ (ou concentração de H₂ dissolvido) influencia tanto as vias fermentativas que utilizam ou que produzem esse gás. Em co-culturas com micro-organismos utilizadores de H₂, os micro-organismos produtores de H₂ geram maior quantidade desse gás por unidade de carboidrato fermentado se a pressão parcial de H₂ é baixa (WOLIN, 1976; REES *et al.*, 1995; MORVAN *et al.*, 1996). Contudo, em altas concentrações de H₂, a formação de mais H₂ pode tornar-se termodinamicamente desfavorável, ou a mudança de energia livre da transformação do substrato através de vias de produção de H₂ pode ser menos favorável do que a transformação em outros produtos (JANSSEN, 2010).

Para as vias de formação de H₂ em condições de baixas comparadas às de altas concentrações desse gás, o ΔG_T (mudança de energia livre) é mais negativo, ou seja, mais energia é liberada e disponibilizada para acoplar a processos relacionados ao crescimento. Sendo assim, a formação de butirato + H₂ ou acetato + butirato + H₂ serão as vias mais favoráveis em baixas concentrações de H₂, enquanto que a formação de acetato + propionato deve ser favorecida por altas concentrações desse gás. A consequência do efeito da concentração de H₂ sobre a termodinâmica da fermentação é que, sob condição em que a concentração desse gás no rúmen é elevada, sua produção torna-se desfavorável e as vias de formação de propionato são as mais favorecidas (JANSSEN, 2010).

As elevadas concentrações ruminiais de H₂ podem ser encontradas em três situações: após a ingestão de alimentos com alta taxa de degradação; em baixo pH ruminal e elevada taxa de passagem; ou quando há presença de inibidores da metanogênese.

Logo após a alimentação, as concentrações de H₂ aumentam devido à degradação do alimento. À medida que o alimento é digerido, e as concentrações de H₂ reduzem-se, as vias de produção desse gás tornam-se novamente favoráveis, fazendo com que a produção de propionato decresça e a de metano aumente (JANSSEN, 2010).

As proteínas são também fermentadas no rúmen, com conseqüente produção de metano, porém as variações nas condições ruminiais têm pouco impacto sobre a formação de H₂ e metano a partir da fermentação deste substrato, diferentemente do que ocorre na fermentação de carboidratos (JANSSEN, 2010).

2.7.3. Importância do metano para o ambiente ruminal

Como processo aceptor de elétrons terminal no rúmen, a metanogênese remove continuamente o H₂, um dos produtos finais de determinadas rotas de fermentação. Os efeitos adversos do acúmulo deste H₂ no ambiente ruminal incluem inibição da reoxidação do NADH e o acúmulo de lactato ou etanol, o que proporciona queda de pH e conseqüente redução da eficiência do crescimento de micro-organismos que degradam a fibra da dieta.

Na ausência dos micro-organismos metanogênicos ou quando há excesso de H₂, algumas bactérias utilizam vias alternativas para reoxidar o NADH e garantir o suprimento adequado de NAD oxidado, apesar destas vias levarem a uma menor produção de ATP por unidade de hexose fermentada (PEDREIRA *et al.*, 2005).

Portanto, o CH₄ é um subproduto da fermentação ruminal, e sua produção serve como principal “dreno” de hidrogênio (JOHNSON e JOHNSON, 1995), sendo vital para o ruminante. Sendo assim, a redução ou a eliminação da metanogênese requer o estabelecimento de outras rotas de remoção de elétrons (WEIMER, 1998).

O metabolismo de duas espécies ruminiais importantes na degradação de carboidratos fibrosos (*Ruminococcus albus* e *R. flavefaciens*) é influenciado pela pressão parcial de H₂ no rúmen e, portanto, pela atividade das metanogênicas. O sistema de transferência de H₂ interespecie acopla a reação oxidativa da espécie celulolítica *R. albus* com a reação redutora da comunidade *Archaea* metanogênicas (Figura 2). Em monocultura, as bactérias *R. albus* produzem etanol, acetato, H₂ e CO₂. Quando em co-cultura com metanogênicas, o NADH é utilizado para reduzir prótons a H₂, dando origem a acetato e CH₄ como produtos finais. Dessa forma, a formação de etanol é evitada, levando à maior produção de ATP por unidade de hexose fermentada (WOLIN e MILLER, 1988).

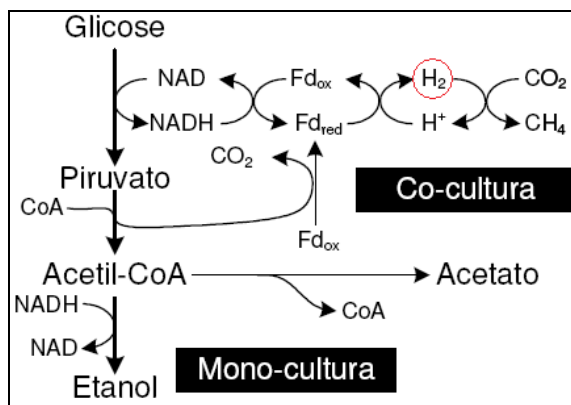


Figura 2. Fermentação de carboidratos por *Ruminococos albus* na presença e na ausência de metanogênicas. Fonte: Adaptado de Hobson (1988)

2.7.4. Influência da metanogênese sobre o metabolismo energético no animal

Com teor energético de 13,344 Kcal/g (HOLTER e YOUNG, 1992), o metano representa uma significativa perda de energia, impactando negativamente sobre o desempenho animal. As perdas associadas à produção diária de metano são estimadas entre 5,5 e 6,5% da energia bruta ingerida (JOHNSON e WARD, 1996). Entretanto, as mensurações realizadas em câmaras respirométricas (calorimetria indireta) mostraram grande variação na emissão de metano, de 2 a 12% da energia bruta ingerida (JOHNSON e JOHNSON, 1995).

Johnson *et al.* (1994) observaram produção de CH₄ de 256 L/dia em novilhos (9,1% da EB ingerida), 193,9 L/dia para novilhas (5,6% da EB) e 548,2 L/dia (5,7% da EB) para vacas em lactação. Yan *et al.* (2010) avaliaram dados obtidos em 20 estudos de metabolismo energético, realizados em câmaras respirométricas de fluxo aberto, envolvendo 579 vacas em lactação, com variação no mérito genético, número e fase da lactação e peso vivo. Os autores estudaram as taxas de emissão de metano entérico em relação a variáveis de eficiência de utilização de energia e de produtividade animal. Os resultados indicaram que a perda de energia na forma de CH₄ como proporção da energia bruta (EB) ingerida ou da energia do leite, foi negativamente relacionada aos níveis de produção leiteira, metabolizabilidade da energia (q) e eficiência de utilização da energia metabolizável para lactação (K_l). Portanto, a seleção de vacas leiteiras com elevados níveis de produção e eficiência de utilização de energia representa estratégia eficiente de mitigação. Tomando-se por base dados de ensaios nacionais (OLIVEIRA *et al.*, 2007; NASCIMENTO, 2007; FONTES *et al.*, 2011; MAGALHÃES *et al.*, 2009), é possível estimar que a energia contida no metano produzido diariamente poderia ser suficiente para proporcionar uma produção de até 4,3 Kg de leite/dia com 4% de gordura (energia líquida para produção de 1 Kg de leite com 4% de gordura = 0,7476 Mcal; NRC, 2001) ou ainda um ganho de peso de 780 g/dia (energia líquida para ganho de 1 Kg, considerando um bovino Nelore de 400 Kg = 4,12 Mcal; MARCONDES *et al.*, 2010).

2.7.5. Técnicas de mensuração

A avaliação da emissão de metano por meio de câmaras respirométricas é considerada como método padrão (*Standard Gold*) para a calibragem e desenvolvimento de novas metodologias. Nessa técnica há quantificação precisa dos gases produzidos (respiração, eructação e ejeção retal) e do consumo do animal, possibilitando ainda avaliar em conjunto o metabolismo energético (MACHADO *et al.*, 2011). Para a predição correta da produção diária de metano dos animais em câmara respirométrica, cuidado especial deve ser dado ao tempo de mensuração uma vez que a taxa de produção desse gás varia ao longo do dia (GRAINGER *et al.*, 2007).

Quando se trata de animais em condições de pastejo, um método alternativo para a mensuração da produção de metano tem sido utilizado. Johnson *et al.* (1994) desenvolveram o método do gás traçador atmosférico, o hexafluoreto de enxofre (SF₆), o qual é colocado no rúmen em um dispositivo de liberação constante.

2.8. Referências bibliográficas

ACUNHA, J.B.V., COELHO, R.W. Influência da altura e frequência de corte no capim-elefante anão. II. Relação folha/ colmo e área foliar. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 31, Maringá, 1994. **Anais ...** Maringá: SBZ, 1994, p.331.

AGNEW, R.E.; YAN, T. Calorimetry. In: DIJKSTRA, J.; FORBES, J.M.; FRANCE, J. (Eds). **Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism**. 2.ed., Wallingford, UK: CAB International, 2005. p.421-442.

AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL – AFRC. Nutrive requirements of ruminant animal: protein. **Nutrition Abstracts and Reviews**, n.9, p.65-71, 1992.

AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL: **Energy and protein requirements of ruminants**. Wallingford: CAB International, 1993. 159p.

ARMSTRONG, D. G., AND K. L. BLAXTER. The heat increment of steam-volatile fatty acids in fasting sheep. **British Journal Nutrition**. V. 11, p. 247-272, 1957.

ARMSTRONG, D. G.; K. L. BLAXTER. The utilization of the energy of carbohydrate by ruminants. In: BLAXTER, K.L. (Ed.), **The Energy Metabolism of Ruminants**, 2.ed. *Proceedings Symposium of Energy Metabolism in Farm Animals*. European Association for Animal Production (EAAP), publ. n.10. London: London Academic Press, 1961. p.442-456.

BARBOSA, G.S.S.C.; SAMPAIO, I.B.M.; GONÇALVES, L.C. *et al.* Fatores que afetam os valores de degradabilidade *in situ* da matéria seca de forrageiras tropicais: I. Dieta basal. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.50, p.731-735, 1998b.

BARBOSA, G.S.S.C.; SAMPAIO, I.B.M.; GONÇALVES, L.C. *et al.* Fatores que afetam os valores de degradabilidade *in situ* da matéria seca de forrageiras tropicais: III. Tamanho de partícula da amostra. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.50, p.741-744, 1998a.

BELL, M.J.; WALL, E.; SIMM, G.; *et al.* Effects of genetic line and feeding system on methane from dairy systems. **Animal Feed Science Technology**, v. 167, p. 699-707, 2011.

BENNET, H. W. Pasto Johnson, pasto alfombra y otras gramíneas para el sur humedo de los Estados Unidos. In: HUGUES, H. D.; HEATH, M. E.; METCALFE, D. S. (Ed.). **Forrajes**. México: C.E.C.S.A., 1976. Cap. 29, p. 321-34.

BERCHIELLI, T.T.; VEGAGARCIA, A.; OLIVEIRA, S.G. Principais técnicas de avaliação aplicadas em estudo de nutrição. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. (Eds). **Nutrição de Ruminantes**. 2.ed. Jaboticabal: Funep, 2011. p.565-600.

BLAXTER, K. L. **The Energy Metabolism of Ruminants**. Illions:Springfield, 1962. 187p.

BLAXTER, K.L. Techniques in energy metabolism studies and their limitations. **Proceedings of Nutrition Society**, v.26, p.86-96, 1967.

BLUMMEL, M., ØRSKOV, E. R.. Comparison of in vitro gas production and náilon bag degradability of roughages in predicting food intake in cattle. **Animal Feed Science and Technology**. v.40, p.109-119, 1993.

BONDI, A.A. **Animal Nutrition**. Magnes Press, The Hebrew University of Jerusalem. 1987. 556p.

BROUWER, M. Report of sub-committee on constants and factores. In: SYMPOSIUM OF ENERGY METABOLISM HELD AT EUROPEAN ASSOCIATION FOR ANIMAL PRODUCTION, 1965, London. **Proceedings...** London: EAAP Academic, 1965. p. 441-443.

BRUNKEN, J.N. A systematic study of *Pennisetum* Sect. *Pennisetum* (Gramineae). **American Journal of Botany**, v. 64, n. 2, p. 161-76. 1977.

CAMPOS, P.R.S.S.; VALADARES FILHO, S.C.; CECON, P.R. *et al.* Estudo comparativo da cinética de degradação ruminal de forragens tropicais em bovinos e ovinos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.58, p.1181-1191, 2006.

CARVALHO, L. de A. *Pennisetum purpureum* Schum. Boletim de Pesquisa, Coronel Pacheco, v. 10, p.86, 1985.

CASTRO, G.H.F.; GRAÇA, D.S.; GONÇALVES, L.C.; *et al.* Cinética de degradação e fermentação ruminal da *Brachiaria brizantha* cv. marandu colhida em diferentes idades ao

corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, p.1538-1544, 2007.

CHWALIBOG, A. **Physiological basis of heat production – The fire of life**. Research School of Nutrition and Physiology, 2004.

COCK, L.M.; POULTON, B.R.; HOOVER, W.H. *et al.* Dietary Nitrogen Effect on Ruminant Heat Increment. **Journal of Animal Science**, v.26, n.4, p.845-848, 1967.

CONE, J. W., VAN GELDER, A. H., VISSCHER, G. J. W. *et al.* Influence of rumen fluid and substrate concentration on fermentation kinetics measured with a fully automated time related gas production apparatus. **Animal Feed Science and Technology**. v.61, p.113-128, 1996.

CÓSER, A.C.; PEREIRA, AV. **Forrageiras para corte e pastejo**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2001. 37p. (Embrapa Gado de Leite. Circular Técnica, 66).

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

CZERKAWSKI, J. W. Methane production in ruminants and its significance. **World Reviews Nutrition Diet** v. 11, p. 240-282, 1969.

DHANO, M.S., McALLAN, A.B., e FRANCE, J. A new gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminal feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v. 48, p. 185-197, 1994.

DIENER, J. R.C. Calorimetria indireta. **Revista da Associação Médica Brasileira**. v.43, n.3, p.245-253, 1997.

DOREAU, M.; B.; OULD-BAH, M.Y. In vitro and in sacco methods for the estimation of dietary nitrogen degradability in the rumen: a review. **Animal Feed Science Technology**, v.40, p.57-86, 1992.

EUN, J.S.; FELLNER, V.; GUMPERTZ, M.L. Methane production by mixed ruminal cultures incubated in dual-flow fermentors. **Journal of Dairy Science**, v.87, p.112-121, 2004.

FARIA, B.N.; REIS, R.B.; MAURÍCIO, R.M.; *et al.* Efeitos da adição de propilenoglicol ou monensina à silagem de milho sobre a cinética de degradação dos carboidratos e produção cumulativa de gases in vitro. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 60, p. 896-903, 2008.

FARIA, V.P. de Evolução no uso do Capim-elefante; uma visão histórica. In: SIMPOSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 10, 1993, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ. p. 19-45, 1993.

FARIA, V.P. Formas de uso do capim-elefante. In: PASSOS, L.P.; CARVALHO, L.A.; MARTINS, C.E. **II Simpósio sobre capim-elefante**. Juiz de Fora: EMBRAPA-CNPGL, 1994. p.139-148.

FERREIRA, J.J. Alternativas de suplementação e valor nutritivo do capim-elefante sob pastejo rotacionado. **Informe Agropecuário**, v.19, n.192, p.66-72, 1998.

FERREL, C. L.; OLTJEN, J. W. Net energy systems for beef cattle: Concepts. **Journal of Animal Science**. V. 86, p.2779-2794, 2008.

FINLAY, B.J.; ESTEBAN, G.; CLARKE, K.J.; WILLIAMS, A.G.; EMBLEY, T.M; HIRT, R.P. Some rumen ciliates have endosymbiotic methanogens. **FEMS Microbiology Letters**, v.117, p.157-161, 1994.

FONDEVILLA, M.; BARRIOS, A. The gas production and its application to the study of the nutritive value of forages **Cuban Journal Agricultural Science** v.35, n.3, p.187-199, 2001.

FONTES, C.A.A.; BERNDT, A.; COSTA, V.A.C.; *et al.* Emissão de metano por bovinos de corte, suplementados ou não, em pastagem de capim mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça). I-Perdas energéticas. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 48, 2011, Belém. **Anais...** Belém: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2011. (CD-ROM).

FONTES, C.A.A.; OLIVEIRA, R.C.; ERBESDOBLER, E.A. *et al.* Uso do abate comparativo na determinação da exigência de energia de manutenção de gado de corte, pastejando capim-elefante: descrição da metodologia e resultados. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.5, p.1721-1729, 2005b.

FONTES, C.A.A.; OLIVEIRA, R.C.; ERBESDOBLER, E.D. *et al.* Conteúdo de energia líquida para manutenção e ganho do capim-elefante e mudanças na composição corporal de novilhos em pastejo, durante a estação chuvosa. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.5, p.1711-1720, 2005a.

FOX, D.G., TYLUTKI, T.P., TEDESCHI, L.O *et al.* **The Net Carbohydrate and Protein System for evaluating herd nutrition and nutrient excretion**. Ithaca, NY: Cornell University, 2003. 202p.

GEAY, Y. Energy and protein utilization in growing cattle. **Journal of Animal Science**, v.58, n.3, p.766-778, 1984.

GETACHEW, G., MAKKAR, H.P.S., BECKER, K. The in vitro gas coupled with ammonia measurement for evaluation of nitrogen degradability in low quality roughages using incubation medium of different buffering capacity. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 1997 in press.

GETACHEW, G.; BLÜMMEL, M.; MAKKAR, H.P.S. *et al.* *In vitro* gas measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: a review. **Animal Feed Science and Technology**. v.72, p. 261-281, 1998.

GONÇALVES, L. C.; TOMICH, T. R.; JAYME, D. G.; *et al.* Avanços e desafios tecnológicos na avaliação de forrageiras tropicais. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 29, 2012, Brasília. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Zootecnia, [2012]. (CD-ROM)

GONZALEZ, J.; CENTENO, C.; MORUJO, N.; *et al.* In situ ruminal amino acid degradability of green and ensiled Italian rye-grass according to particle transit model and microbial contamination correction. **Livestock Science**, v. 123, p. 209-214, 2009.

GRAINGER, C.; CLARKE, T.; MCGINN, S. M. *et al.* Methane emissions from dairy cows measured using the sulphur hexafluoride (SF₆) tracer and chamber techniques. **Journal of Dairy Science**, v.90, n.6, p.2755–2766, 2007.

GRANATO, L. O. **Capim-elefante** (*Pennisetum purpureum* Schum.). São Paulo: Secretaria de Agricultura, 1924, 96p.

HEGARTY, R. **Greenhouse gas emissions from the Australian livestock sector what do we know, what can we do?** Canberra, NSW Agriculture Australian Greenhouse Office, 2001. 35p

HOBSON, P.N. (Ed.) **The rumen microbial ecosystem**. New York: Elsevier, 1988.p.343-359.

HOLTER, J. B., YOUNG, A. J. Methane prediction in dry and lactating Holstein cows. **Journal of Dairy Science**, v. 75, p. 2165-2175, 1992.

HUNGATE, R. E.; SMITH, W; BAUCHOP, T.; *et al.* Formate as an intermediate in the rumen fermentation. **Journal Bacteriology**,. v. 102, p. 384-397, 1970.

HUNTINGTON, J.A.; GIVENS, D.I. The *in situ* technique for studying the rumen degradation of feeds: a review. **Nutrition Abstracts and Reviews**, v.65, p.63-93, 1995.

IMMIG, I. The rumen and hindgut as a source of ruminant methanogenesis. **Environmental Monitoring and Assessment**, 42: 57-72, 1996.

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

JACQUES, A.V.A. Caracteres morfofisiológicos e suas implicações no manejo. In: CARVALHO, M.M. *et al.* (Eds.) **Capim-elefante: produção e utilização**. 2. ed. ver. Brasília: EMBRAPA – CNPGL, p.31-46,1997.

JANSSEN, P. H.; KIRS, M.. Structure of the archaeal community of the rumen. **Appl. Environment Microbiology**. v. 74, p. 3619-3625, 2008.

JAYME, D.G.; GONÇALVES, L.C.; MAURÍCIO, R.M. *et al.* Avaliação pela técnica semi-automática de produção de gases (RTP) das silagens de quatro genótipos de girassol (*Helianthus annuus*) (Rumbosol 91, Victoria 627, Victoria 807 e Mycogen 93338). **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.60, p.621-627, 2009.

JOHNSON, D. E.; FERRELL, C. L.; JENKINS, T. G. The history of energetic efficiency research: Where have we been and where are we?. **Journal of Animal Science**. 2003. V. 81, p.27-38.

JOHNSON, D.E.; WARD, G.M. Estimates of animal methane emissions. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.42, p.133-141, 1996.

JOHNSON, K.; HUHLER, M.; WESTBERG, H. *et al.* Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a SF₆ tracer technique. **Environment Science Technology**, v.28, p.359- 362, 1994.

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

LAWRENCE, T.L.J.; FOWLER, V.R. **Growth of farm animals**. CAB International 1997, 321p.

LIMA, E.S.; SILVA, J. F. C.; VASQUEZ, H. M.; *et al.* Produção de matéria seca e proteína bruta e relação folha/colmo de genótipos de capim-elefante aos 56 dias de rebrota. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.5, p.1518-1523, 2007.

LIMA, E.S.; SILVA, J.F.C.; VÁSQUEZ, H.M.; ARAÚJO, S.A.C.; *et al.* Composição e digestibilidade *in vitro* de genótipos de capim-elefante, aos 56 dias de rebrota. **Archivos de zootecnia**, v.57, n.218, p.282, 2008.

LOBATO, F.C.L. **Avaliação agronômica, perfil de fermentação e qualidade da silagem da *Brachiaria decumbens***. 2010. 53f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

LÓPEZ, S.; DIJKSTRA, J.; DHANOA, M.S. *et al.* A generic multi-stage compartmental model for interpreting gas production profiles. In: SAUVANT, D.; VAN MILGEN, J.; FAVERDIN, P. *et al.* (Eds.), **Modelling nutrient digestion and utilisation in farm animals**: Wageningen Academic Publishers. Part 3. 2011. p.139-147.

MACHADO, F.S.; PEREIRA, L.G.R.; GUIMARÃES JUNIOR, R.; *et al.* **Emissões de metano na pecuária: conceitos, métodos de avaliação e estratégias de mitigação**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2011. 92p. (Embrapa Gado de Leite. Documentos, 147).

MACHADO, P.A.S.; VALADARES FILHO, S. C.; VALADARES, R. F. D.; *et al.* . Avaliação nutricional do capim-elefante (Cameroon) em diferentes idades de rebrotação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 6, p.1121-1128, 2008.

MAGALHÃES, K.A.; REIS, R.A.; CASAGRANDE, D.R.; CARDOZO, M.V.; *et al.* Utilização da técnica do gás traçador SF₆ para medição do metano ruminal em novilhos zebuínos alimentados exclusivamente com forrageiras tropicais. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 46, 2009, Maringá. **Anais...** Maringá: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2009. (CD-ROM).

MARCONDES, M.I.; CHIZZOTTI, M.L.; VALADARES FILHO, S.C.; *et al.* Exigências nutricionais de energia para bovinos de corte. In: VALADARES FILHO, S.C.; MARCONDES, M.I.; CHIZZOTTI, M.L.; PAULINO, P.V.R. **Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados - BR CORTE**. 2.ed. Viçosa: Suprema Gráfica Ltda. p. 85-112, 2010.

MARINUCCI, M.T.; DEHORITY, B.A.; LOERCH, S.C. *In vitro* and in situ studies of factors affecting digestion of feeds in synthetic fiber bags. **Journal Animal Science**, v.70, p. 296-307, 1992.

MAURICIO, R.M., MOULD, F.L., DHANOA, M.S., OWEN, E., CHANNA, K.S., THEODOROU, M.K. A semi-automated in vitro gas production technique for ruminants feedstuff evaluation. **Animal Feed Science and Technology**, 79:321-330. 1999.

MCALLISTER, T.A.; NEWBOLD, C.J. Redirecting rumen methane to reduce methanogenesis. **Australian Journal Experience Agricultural**, v. 48, p. 7-13, 2008.

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

McBRIDE, B.W.; KELLY, J.M. Energy cost of absorption and metabolism in the ruminant gastrointestinal tract and liver: a review. **Journal of Animal Science**, v.68, n.9, p.2997-3010, 1990.

McDONALD, I. A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. **The Journal of Agricultural Science**, v.96, n.1, p.251-252. 1981.

MEHREZ, A.Z., ØRSKOV, E.R., McDONALD, I. Rate of rumen fermentation in relation to ammonia concentration. **British Journal Nutrition**, v.38, n.3, p.437-443, 1977.

MENKE, K. H., RAAB, L., SALEWSKI, A., *et al.* The estimation of the digestibility and energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they incubated with liquor In Vitro. **The Journal of Agricultural Science**, v.93, p. 217-222, 1979.

MENKE, K.H., STEINGASS. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and gas production using rumen fluid. **Animal Research and Development**, 28, 7-55, 1988.

MERTENS, D.R. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. **Journal of Animal Science**, v.64, p.1548-1558, 1987.

MERTENS, D.R. Rate and extent of digestion. In: FORBES, J.M.; FRANCE, J. **Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism**. Londres: CAB International, 1993. Cap. 2, p.14-51.

MICHALET-DOREAU, B., OULD-BAH, M.Y. In vitro and in sacco methods for estimation of dietary nitrogen degradability in the rumen: a review. **Animal Feed Science and Technology**, v.40, p.57-86, 1992.

MICHALET-DOREAU, B., VERITE, R., CHAPOUTOT, P. Methodologie de mesure de la degradabilite in sacco de l'azote des aliments dans le rumen. **Bulletin Technique C.R.Z.V., Theix I.N.R.A.** v.69, p.5-7,1987.

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

MORGAVI, D. P.; FORANO, E.; MARTIN, C.; NEWBOLD, J. Microbial ecosystem and methanogenesis in ruminants. **Animal**, v. 4, n. 7, p. 1024-1036, 2010.

MORVAN, B.; RIEU-LESME, F.; FONTY, G.; *et al.* In vitro interactions between rumen H₂-producing cellulolytic microorganisms and H₂-utilizing acetogenic and sulfate-reducing bacteria. **Anaerobe**, v. 2, p. 175-180, 1996.

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

MOSS, A.R.; JOUANY, J.P.; NEWBOLD, J. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. **Annales de Zootechnie**, v.49, p.231-253, 2000.

MOZZER, O.L. Avaliação e seleção de forrageiras para a Zona da Mata de Minas Gerais. In: Relatório Técnico do Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite, [s.n.], 1981-1985, Coronel Pacheco, **Anais...** Coronel Pacheco: EMBRAPA-CNPGL, 1986, p.81-8.

MURRAY, R. M.; BRYANT, A. M.; LENG, R. A. Rates of production of methane in the rumen and large intestines of sheep. **British Journal Nutrition**, v. 36, p.1-14, 1976.

NASCIMENTO, C.F.M. **Emissão de metano por bovinos Nelore ingerindo *Brachiaria brizantha* em diferentes estádios de maturação**. Pirassununga: USP, 2007, 67p. (Dissertação de Mestrado) – Universidade de São Paulo, 2007.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7.ed. Washington: National Academy Press, 2001. 362p.

NOCEK, J.E. Evaluation of specific variables affecting in situ estimates of dry matter and protein digestion. **Journal of Animal Science**, v.60, p.1347-1358, 1985.

NOCEK, J.E. *In situ* and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: a review. **Journal of Dairy Science**, v.71, p.2051-2069, 1988.

NOGUEIRA, Ú.T.; MAURÍCIO, R.M.; GONÇALVES, L.C. *et al.* Predição da degradação da matéria seca pelo volume de gases utilizando a técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.58, p.901-909, 2006.

NOGUERA, R.R.; SALIBA, E.O.; MAURICIO, R.M. Comparación de modelos matemáticos para estimar los parámetros de degradación obtenidos a través de la técnica de producción de gas. **Livestock Research for Rural Development**, v.16, n.11, [on-line]. 2004.

ODONGO, N.E.; BAGG, R.; VESSIE, G. *et al.* Long-term effects of feeding monensin on methane production in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.90, n.4, p.1781–1788, 2007.

OLIVEIRA, A. L. F.; CABRAL, L. S.; VALADARES FILHO, S. C.; *et al.* Efeito da fermentação de proteínas na cinética de produção de gases *in vitro*. In: ZOOTEC, REUNIÃO ANUAL, 2005, Campo Grande. **Anais...** Campo grande: ZOOTEC, 2005. (CD-ROM).

OLIVEIRA, S.G.; BERCHIELLI, T.T.; PEDREIRA, M.S.; *et al.* Effect of tannin levels in sorghum silage and concentrate supplementation on apparent digestibility and methane emission in beef cattle, **Animal Feed Science and Technology**, v.135, n.3, p. 236-248, 2007.

ØRSKOV, E .R. **Trails and trails in livestock research**. Aberdeen: Garamond, 2002. 204p.

ØRSKOV, E. R.; HOVELL, F.D.B.; MOULD, F. The use of the náilon bag technique for evaluation of feedstuffs. **Tropical Animal Production** v.5, p.195-213, 1980.

ØRSKOV, E.R.; MACLEOD, N.A. [1990]. Dietaryinduced thermogenesis and feed evaluation in ruminants. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 49, n.2, p.227237. 1990.

ØRSKOV, E.R.; McDONALD, J. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements of feed in weighted according to rate of passage. **Journal of Agricultural Science** (Cambridge), v.92, p.499-503, 1979.

ØRSKOV, E.R.; REID, G. W.; KAY, M. Predicting of intake by cattle from degradation characteristics of roughage. **Animal Production**, v.46, n.1, p.29-34, 1988.

OWENS, F.N.; GOETSCH, A.L. Ruminal fermentation. In: CHURCH, D.C. (Ed) **The ruminant animal: digestive physiology and nutrition**. Waveland Press, 1988. p.145-171.

PEDREIRA, M. S.; OLIVEIRA, S.G.; BERCHIELLI, T.T.; *et al.* Aspectos relacionados com a emissão de metano de origem ruminal em sistemas de produção de bovinos. **Archives of Veterinary Science**, v. 10, n. 3, p. 24-32, 2005.

PELCHEN, A.; PETERS, K.J., Methane emission from sheep. **Small Ruminant Research**. v. 1, p. 130-138, 1998.

PELL, A. N.; SCHOFIELD, P. Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion in vitro. **Journal Dairy Science**. v. 76, p.1063-1073, 1993.

PEREIRA, A.V. Germoplasma e diversidade genética do capim-elefante. In: PASSOS, L.P.; CARVALHO, L.A.; MARTINS, C.E. **II Simpósio sobre capim-elefante**. Juiz de Fora: EMBRAPA-CNPGL, 1994. p.1-11.

PEREIRA, A.V.; AUAD, A.M.; LÉDO, F.J.S.; BARBOSA, S. *Pennisetum Purpureum*. In: FONSECA, D.M. & MARTUSCELLO, J.A. (Ed), **Plantas Forrageiras**. Viçosa: UFV, 2010, cap. 6, p. 197-219.

PEREIRA, L. G. R. **Potencial forrageiro da cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.) para a produção de silagem**. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 2003. 134p. Dissertação (Doutorado em Ciência Animal).

PEREIRA, L.G.R; MAURÍCIO, R.M.; GONÇALVES, L.C; *et al.* Avaliação das silagens de girassol (híbrido m734) obtidas em diferentes épocas de ensilagem pela técnica in vitro semi-automática de produção de gases. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 42, p. 276-283, 2005.

PEREIRA, M.B., SAMPAIO, I.B.M. Variação da digestibilidade *in situ* segundo a forrageira testada, seu tratamento químico e a espécie bovina. In: encontro de pesquisa da escola de veterinária da UFMG, 13, 1992, Belo Horizonte. **Resumos...** Belo Horizonte: EV-UFMG, 1992, p.61.

PIRES, D.A.A.; GONÇALVES, L.C; RODRIGUES, J.A.S. *et al.* Qualidade e valor nutritivo das silagens de três híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) colhidos em diferentes estádios de maturação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.5, p.53-55, 2006

QUEIROZ FILHO, J.L.; DA SILVA, D.S.; NASCIMENTO, I.S. Produção de matéria seca e qualidade do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schm.) cultivar roxo em diferentes idades de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia.**, v.29, n.1, p.69-74, 2000.

QUIN, J. I. Studies on the alimentary tract of merino sheep in South Africa 7. Fermentation in the forestomachs of sheep. **Onderspoor Journal of Veterinary Science and Animal Industry** v.2, p. 91–117, 1943.

REES, E.M.R.; LLOYD, D.; WILLIAMS, A.G. The effects of co-cultivation with the acetogen *Acetitomaculum ruminis* on the fermentation metabolism of the rumen fungi *Neocallimastix patriciarum* and *Neocallimastix* sp. Strai L2. **FEMS Microbiology Letters** v. 133, p. 175-180, 1995.

RESENDE, K.T.; TEIXEIRA, I.A.M.A; FERNANDES, M.H.M.R. Metabolismo de energia. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. (Eds), **Nutrição de Ruminantes**. 2.ed., Jaboticabal: FUNEP; 2011. p.323-344.

RIBEIRO JÚNIOR, G.O., **Características agronômicas e qualidade das silagens do capim *Andropogon gayanus* em quatro idades de corte e perfil de fermentação da silagem aos 56 dias de crescimento**. 2009. 46f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

RODRIGUES, L.R.A.; MONTEIRO, F.A.; RODRIGUES, T.J.D. Capim-elefante. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM 17., 2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2000. p.135-156.

RODRIGUEZ, N. M. ; CAMPOS, W. E. ; LACHICA, M. L. ; *et al.* A calorimetry system for metabolism trials. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 59, p. 495-500, 2007.

ROMERO, F. **Utilización de la técnica de digestión in situ para la caracterización de forrajes**. In: RUIZ, M.E.; RUIZ, A. (Ed.) Nutrición de rumiantes: guía metodológica de investigación. San José: RISPAL, 1990. p.105-114.

RYMER, C.; HUNTINGTON, J.A.; GIVENS, D.I. Effects of inoculum preparation method and concentration, method of inoculation and pre-soaking the substrate on the gas production profile of high temperature dried grass. **Animal Feed Science and Technology**, v.78, n.3-4, p.199-213, 1999.

SAHIN,M.; GUVEN, I.; OZKAN, C.O *et al.* [2011]. Comparison of some mathematical models used in gas production technique. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, v.10, n.18, p.2465-2469, 2011.

SAMPAIO, I.B.M.; PIKE, D.J.; OWEN, E. Optimal design for studying dry matter degradation in the rumen. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 47, p.373-383, 1995.

SAUVANT, D., BERTRAND, D., GIGER, S. Variations and prevision of the in sacco dry matter digestion of concentrates and by-products. **Animal Feed Science and Technology**, v.13, p.7-23, 1985.

SBRISSIA, A. F.; SILVA, S. C. da. O ecossistema de pastagens e a produção animal. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2, 2001, Piracicaba, **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 731-758.

SCHOFIELD, P. Gas production methods. In: **Farm Animal Metabolism and Nutrition**. Wallingford (UK). CAB International. 450 p. 2000.

SILESHI, Z.; OWEN, E.; DHANOA, M.S.; THEODOROU, M.K. Prediction of in situ rumen dry matter disappearance of Ethiopian forages from an in vitro gas production technique using a pressure transducer, chemical analyses or in vitro digestibility. **Animal Feed Science and Technology**. v.61, p.73-87,1996.

STERN, M.D.; BACH, A.; CALSAMIGLIA, S. Alternative techniques for measuring nutrient digestion in ruminants. **Journal of Animal Science** , v.75, p. 2256-2276, 1997.

STUMM, C.K.; GIJZEN, H.J.; VOGELS, G.D.; Association of methanogenic bacteria with ovine rumen ciliates. **The British Journal of nutrition**. v. 47, p. 95-99, 1982

TCACENCO, F.A.; BOTREL, M. A. Identificação e avaliação de acessos e cultivares de capim – elefante. In: CARVALHO, M.M. *et al.*(Eds.) Capim – elefante: produção e utilização. 2.ed.rev. Brasília: EMBRAPA – CNPGL, p.1-30,1997.

TEIXEIRA, A. M. **consumo voluntário e digestibilidade aparente do capim-elefante Pennisetum purpureum Schum.) verde em diferentes idades de corte, em ovinos.** 2009. 39f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

THEODOROU, M. K.; WILLIAMS, B. A.; DHANOA, M. S. *et al.* A new gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminal feeds. **Animal Feed Science and Technology** v. 48, p. 185-197, 1994.

THIAGO, L.R.L.S. Utilização da técnica de degradação in situ para a avaliação de forragens e alimentos concentrados. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO DE RUMINANTES, 1994, Maringá. **Anais...**, Maringá: EDUEM, 1994, p.89-93.

TILLEY, J.M.A., TERRY, R.A. A two-stage technique for the “*in vitro*” digestion of forage crops. **Journal of British Grassland Society**, v.18, p.104-111, 1963.

TOKURA, M.; USHIDA, K.; MIYAZAKI, K.; *et al.* Methanogenesis associated with rumen ciliates. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 22, p. 137-143, 1997

TOMICH, T.R.; PEREIRA, L.G.R.; GUIMARÃES JÚNIOR, R. *et al.* **Adaptação de uma técnica *in vitro* para descrição da cinética de degradação ruminal da matéria seca de volumosos.** Corumbá: Embrapa Pantanal, 2006a, 4p. (Embrapa Pantanal, Comunicado Técnico, 57).

UDÉN, P. The effect of grinding and pelleting hay on digestibility, fermentation rate, digesta passage and rumen and faecal particle size in cows. **Animal Feed Science and Technology**, v.19, p.145-157, 1988.

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

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

VALADARES FILHO, S.C. Utilização da técnica *in situ* para avaliação dos alimentos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO DE RUMINANTES, 1994, Maringá. **Anais...**, Maringá: EDUEM, 1994, p.95-118.

VALADARES FILHO, S.C.; SILVA, J.F.C.; SANT'ANNA, R. *et al.* Contaminação bacteriana em resíduos da incubação ruminal de alguns alimentos em sacos de náilon. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.21, p.467-474, 1992.

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

VAZANT, E.S.; COCHRAN, C.; TITGEMEYER, E.C. Standardization of *in situ* techniques for ruminants feedstuff evaluation. **Journal Animal Science**, v.76, p. 2717-2729, 1998.

VICENTE-CHANDLER, J. Intensive grassland management in Puerto Rico. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.2, n.2, p.173-215, 1973.

WEAKLEY, D.C.; OWENS, F.N.; HEATH, D.G. *et al.* Particle size and soybean meal value for ruminants. **Journal of Animal Science**, v.45, p.268, 1977.

WEIMERP. J. Manipulating ruminal fermentation: a microbial ecological perspective. **Journal of Animal Science**, v. 76, p. 3114–3122, 1998.

WILLIAMS, A. G.; COLEMAN, G. S. **The rumen protozoa**. New York: Springer-Verlag, 1992.

WILLIAMS, B. A. Cumulative Gas-production Techniques for Forage Evaluation. In: GIVENS, D.I., OWEN, E., OMED, H.M. *et al.* (eds.). **Forage Evaluation in Ruminant Nutrition**. Wallingford: CAB International. 2000. 475 p.

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

WOLIN, M. J.; MILLER, T.L.; STEWART, C.S. Microbe-microbe interactions. In: HOBSON, P.N.; STEWART, C.S. **The rumen microbial ecosystem**. London: Blackie Academic & Professional. p.467-491. 1997.

WOLIN, M.J. Interactions between H₂-producing and methane-producing species. In: Schlegel, H. G.; Gottschalk, G.; Pfenning, N. (Eds.). **Microbial Production and utilization of gases (H₂, CH₄, CO)**. E. Gotze, K. G., Gottingen, Germany, pp. 141-150, 1976.

WOLIN, M.J. The rumen fermentation: a model for microbial interactions in anaerobic ecosystems. **Advances Microbiology Ecology**, v. 3, p. 49-77, 1979.

XAVIER, D. F., BOTREL, M. A., DAHER, R.F.*et al.* Caracterização morfológica e agrônômica de algumas cultivares de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum). Coronel Pacheco: EMBRAPA-CNPGL, p.24,1995 (EMBRAPA /CNPGL.Documentos).

YAN, T.; MAYNE, C. S.; GORDON, F. G. Mitigation of enteric methane emissions through improving efficiency of energy utilization and productivity in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 93, p. :2630-2638, 2010.

YOUSEF, M.K.; ROBERTSON, W.D.; JOHNSON, H.D. *et al.* Effect of ruminal heating on thyroid function and heat production of cattle. **Journal of Animal Science**, v.27, n.3, p. 677-683, 1968.

Capítulo III – Experimento I

Degradabilidade *in situ* dos componentes nutricionais do capim-elefante verde em diferentes idades de corte

3.1. Resumo

Objetivou-se com este trabalho determinar os valores da degradabilidade ruminal e os parâmetros da cinética de degradação dos nutrientes do capim-elefante verde cortado aos 56, 84 e 112 dias de crescimento. Para análise dos dados foi utilizado um delineamento experimental de blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas e as médias foram comparadas pelo teste SNK ($P < 0,05$). Em todos os tempos de incubação, o capim-elefante cortado aos 56 dias de idade apresentou os maiores valores de desaparecimento ruminal da matéria seca e proteína bruta, seguido pela idade de 84 dias e por último a idade de 112 dias. Para o desaparecimento da fibra insolúvel em detergente neutro e fibra insolúvel em detergente ácido, o capim cortado aos 56 dias se mostrou superior aos capins cortados nas demais idades a partir de 12 e 24 horas, respectivamente. As taxas constantes de degradação da matéria seca foram de 4,08; 3,29 e 2,25%/hora para o capim cortado aos 56, 84 e 112 dias, respectivamente. O maior potencial e taxa de degradação dos nutrientes indicam que o capim-elefante deve ser cortado aos 56 dias de crescimento para utilização como forragem verde.

Palavras-chave: cinética, estágio de maturação, rúmen

3.2. Introdução

Devido ao elevado potencial de produção de matéria seca, bom valor nutricional e versatilidade quanto à forma de utilização, o capim-elefante representa excelente opção como volumoso para os sistemas de produção de ruminantes.

Assim como as demais forrageiras tropicais, o capim-elefante sofre modificações em sua estrutura e composição química à medida que avança em seu estágio de maturação. O reflexo destas alterações é a queda do valor nutricional do capim em função da idade de corte. Apesar deste comportamento já ser bem documentado e estudado, a intensidade e velocidade na qual ocorrem estas alterações varia para cada planta forrageira.

A avaliação do valor nutricional das forrageiras em função da idade de corte pode ser realizada através de diferentes técnicas, sendo que o método *in vivo* considerado o mais preciso. Por outro lado, a técnica *in situ* possui as vantagens de ser menos trabalhosa e menos onerosa, além de utilizar um menor volume de amostra e ser capaz de descrever a degradabilidade ruminal do alimento. Esta metodologia, que baseia-se no uso de animais fistulados no rúmen e nas medidas de desaparecimento de frações das amostras

acondicionadas em bolsas mantidas em incubação ruminal por períodos pré-estabelecidos, apresentam altas correlações com os resultados obtidos *in vivo* (HUNTINGTON e GIVENS, 1995).

Este estudo teve como objetivo avaliar a degradabilidade ruminal do capim-elefante verde cortado em três diferentes idades, empregando-se a técnica *in situ* de incubação ruminal de sacos de náilon.

3.3. Material e métodos

3.3.1. Colheita do material

A parte de campo foi conduzida na Fazenda Experimental Professor Hélio Barbosa da Escola de Veterinária da UFMG, localizada no município de Igarapé, em Minas Gerais, A fazenda está situada a 20°04'31 de latitude Sul e 44°18'06 de longitude Oeste de Greenwich, com altitude média de 786 metros.

Na Figura 01 estão descritos os dados de precipitação pluviométrica, temperaturas máxima e mínima durante o período de crescimento do capim-elefante e foram obtidos de estação meteorológica localizada em Belo Horizonte (43 Km da área experimental).

Foi utilizada uma área de capim-elefante (*Pennisetum purpureum Schum.*) já estabelecida em latossolo vermelho escuro, que apresentava as seguintes características: pH= 7,6; Al⁺⁺⁺ = 0,01 cmol.carga/dm³; P= 0,5 mg/dm³; K= 97 mg/dm³ e índice de saturação de bases de 87,27%. No dia 06 de janeiro de 2007 foi realizado o corte de uniformização da área com roçadeira a 20 cm do nível do solo. Com base nas análises de fertilidade, granulometria e matéria orgânica do solo, foi feita uma aplicação de 300 Kg/ha do adubo comercial 20:05:20.

Nas idades experimentais, o capim foi cortado com roçadeira costal a 20 cm do solo e picado em picadeira estacionária em partículas de 10 a 30 mm. O material picado foi ensacado em sacos plásticos e imediatamente levado à Escola de Veterinária para ser armazenado em câmara fria a -17 °C.

Idades de corte (dias)	Data
56	03/03/2007
84	31/03/2007
112	28/04/2007

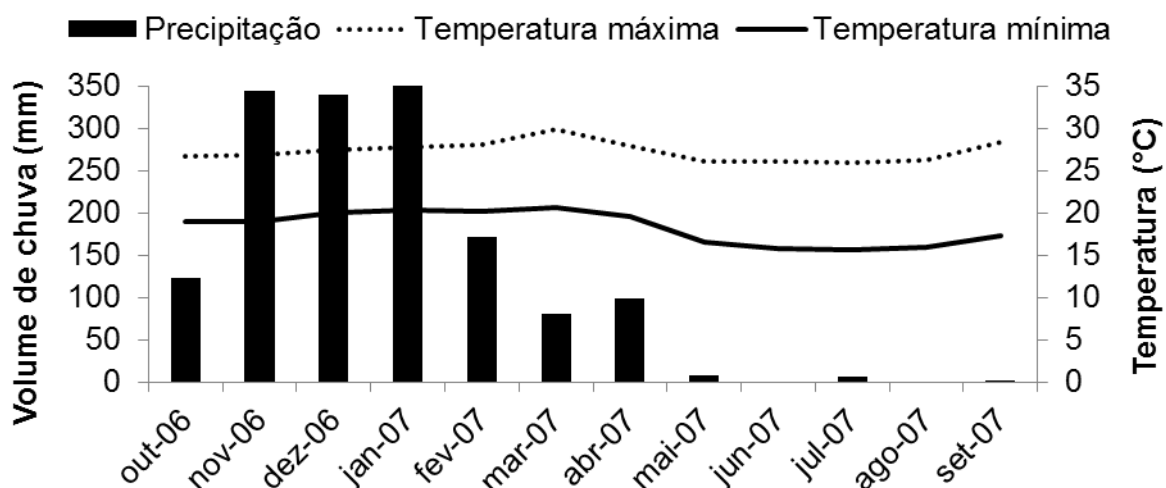


Figura 01. Condições climáticas durante o período de crescimento do capim-elefante. Fonte: Dados da Rede do INMET

Para avaliação da composição química do capim-elefante nas diferentes idades, foram executadas análises, em duplicatas, de matéria seca (MS) em estufa a 105°C (AOAC, 1980); proteína bruta (PB) e conteúdo de nitrogênio (N) pelo método de Kjeldahl (AOAC International, 1995); fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), fibra insolúvel em detergente ácido (FDA), hemiceluloses, celulose e lignina pelo método sequencial de Van Soest *et al.* (1991); energia bruta (EB) por combustão em bomba calorimétrica adiabática modelo PARR 2081 (AOAC, 1995); extrato etéreo (EE) (AOAC, 1995); nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN) e nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA) (VAN SOEST *et al.*, 1991).

3.3.2. Procedimento experimental

Para este ensaio foram utilizadas cinco vacas da raça Holandês (550 Kg de peso vivo), fistuladas no rúmen, mantidas na Fazenda Experimental Prof. Hélio Barbosa pertencentes à Escola de Veterinária da UFMG. Os animais foram mantidos em um piquete que dispunha de bebedouro e cocho, onde recebiam silagem de milho à vontade e 2 Kg de um concentrado comercial (20% de PB) por dia, no período de novembro de 2009. As cânulas eram inspecionadas e lavadas diariamente.

Foram utilizados sacos de náilon devidamente identificados de 7,5 cm de largura x 15 cm de altura, o que correspondia a uma área útil de 225 cm², e tamanho médio dos poros de 50 µm. Os sacos foram lavados em água corrente, secos a 55°C por 24h tendo seus pesos registrados. Em cada saco foram adicionados 5 g do capim pré-secado em estufa de ventilação forçada a 55 °C por 72 horas e moído a 5 mm, correspondendo a uma relação de 17 mg de amostra por cm².

Uma argola de metal com 2 (dois) centímetros de diâmetro foi colocada na extremidade aberta de cada saco, sendo o fechamento dos sacos realizado com presilhas de plástico. Os sacos foram fixados em uma corrente de aproximadamente 150 g, que funcionava com âncora, de forma a mantê-los em contato permanente com o líquido ruminal e posicionados no saco ventral do rúmen.

Os tempos de incubação adotados para a avaliação da degradabilidade *in situ* foram 6, 12, 24, 48 e 96 horas. Foram incubados dois sacos por tratamento para os tempos de 6 e 12 horas, três sacos para os tempos de 24 e 48 e quatro sacos para o tempo de 96h. Todos os tratamentos eram incubados e retirados em cada animal de forma conjunta em cada tempo seguindo o cronograma apresentado no Quadro 01.

Quadro 01. Cronograma de incubação ruminal

Tempo de incubação	Incubação		Retirada	
	Dia	Hora	Dia	Hora
06 horas	Dia 01	8:00	Dia 01	14:00
12 horas	Dia 01	8:00	Dia 01	20:00
24 horas	Dia 03	8:00	Dia 04	8:00
48 horas	Dia 01	8:00	Dia 03	8:00
96 horas	Dia 02	8:00	Dia 05	8:00

Uma vez retirados do rúmen, os sacos foram mergulhados em água fria por cinco minutos para cessar o crescimento e a fermentação microbiana. A lavagem dos mesmos foi em água corrente até que a água da lavagem saísse translúcida. Após a lavagem os sacos foram armazenados em bandejas e colocados em um freezer (-10°C) até serem processados. Ao término do procedimento, o material foi levado para o Laboratório de Nutrição Animal da EV da UFMG.

3.3.3. Procedimento laboratorial

As amostras foram descongeladas a temperatura ambiente e os teores de matéria pré-seca determinados em estufa de ventilação forçada a 55 °C por 72 horas. Os resíduos de incubação do mesmo animal, tempos de degradação e tratamentos foram homogeneizados, moídos em peneiras de 1 mm e acondicionados em frascos de plásticos fechados e identificados, para posteriores análises.

Nos resíduos de incubação e no material incubado foram realizadas análises, em duplicatas, de matéria seca (MS) em estufa a 105°C (AOAC, 1980); proteína bruta (PB) e conteúdo de nitrogênio (N) pelo método de Kjeldahl (AOAC International, 1995); fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), fibra insolúvel em detergente ácido (FDA), hemiceluloses, celulose e lignina pelo método sequencial de Van Soest *et al.* (1991).

A determinação do tempo zero (t_0) foi feita colocando-se aproximadamente 5 g de MS da amostra moídos a 5 mm nos sacos de náilon e lavando-as seguindo os mesmos procedimentos dos outros tempos de incubação. Por esse procedimento, foi possível determinar a fração solúvel de cada amostra.

3.3.4. Procedimento estatístico

Os parâmetros de degradabilidade *in situ* foram obtidos pelo algoritmo de MARQUARDT do programa estatístico computacional SAEG (EUCLYDES, 2005). Os dados das degradações dos constituintes da forrageira foram submetidos a uma análise de regressão, na qual foram regredidos ao modelo de Ørskov e McDonald (1979):

$$D = a + b(1 - \exp^{-ct})$$

em que:

D = percentagem de degradação após um tempo (*t*) de incubação no rúmen;

a = é o intercepto da curva de degradação no tempo zero, representando a fração rapidamente degradada do substrato (completamente degradado);

b = degradabilidade potencial do material que permaneceu na sacola de incubação após o tempo zero, que será degradado a partir deste momento e representa o substrato insolúvel potencialmente degradável (lentamente degradada);

c = taxa constante de degradação da fração *b* (%/hora);

t = tempo de incubação em horas.

O tempo de colonização foi estimado conforme McDonald (1981), de acordo com a seguinte equação:

$$TC = [(-1 / c) \times (\ln (A - S) / B)]$$

em que:

TC = tempo de colonização, em horas;

a, *b* e *c* são os mesmos parâmetro definidos na equação anterior;

S = fração solúvel determinada pela porcentagem de desaparecimento no tempo zero.

Para as frações dos constituintes da parede celular (FDN e FDA) a fração solúvel “S” foi considerada zero segundo Valadares Filho (1994).

A degradabilidade efetiva (DE) de cada componente nutricional foi calculada a partir do modelo proposto por Ørskov e McDonald (1979):

$$DE = S + [(B1*c) / (C+ K)]$$

em que:

DE = degradabilidade efetiva;

S = fração solúvel (tempo 0);

B1 = fração degradável (A – S);

c = taxa constante de degradação da fração que permanece no saco de náilon;

k = taxa fracional de passagem, sendo consideradas para este experimento as taxas de 0,02; 0,03 e 0,05 hora⁻¹, correspondente respectivamente aos tempos de permanência de 50, 33 e 20 horas respectivamente.

Para a análise dos dados de desaparecimento dos componentes nutricionais das forrageiras foi empregado um delineamento experimental de blocos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas, tendo os animais como blocos, as forrageiras como parcelas e os tempos de incubação como subparcelas, segundo o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + F_j + T_k + FT_{jk} + e_{ijk}$$

em que,

Y_{ijk} = valor referente à observação do capim-elefante verde em três idades de corte j, no animal i e no tempo de incubação k;

μ = média geral;

A_i = efeito do animal i (i = 1, 2, 3, 4, 5);

F_j = efeito da idade de corte j (j = 1, 2, 3);

T_k = efeito do tempo de incubação k (k = 6, 12, 24, 48, 96);

FT_{jk} = interação dos efeitos capim-elefante verde em três idades de corte j com o tempo de incubação k;

e_{ijk} = erro aleatório associado à observação.

As análises das médias foram comparadas empregando-se o teste Student-Newman-Keuls (SNK), a 5% de probabilidade. A decomposição da análise de variância seguiu o esquema apresentado na Tabela 01.

Tabela 01. Análise de variância para o delineamento de blocos ao acaso com parcelas subdivididas

Fontes de variação	gl.
Total	14
Idades de Corte (parcelas)	2
Animal (blocos)	4
<i>Erro (A)</i>	8
Total de sub-parcelas	74
Parcelas	14
Tempo (sub-parcelas)	4
Idades x tempos	8
<i>Erro (B)</i>	48

3.4. Resultados e discussão

3.4.1. Valor nutricional do capim-elefante

Os teores de matéria seca apresentaram aumento com o avanço da idade de corte, variando entre 17,08 e 25,20% (Tabela 02) para o capim cortado aos 56 e 112 dias, respectivamente. Lima *et al.* (2008) avaliando genótipos de capim-elefante cortados aos 56 dias de crescimento encontraram valores de MS que variaram de 10,11 a 12,43%.

Tabela 02. Composição química e valores de energia bruta do capim-elefante verde em três idades de corte

Nutriente	Idade de corte (dias)		
	56	84	112
Matéria seca (MS)	17,08%	22,44%	25,20%
Matéria orgânica (MO) ¹	88,80%	91,56%	92,90%
Proteína bruta (PB) ¹	10,91%	6,89%	5,05%
Nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN) ²	21,40%	29,08%	34,60%
Nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA) ²	6,21%	11,79%	15,49%
Extrato etéreo (EE) ¹	2,27%	1,68%	1,45%
Fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) ¹	66,76%	71,62%	74,05%
Fibra insolúvel em detergente ácido (FDA) ¹	37,19%	44,77%	44,53%
Lignina (Lig) ¹	3,59%	5,60%	6,51%
Hemiceluloses (Hcel) ¹	29,57%	26,85%	29,52%
Celulose (Cel) ¹	33,60%	39,17%	38,02%
Cinzas ¹	11,20%	8,44%	7,10%
Digestibilidade <i>in vitro</i> da MS (DIVMS) ¹	69,44%	58,62%	53,99%
Energia bruta (Mcal / Kg MS)	4,03	4,03	4,04

¹ Porcentagem da matéria seca. ² Porcentagem do nitrogênio total.

Silva *et al.* (2007) trabalhando com capim-elefante cultivar cameroon em diferentes idades de rebrota encontraram teores de MS de 9,20; 9,71; 13,46; 15,51 e 17,51% para o capim com 33, 48, 63, 78 e 93 dias de crescimento, respectivamente, sendo inferiores aos deste experimento. Durante o processo de descongelamento do alimento para fornecimento aos animais, podem ter ocorrido perdas de água intrínseca da planta justificando a superioridade dos valores de MS deste experimento em relação à literatura. Estas possíveis perdas de água estariam facilitadas pelo fato da estrutura física da forragem ter sido alterada após sua passagem na picadeira.

Apenas o capim cortado aos 112 dias (5,05%) apresentou teor de proteína bruta inferior ao intervalo de 6 a 8% determinado por Van Soest (1994), como sendo o mínimo necessário para proporcionar um adequado desenvolvimento dos micro-organismos ruminais. A variação encontrada para o teor de PB foi semelhante ao intervalo descrito por Machado *et al.* (2008) para o capim-elefante cv. Cameroon com idade de rebrotação entre 33 e 93 dias (5,18 a 14,10%). Os valores de NIDN e NIDA obtidos para o capim-elefante nas diferentes idades variaram de 21,40 a 34,60% e de 6,21 e 15,49%, respectivamente, sofrendo aumento com o avanço da idade de corte.

Considerando-se que a fração NIDA não é degradada pelas bactérias ruminais bem como não fornece aminoácidos pós-ruminalmente e alta percentagem da fração NIDN escapa da degradação no rúmen (SNIFFEN *et al.*, 1992), o teor de proteína bruta da forragem passa a ser mais limitante com o avanço da idade de corte já que parte da proteína torna-se pouco disponível ou indisponível aos micro-organismos ruminais e ao animal.

Os valores de FDN variaram de 66,76 a 74,05% para o capim cortado aos 56 e 112 dias, respectivamente. Castro (2008) observou que os teores de fibra insolúvel em detergente neutro e fibra insolúvel em detergente ácido do capim Tanzânia apresentaram comportamento linear em função da idade. Este aumento no teor de FDN com o avanço do crescimento da forragem é determinado pelo espessamento da parede celular vegetal e redução do lúmen e conteúdo celular (WILSON, 1997; ALVES de BRITO, 1997). O valor de FDA para o capim cortado aos 56 dias (37,19%) foi inferior aos valores encontrados por Lima *et al.* (2008) para diferentes genótipos de capim-elefante na mesma idade de rebrota, que variaram de 42,37 a 47,53%. O menor teor lignina foi observado para o capim cortado aos 56 dias de rebrota (3,59%).

Houve pequenas variações quanto aos teores de hemiceluloses entre as idades de corte. De acordo com Chesson e Forsberg (1997), com a maturidade da forrageira, observam-se alterações mais significativas com relação à composição dos carboidratos das Hcel do que em sua concentração na planta. Os capins cortados aos 56, 84 e 112 dias apresentaram teores de celulose de 33,60; 39,17 e 38,02%, respectivamente.

Os teores de matéria orgânica aumentaram com o avanço da idade de corte, apresentando, logicamente, comportamento inverso ao observado para os valores de cinzas. Os teores de EE variaram de 2,27 a 1,45% para o capim-elefante com 56 e 112 dias de crescimento, respectivamente. Em plantas forrageiras, cerca de 50% do conteúdo da fração EE

correspondem a óleos essenciais ou apenas substâncias solúveis em solvente apolar com valor nutricional irrisório (VAN SOEST, 1994).

Para a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) os valores foram 69,44; 58,62 e 53,99% para as idades de 56, 84 e 112 dias, respectivamente. O valor de DIVMS observado para o capim cortado aos 56 dias foi superior aos valores observados por Lima *et al.* (2008) que variaram entre 50,43 e 64,78% para diferentes genótipos de capim-elefante na mesma idade de corte. Segundo Faria Junior (2012), os coeficientes de digestibilidade *in vitro* da matéria seca do capim-Tifton 85 reduziram linearmente de 69,7 para 53,7% quando a idade de corte da forrageira passou de 27 para 90 dias de rebrota.

Por serem constituídas principalmente de carboidratos, a energia bruta resultante da completa combustão de plantas forrageiras é de aproximadamente 4,1 Mcal/kg (RESENDE *et al.*, 2011), valor muito semelhante ao encontrado neste trabalho.

3.4.2. Matéria seca

Com avanço da idade de corte houve redução da degradabilidade potencial, sendo que as idades de 84 e 112 dias apresentaram valores muito próximos (Tabela 03). A taxa constante de degradação da matéria seca (c) apresentou este mesmo comportamento, com valores variando entre 3,25 e 4,08%/hora. Para a *lag time* (tempo de colonização) foram observados valores negativos, o que não representa uma resposta biológica, e por isso, não estão descritos. Entretanto, por ser uma equação matemática valores sem significado biológico podem ser encontrados, como descrito nos trabalhos de Borges (1995), Tomich *et al.* (2003), Ramirez (2011) e Velasco (2011). Os altos valores dos coeficientes de determinação encontrados indicam a boa adequação dos resultados de desaparecimento de matéria seca ao modelo proposto por Ørskov e McDonald (1979). A degradabilidade efetiva calculada para as taxas de passagem de 2,0; 3,0 e 5,0%/h foram superiores para o capim colhido mais novo (56 dias), com valores de 59,74; 54,48 e 47,44%, respectivamente.

Tabela 03. Parâmetros de degradabilidade ruminal e degradabilidade efetiva da matéria seca do capim-elefante verde cortado aos 56, 84 e 112 dias de crescimento

Idades de corte (dias)	a (%)	b (%)	c (%/h)	DP	R ²	DE (%/h)		
						2,0	3,0	5,0
56 ¹	22,52	55,47	4,08	77,99	0,97	59,74	54,48	47,44
84 ²	20,76	48,53	3,29	69,29	0,96	50,94	46,14	40,02
112 ³	17,40	50,93	2,25	68,33	0,96	44,36	39,23	33,21

¹D = 22,52 + 55,47(1-e^{-0,0408t}); ²D = 20,76 + 48,53(1-e^{-0,0329t}); ³D = 17,40 + 50,93(1-e^{-0,0225t}). a = fração rapidamente degradável; b = fração lentamente degradável; c = taxa constante de degradação da fração b; DP = degradabilidade potencial; DE = degradabilidade efetiva nas taxas de passagem ruminal de 2,0; 3,0 e 5,0%/hora.

Silva *et al.* (2008) encontraram valores de “a” e “b” variando de 26,4 a 31,5% e 38,6 a 43,2%, respectivamente, para o capim-elefante cortado nas idades de 40, 47, 54 e 61 dias. Segundo estes autores, as taxas constantes de degradação da matéria seca estiveram entre 2,4 e 2,8%/hora, sendo estes inferiores ao do presente estudo. Em relação à fração solúvel, Mello *et al.* (2006) obtiveram valor médio de 26,9% para o capim-elefante aos 60 dias de rebrota, estando próximo ao capim-elefante cortado aos 56 dias. Para o capim *B. decumbens* cortado entre 56 e 112 dias, Velasco (2011) encontrou degradabilidades potenciais da MS de 61,62 a 72,23%, enquanto que para o Tifton 85 com idade entre 27 e 84 dias, Carvalho (2012) relatou valores um pouco superiores e mais próximos ao do presente estudo, variando de 66,01 a 79,32%.

Avaliando diferentes clones de capim-elefante, Mello *et al.* (2006) verificaram uma taxa de degradação da MS de 6,0%/hora para o grupo de clones com maior relação F/C, possivelmente em razão da maior quantidade de folhas e de tecidos não-estruturais, menos lignificados que os tecidos do colmo. De forma semelhante, no presente estudo o capim mais novo apresentou a maior taxa de degradação. Com avanço do estágio de maturação, há um aumento dos componentes de baixa degradabilidade, representados principalmente pelas frações fibrosas e lignina, os quais acompanham o desenvolvimento da parede celular que é responsável por conferir maior rigidez às plantas com o avançar da idade de corte (TAIZ & ZEIGER, 2004).

3.4.3. Proteína bruta

Para o capim-elefante a degradabilidade potencial da PB variou entre 56,52 e 84,80% (Tabela 04). Grande parte desta diferença está associada à solubilidade da fração proteica, já que enquanto o capim-elefante cortado aos 56 dias de crescimento apresentou uma fração solúvel de 45,09%, para as demais idades de 84 e 112 dias os valores foram 25,53 e 22,98%, respectivamente. Os valores obtidos para a fração potencialmente degradável foram próximos entre os tratamentos. Em relação à taxa de degradação o capim colhido aos 84 dias teve um valor de 8,96%/hora, bastante superior aos demais tratamentos. Este resultado não era esperado, porém o baixo valor do coeficiente de determinação (0,69) obtido para o capim nesta idade indica que o modelo utilizado não se adequou aos dados referentes à degradabilidade da proteína bruta especificamente deste tratamento. Considerando taxas de passagem de 2,0; 3,0 e 5,0%/hora, os maiores valores de degradabilidade efetiva da PB foram observados para o capim-elefante cortado aos 56 dias de crescimento, seguido pela idade de 84 dias e por último a idade de 112 dias.

Tabela 04. Parâmetros de degradabilidade ruminal e degradabilidade efetiva da proteína bruta do capim-elefante verde cortado aos 56, 84 e 112 dias de crescimento

Idades de corte (dias)	a (%)	b (%)	c (%/h)	DP	R ²	DE (%/h)		
						2,0	3,0	5,0
56 ¹	45,09	39,71	4,35	84,80	0,90	72,30	68,60	63,57
84 ²	25,53	39,27	8,96	64,79	0,69	57,63	54,95	50,73
112 ³	22,98	33,54	3,01	56,52	0,83	43,12	39,77	35,57

¹D = $45,09 + 39,71(1 - e^{-0,0435t})$; ²D = $25,53 + 39,27(1 - e^{-0,0896t})$; ³D = $22,98 + 33,54(1 - e^{-0,0301t})$. a = fração rapidamente degradável; b = fração lentamente degradável; c = taxa constante de degradação da fração b; DP = degradabilidade potencial; DE = degradabilidade efetiva nas taxas de passagem ruminal de 2,0; 3,0 e 5,0%/hora.

Boa parte do nitrogênio (14 a 34%) presente nas forragens está na forma de nitrogênio não proteico (VAN SOEST, 1994), a qual apresenta solubilidade instantânea e taxa de degradação no rúmen tendendo ao infinito (SANTOS, 2006). Este fato explica o elevado valor da fração solúvel obtido para o capim colhido mais novo. Chagas (2011) relatou que pastagens de capim-elefante manejadas intensivamente apresentaram até 31,4% do nitrogênio (N) total na forma de N solúvel.

Trabalhando com capim-elefante verde colhido aos 30 dias de rebrota, Tomich (2003) relatou elevada degradabilidade potencial da PB (96,5%) porém, com degradabilidades efetivas de 65,0 e 54,3 para taxas de passagem de 2,0 e 5,0%/hora, respectivamente. Apesar do valor de DP ser superior ao do presente estudo, as degradabilidades efetivas foram inferiores, possivelmente devido à baixa taxa de desaparecimento ruminal (1,46%/hora).

3.4.4. Fibra insolúvel em detergente neutro

A fração potencialmente degradável da FDN do capim-elefante verde foi de 72,15; 61,44 e 64,20% para as idades de 56, 84 e 112 dias, respectivamente (Tabela 05). Devido aos baixos valores da fração solúvel, para a fibra insolúvel em detergente neutro os valores de degradabilidade potencial são praticamente equivalentes aos da fração potencialmente degradável. A taxa de degradação reduziu em função do avanço no estágio de maturação, variando de 2,03 a 3,89%/hora. Para as taxas de passagem de 2,0; 3,0 e 5,0%/hora, o capim-elefante verde apresentou percentuais de degradabilidade efetiva da FDN entre 18,70 e 47,67%. Assim como para a MS, os altos valores dos coeficientes de determinação encontrados indicam a boa adequação dos resultados de desaparecimento de FDN ao modelo proposto por Ørskov e McDonald (1979).

Tabela 05. Parâmetros de degradabilidade ruminal e degradabilidade efetiva da fibra insolúvel em detergente neutro do capim-elefante verde cortado aos 56, 84 e 112 dias de crescimento

Idades de corte (dias)	a (%)	b (%)	c (%/h)	DP	R ²	DE (%/h)		
						2,0	3,0	5,0
56 ¹	0,03	72,15	3,89	72,18	0,96	47,67	40,76	31,59
84 ²	1,79	61,44	3,15	63,23	0,95	39,36	33,25	25,52
112 ³	0,13	64,20	2,03	64,33	0,95	32,50	26,07	18,70

¹D = 0,03 + 72,15(1-e^{-0,0389t}); ²D = 1,79 + 61,44(1-e^{-0,0315t}); ³D = 00,13 + 64,20(1-e^{-0,0203t}).

a = fração rapidamente degradável; b = fração lentamente degradável; c = taxa constante de degradação da fração b; DP = degradabilidade potencial; DE = degradabilidade efetiva nas taxas de passagem ruminal de 2,0; 3,0 e 5,0%/hora.

Segundo Mello *et al.* (2008), o capim-elefante cortado entre 40 e 61 dias de rebrota apresentou valor máximo para DP da FDN de 59,6%, valor este obtido para o capim mais jovem, sendo inferior ao valor obtido para o capim colhido aos 56 dias no presente estudo. Estes mesmos autores compararam o capim-elefante com híbridos de milho, colhidos em quatro estágios de maturidade, concluindo que a degradabilidade do capim-elefante foi superior à dos híbridos de milho, sugerindo um bom valor nutricional para este capim quando bem manejado.

Tomich (2003) trabalhando com capim-elefante verde cortado aos 30 dias de rebrota relatou uma degradabilidade potencial da FDN de 70,2% e taxa de degradação da FDN de 4,43%/hora. Para as taxas de passagem de 2,0; 5,0 e 8,0%/hora, este autor encontrou valores para a degradabilidade efetiva da FDN de 49,4, 34,7 e 27,1%, respectivamente. Estes valores são próximos aos resultados apresentados pelo capim-elefante verde cortado aos 56 dias de rebrota.

Apesar de técnica *in situ* não ser capaz de descrever a diferenciação entre a degradação ruminal e a digestão pós-ruminal dos alimentos (NOCEK, 1988; HUNTINGTON e GIVENS, 1995), para a fração FDN este fato se torna pouco relevante. Os valores obtidos para a degradabilidade potencial da FDN (64,33 a 72,18%) estão próximos aos descritos por Teixeira (2009) para esta mesma forragem utilizando ensaio de digestibilidade *in vivo* (57,19 a 71,40%).

3.5. Conclusões

Os resultados obtidos pelo desaparecimento *in situ* das diversas frações do capim-elefante indicam que a melhor idade de corte desta forrageira para utilização como forragem verde é a de 56 dias de crescimento.

3.6. Referências bibliográficas

ALVES DE BRITO, C.J.F. **Organização estrutural e degradação in vitro de tecidos em *Pennisetum purpureum* Schum.(Poaceae)**. Curitiba, PR: UFPR, 1997, 119p. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal do Paraná, 1997.

ASSOCIATION OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **International Official methods of analysis**, 16 ed. Washington, D.C.: Animal feed., cap.4, 1995.

ASSOCIATION OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**, 13 ed. Washington, D.C.: AOAC, 1015p, 1980.

BORGES, A.L.C.C. **Qualidade da silagem de híbridos de sorgo de porte alto, com diferentes teores de tanino e de umidade no colmo, e seus padrões de fermentação**. 1995. 104p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

CARVALHO, W. T. V. **Valor nutricional do feno de Tifton 85 em quatro idades**. 2012. 196p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

CASTRO, G.H.F. **Silagem de capim tanzânia (*Panicum maximum* cv Tanzânia) em diferentes idades**. 2008. 125p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

CHAGAS, L.J. **Teor de proteína no concentrado de vacas no terço inicial da lactação, mantidas em pasto de capim elefante. Piracicaba: Piracicaba: Esalq, 2011. 81f.** Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Esalq, 2011.

CHESSON, A.; FORSBERG, C.W. Polysaccharide degradation by rumen microorganisms. In: HOBSON, P.N. e STEWART, C.S. **The rumen microbial ecosystem**. Londres: Brackie Academic & Professional, 1997. Cap. 8, p.329-381.

EUCLYDES, R.F. **Manual de utilização do programa SAEG (Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas)**. Viçosa: UFV, 2005. 59p.

FARIA JUNIOR, W. G. **Valor nutricional de silagens do capim-Tifton 85 em diferentes idades**. 2012. 199p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

HUNTINGTON, J.A.; GIVENS, D.I. The *in situ* technique for studying the rumen degradation of feeds: a review. **Nutrition Abstracts and Reviews**, v.65, p.63-93, 1995.

MACHADO, P.A.S.; VALADARES FILHO, S. C.; VALADARES, R. F. D.; *et al* . Avaliação nutricional do capim-elefante (Cameroon) em diferentes idades de rebrotação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 6, p.1121-1128, 2008.

McDONALD, J. A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. **The Journal of Agricultural Science**, v.96, n.1, p.251-252. 1981.

MELLO, A.C.L.; LIRA, M.A.; DUBEUX, J.C.B.; *et al.*. Degradação ruminal da matéria seca de clones de capim-elefante em função da relação folha/colmo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n. 4, p. 1316-1322, 2006.

NOCEK, J.E. *In situ* and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: a review. **Journal of Dairy Science**, v.71, p.2051-2069, 1988.

ØRSKOV, E.R.; McDONALD, J. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements of feed in weighted according to rate of passage. **Journal of Agricultural Science** (Cambridge), v.92, p.499-503, 1979.

RAMIREZ, M.A. **Consumo e digestibilidade aparente de fenos de *Brachiaria decumbens*, stapf cultivar Basiliski cortados em três diferentes idades**. 2010. 48f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

RESENDE, K.T.; TEIXEIRA, I.A.M.A.; FERNANDES, M.H.M.R. Metabolismo de energia. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. (Eds), **Nutrição de Ruminantes**. 2.ed., Jaboticabal: FUNEP; 2011. p.323-344.

RODRIGURS, A.L.P.; SAMPAIO, I.B.M.; CARNEIRO, J.C.; *et al.* Degradabilidade *in situ* da matéria seca de forrageiras tropicais obtidas em diferentes épocas de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.56, p.658-664, 2004.

SANTOS, F.A.P. Metabolismo de proteínas. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. (Eds). **Nutrição de ruminantes**. Jaboticabal: FUNEP. 2006. p.255-284.

SANTOS, F.A.P.; PEDROSO, A.M. Metabolismo de proteínas. IN: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. (Eds) **Nutrição de ruminantes**. 2º Ed. Jaboticabal: FUNEP, 2011, p.265-297.

SILVA, L.F.P.; CASSOLI, L.D.; ROMA JUNIOR, L.C.; *et al.* *In situ* degradability of corn stover and elephant-grass harvested at four stages of maturity. **Scientia Agricola**, v.65, n. 6, p. 595-603, 2008.

SILVA, P.A.; VALADARES FILHO, S.C.; VALADARES, R.F.D.; CECON, P.R.; DETMANN, E.; PAIXÃO, M.L. Valor energético do capim-elefante em diferentes idades de rebrota e estimativa da digestibilidade *in vivo* da fibra em detergente neutro. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, n.3, 2007.

SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D.; VAN SOEST, P.J. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. **Journal Animal Science**. v.70, p.3562-3577, 1992.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2004, 719p.

TEIXEIRA, A. M. **consumo voluntário e digestibilidade aparente do capim-elefante *Pennisetum purpureum* Schum.) verde em diferentes idades de corte, em ovinos**. 2009. 39f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

TOMICH, T. R.; GONÇALVES, L. C.; MAURICIO, R. M. *et al.* Composição bromatológica e cinética de fermentação ruminal de híbridos de sorgo com capim-sudão. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia.**, v. 55, n. 6, p. 747-755, 2003.

TOMICH, T.R. **Potencial forrageiro de híbridos de sorgo com capim Sudão avaliados em regime de corte**. 2003. Belo Horizonte. 88p. Tese (Doutorado em Zootecnia).

VALADARES FILHO, S.C. Utilização da técnica *in situ* para avaliação dos alimentos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO DE RUMINANTES, 1994, Maringá. **Anais...**, Maringá: EDUEM, 1994, p.95-118.

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

VAN SOEST, P. J., ROBERTSON, J. B., LEWIS, B.A. Official for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal Dairy Science** , v.74, p. 3583-3597, 1991.

VELASCO, F. O. **Valor nutritivo da *Brachiaria decumbens* em três idades**. 2011. 98p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

WILSON, J.R. Structural and anatomical traits of forage influencing their nutritive value for ruminants. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTEJO, 1997, Viçosa. **Anais...** Viçosa: DZO-UFV, 1997. p.173-208.

Capítulo IV – Experimento II

Cinética de fermentação ruminal *in vitro* do capim-elefante verde em diferentes idades de corte

4.1. Resumo

Objetivou-se com este trabalho avaliar a cinética de fermentação dos gases associada à degradabilidade da matéria seca do capim-elefante verde cortado aos 56, 84 e 112 dias de rebrota por meio da técnica semi-automática de produção de gases. Para análise dos dados foi utilizado um delineamento experimental de blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas e as médias foram comparadas pelo teste SNK ($P < 0,05$). Não houve diferença entre as idades de corte para a produção de gases no período de fermentação de 6 horas. Para os demais tempos de fermentação, o capim-elefante apresentou produção cumulativa de gases superior aos demais tratamentos. As degradabilidades da matéria seca e da matéria orgânica apresentaram comportamento semelhante ao verificado para a produção cumulativa de gases. Após 96 horas de fermentação, as degradabilidades da matéria seca e da matéria orgânica variaram de 48,3 a 63,8% e 49,9 a 65,6%, respectivamente. O capim-elefante cortado aos 56 dias de crescimento apresentou o maior potencial de degradação e aproveitamento ruminal, sendo esta idade a recomendada para utilização como forragem verde.

Palavras-chave: degradabilidade, momento de colheita, produção de gás

4.2. Introdução

Dentre as gramíneas tropicais que atualmente são exploradas em sistemas de produção de ruminantes, o capim-elefante apresenta um dos se não o maior rendimento de matéria seca por área. Entretanto assim como as demais gramíneas tropicais apresenta ainda na fase de desenvolvimento vegetativo um alongamento de colmo, que, especificamente no seu caso, por ser uma planta de porte alto (até 6 metros) e de crescimento cespitoso merece grande importância.

Com o avanço no estágio de maturação do capim-elefante, Queiroz *et al.* (2000) observaram que houve inversão da relação folha:colmo, o que acarretou aumento dos teores de fibra insolúvel em detergente neutro e fibra insolúvel em detergente ácido, indicando uma queda do valor nutricional. Por isso, é importante explorar o potencial produtivo desta forrageira, porém é imprescindível que se determine o ponto ideal de utilização para alimentação animal, tendo em vista as mudanças que ocorrem em função da idade de corte.

Apesar de ser considerado como metodologia mais confiável, o método de digestibilidade *in vivo* apresenta os inconvenientes de requerer maior número de animais, controle rigoroso da quantidade ingerida e excretada e instalações adequadas, resultando normalmente em um elevado custo para realização da técnica. Por outro lado, técnicas *in vitro* proporcionam a avaliação de um grande número de amostras simultaneamente além de descrever a cinética de fermentação ruminal (MAURICIO *et al*, 1999).

Este estudo tem como objetivo avaliar a cinética de fermentação ruminal do capim-elefante verde cortado em três diferentes idades utilizando-se a técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases.

4.3. Material e métodos

Para a avaliação da cinética de fermentação ruminal foi utilizado o mesmo material colhido durante o experimento I.

4.3.1. Procedimento experimental

A avaliação do capim-elefante verde pela técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases, foi realizada conforme metodologia proposta por Maurício *et al.* (1999), sendo conduzida no laboratório de produção de gases da Escola de Veterinária da UFMG em março de 2010.

Os líquidos ruminais foram coletados de cinco (5) vacas da raça Holandês em lactação (média de 20 kg/dia e 550 kg peso vivo), fistuladas, mantidas na Fazenda Experimental Prof. Hélio Barbosa pertencentes à Escola de Veterinária da UFMG. Os animais foram mantidos em um piquete que dispunha de bebedouro e cocho, com dieta total à base de silagem de milho, 2 kg de feno de Tifton 85 e 6 kg de concentrado comercial por dia (20% de PB) dividido em duas porções diárias iguais. O líquido ruminal foi retirado via fístula ruminal pela manhã antes da alimentação dos animais e armazenado em garrafas térmicas previamente aquecidas.

4.3.2. Procedimento laboratorial

No laboratório de produção de gases, os frascos de fermentação de 160 mL foram gaseados com CO₂ para manter o máximo de anaerobiose. Foram adicionados 1g de substrato (capim pré-seco e moído a 1 mm – Experimento I) e 90 ml do meio de cultura preparado de acordo com a metodologia de Theodorou *et al.* (1994).

Os líquidos ruminais foram filtrados por meio de uma bolsa de dacron, com porosidade de 44 micras, sob injeção contínua de CO₂ e mantidos em banho-maria a 39°C. Os inóculos de

cada animal foram utilizados como fonte de repetição, sendo que cada tratamento foi submetido a cada tipo de inóculo separadamente. A inoculação foi realizada através da injeção de 10 mL de cada inóculo por frasco através de seringa plástica graduada. Os frascos foram tampados e após a inoculação de cada caixa de incubação, com capacidade para 28 frascos foi introduzida uma agulha (25 mm x 7 mm) nas tampas dos frascos, e retiradas imediatamente. As caixas contendo os frascos foram agitadas manualmente, e em seguida incubadas em estufa a 39°C, dando início a contagem dos tempos de fermentação.

As leituras de pressão foram realizadas em intervalos de 2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 19, 24, 30, 34, 48, 72 e 96 horas após incubação e transformadas em volume de gases pela equação definida por Maurício *et al.* (2003) $V = 4,43 P + 0,051 P^2 - 0,004$, em que V = volume (mL); P = pressão (psi).

As degradabilidades *in vitro* da matéria seca foram determinadas pela filtração do conteúdo dos frascos em cadinhos de borosilicato com porosidade 1 acrescidos de lã de vidro nos tempos de 6, 12, 24, 48 e 96 horas. Os cadinhos foram então mantidos por 24 horas em estufa à 105°C, sendo posteriormente pesados, e o peso utilizado para o cálculo da degradabilidade da matéria seca. Os cadinhos com os resíduos de matéria seca foram levados para uma mufla a 500°C durante três horas para determinação da matéria mineral, que foi utilizada para determinar a degradação da matéria orgânica.

4.3.3. Procedimento estatístico

Os dados da cinética de produção de gases e da degradabilidade foram submetidos a análise regressão pelo programa estatístico SAEG (EUCLYDES, 2005) e regredidos ao modelo de France *et al.* (1993):

$$Y = A \times \{1 - \exp[-b(t-L) - c \times (\sqrt{t} - \sqrt{L})]\}$$

em que,

Y = produção acumulativa de gases (ml);

A = máxima produção acumulada de gases (ml);

L = é o tempo de colonização (h);

b (h⁻¹) e c (h^{-0,5}) = taxas fracionais constantes;

t = tempo (h).

A taxa fracional média (h⁻¹) de produção de gases (μ) foi calculada como:

$$\mu = b + \frac{c}{2\sqrt{t}}$$

em que,

μ = taxa de produção de gases (h^{-1}); sendo os demais termos definidos anteriormente.

Foram calculados os valores das degradabilidades efetivas da matéria seca para as taxas de passagem de 2 e 5%/hora para baixo e médio consumos, respectivamente, conforme recomendações do Agricultural Research Council (1984), empregando-se a equação proposta por France *et al.* (1993).

Os valores das produções acumulativas de gases e degradabilidade da matéria seca foram analisados utilizando-se delineamento experimental de blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas, tendo como fonte de variação os inóculos (blocos), os fenos produzidos nas idades de corte (parcelas) e os tempos de incubação (subparcelas), segundo o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + H_j + T_k + HT_{jk} + e_{ijk}$$

Em que:

Y_{ijk} = valor referente à observação da idade de corte j , no bloco i (inóculo) e no tempo de incubação k ;

μ = média geral;

B_i = efeito do bloco i ($i = 1, 2, 3, 4, 5$);

H_j = efeito da idade de corte j ($j = 56, 84$ e 112 dias);

T_k = efeito do tempo de incubação k ($k = 6, 12, 24, 48, 96$);

HT_{jk} = interação dos efeitos da idade de corte j com o tempo de incubação k ;

e_{ijk} = erro aleatório associado à observação.

O teste estatístico utilizado na comparação das médias dos tratamentos foi o teste SNK ($p < 0,05$) com o auxílio do software SAEG (EUCLYDES, 2005). A análise de variância foi realizada a partir do esquema indicado na Tabela 01.

Tabela 01. Análise de variância para o delineamento de blocos ao acaso com parcelas subdivididas

Fontes de variação	gl.
Total	14
Idades de Corte (parcelas)	2
Inóculo ruminal (blocos)	4
<i>Erro (A)</i>	8
Total de sub-parcelas	74
Parcelas	14
Tempo (sub-parcelas)	4
Idades x tempos	8
<i>Erro (B)</i>	48

4.4. Resultados e discussão

A produção estacionária de gases do capim-elefante verde cortado aos 56 dias se mostrou superior aos demais tratamentos até o tempo de 24 horas de fermentação (Figura 01). A partir do período de 36 horas de fermentação, o capim-elefante colhido aos 112 dias teve as maiores produções estacionárias. Este comportamento pode ainda ser melhor compreendido ao se avaliar os picos de produção dos gases. Enquanto o capim-elefante cortado aos 56 e 84 dias de crescimento apresentaram o maior pico de produção de gases quando havia transcorrido o período de 15 horas de fermentação, o material colhido aos 112 dias apresentou este pico de produção após 48 horas de fermentação. Próximo ao tempo de incubação de 48 horas iniciou-se uma redução da produção de gases até por volta das 72 horas de incubação, podendo estar relacionada à redução da disponibilidade de substrato para os microorganismos ruminais, a partir de quando houve uma tendência de estabilização da produção de gases.

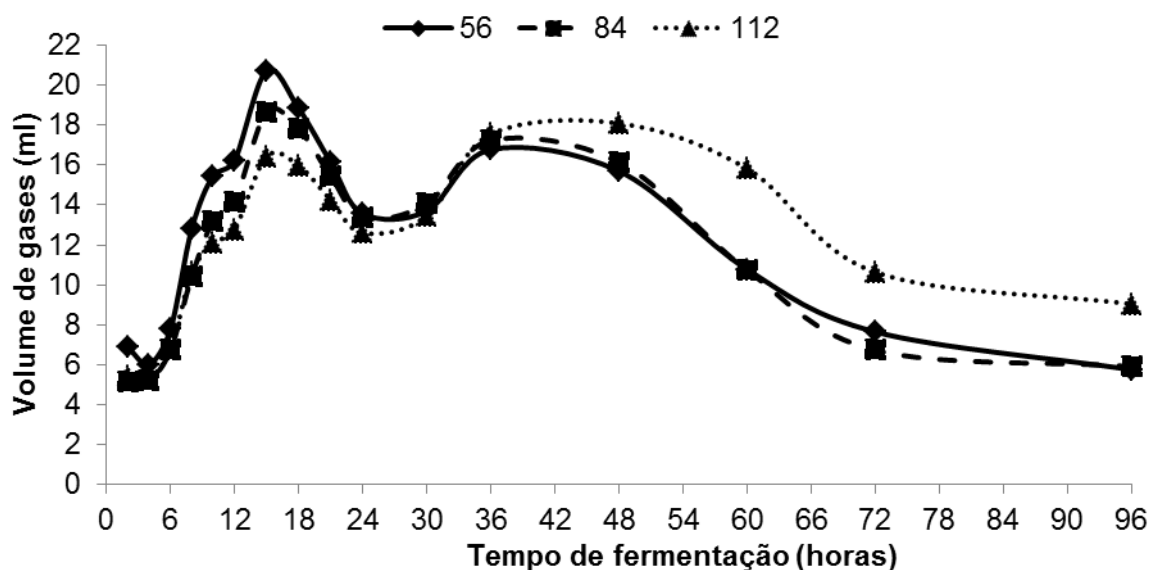


Figura 01. Produção de gases em ml do capim-elefante verde em três diferentes idades (56, 84 e 112 dias)

Também por meio da técnica de produção de gases, Velasco (2011) encontrou que após transcorrer o período de 12 a 24 horas de fermentação o capim *Brachiaria decumbens* verde cortado aos 56 dias apresentou o pico de produção de gases, semelhante ao obtido no presente estudo. Já para o feno de Tifotn 85 colhido aos 27 dias de idade, o pico foi um pouco mais tardio, ocorrendo entre os tempos de fermentação de 36 e 48 horas (CARVALHO, 2012).

No presente estudo, assim como nos demais trabalhos que utilizaram a técnica de produção de gases para avaliação de forrageiras cortadas em diferentes idades, plantas mais jovens apresentaram uma maior fermentação em períodos mais precoces enquanto plantas colhidas em estágio de maturação mais avançado apresentaram uma maior fermentação em períodos mais tardios. Este comportamento está associado à redução dos teores de

conteúdo celular e um aumento dos teores de parede celular, além da parede celular apresentar mudanças em sua composição química com a maturidade (HOBSON e STEWART, 1997). Com o avanço do estágio de maturação da planta, ocorre aumento dos constituintes da parede celular tais como a celulose, hemiceluloses e a lignina, resultando no espessamento da mesma (MINSON, 1990; VAN SOEST, 1994). Segundo Wilson e Mertens (1995), principalmente a parede secundária, que apresenta maior conteúdo de lignina em comparação à parede primária, é quem aumenta progressivamente sua espessura com a maturidade da planta.

No tempo de fermentação de 6 horas não houve diferença entre as idades de corte para a produção cumulativa de gases ($P>0,05$) (Tabela 02) (Figura 02). Nos tempos de 12 e 96 horas a produção de gases do material cortado aos 84 e 112 dias foram semelhantes ($P>0,05$) e inferiores ($P<0,05$) à do capim colhido aos 56 dias. Nos demais tempos de fermentação (24 e 48 horas) houve diferença entre as idades de corte ($P<0,05$), tendo as maiores produções registradas para o capim-elefante cortado aos 56 dias de crescimento, seguido pela idade de 84 dias e por último a idade de 112 dias. As produções cumulativas de gases após 96 horas de fermentação foram 210,50; 195,34 e 194,10 ml para o capim-elefante colhido aos 56, 84 e 112 dias de idade, respectivamente.

Tabela 02. Produção acumulativa de gases (PAG) em ml/g de matéria seca (MS) após 6, 12, 24, 48 e 96 horas de fermentação para o capim-elefante verde cortado aos 56, 84 e 112 dias de crescimento

Idades de corte (dias)	Períodos de fermentação (horas)				
	6	12	24	48	96
56	21,99 a	68,69 a	148,55 a	196,85 a	210,50 a
84	17,76 a	58,83 b	130,14 b	178,15 b	195,34 b
112	21,22 a	60,56 b	118,73 c	171,50 c	194,10 b

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste SNK ($P<0,05$).

Na literatura são descritas produções cumulativas, ao final das 96 horas de fermentação, variando de 171,4 a 196,4 ml para o capim *B. decumbens* verde (VELASCO, 2011) e de 166,4 a 183,9 ml para o mesmo capim na forma feno (RAMIREZ, 2011), havendo queda da produção em função da idade de corte. Por outro lado, Castro *et al.*, (2007) avaliando o capim *Brachiaria brizantha* cv Marandu e Carvalho (2012) avaliando o capim Tifton 85, ambos colhidos em diferentes idades de corte, não encontraram diferenças significativas para produção cumulativa de gases ao final das 96 horas de fermentação entre as diferentes idades de corte da forrageira.

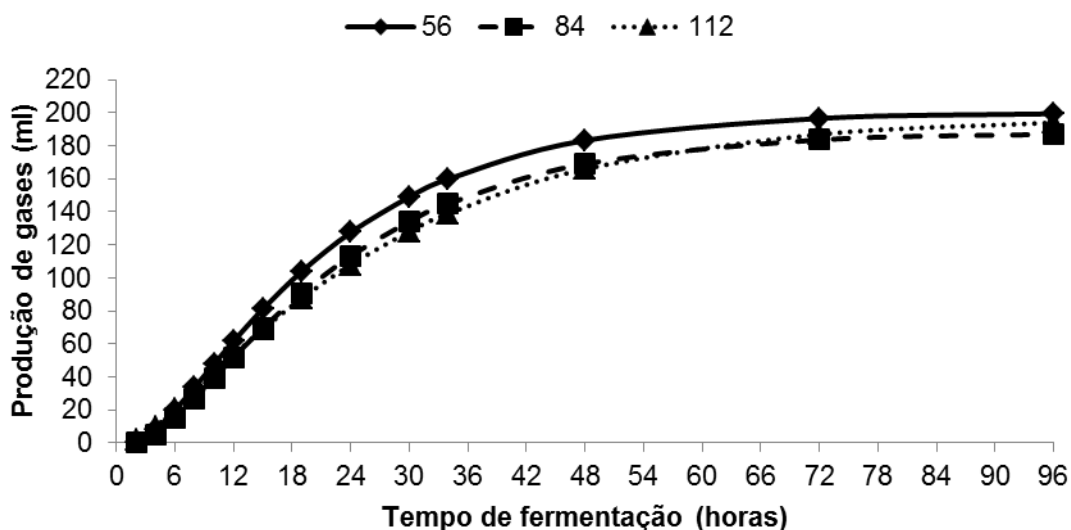


Figura 02. Produção cumulativa de gases do capim-elefante verde em três diferentes idades (56, 84 e 112 dias)

Segundo Castro *et al.*, (2007), o tempo de fermentação compreendido entre 12 e 48 horas é a fase onde é observada a principal diferença na produção de gases e é onde a composição de carboidratos da forragem mais afetaria esta produção, já que em um taxa de degradação a 2,0%/hora o alimento teria aproximadamente 50 horas para ser degradado efetivamente no rúmen. No presente estudo, de fato o capim-elefante que foi cortado mais jovem se mostrou superior aos demais quanto à produção cumulativa de gases neste período.

A menor produção cumulativa de gases verificada para forrageiras colhidas em estádios de maturação mais avançado seria reflexo dos maiores teores de lignina (Tabela 02 – Experimento I). Para o Tifton 85, Carvalho (2012) encontrou um aumento linear do teor de lignina em função da idade de corte ($y = 0,0461x + 1,0958$; $R^2 = 0,92$ e $P < 0,01$). As ligninas ligam-se aos componentes da parede celular, tendo a ocorrência dessa interação aumentada com a maturidade da forrageira, seja pelo aumento da concentração e/ou pela modificação na composição dos compostos fenólicos, afetando a extensão da degradação da forrageira (JUNG, 1989; JUNG e ALLEN, 1995). De forma conjunta, observa-se aumento da hidrofobicidade da cadeia de celulose na parede celular, o que, conseqüentemente, pode diminuir a taxa de degradação da forrageira (CHESSON e FORSBERG, 1997).

Observa-se que para o período de fermentação de 6 horas (Tabela 03) o valor da degradabilidade da matéria seca (DMS) do capim-elefante verde colhido aos 56 dias de crescimento foi superior ao obtido para a capim com 84 dias ($P < 0,05$), sendo a forragem com 112 dias intermediária ($P > 0,05$). Em relação à degradabilidade de matéria orgânica (DMO), não houve diferenças entre os tratamentos ($P > 0,05$) para o tempo de 6 horas. Para os períodos de fermentação entre 12 e 96 horas, os valores referentes à DMS e DMO do capim cortado aos 56 dias foram superiores em relação aos demais cortes ($P < 0,05$) que não variaram entre si ($P > 0,05$).

Tabela 03. Degradabilidade da matéria seca e matéria orgânica em porcentagem (%), após 6, 12, 24, 48 e 96 de fermentação para o capim-elefante verde cortado aos 56, 84 e 112 dias

Idades de corte (dias)	Períodos de fermentação (horas)				
	6	12	24	48	96
Matéria seca					
56	11,17 a	27,11 a	41,55 a	57,22 a	63,80 a
84	3,64 b	17,99 b	35,52 b	47,05 b	51,76 b
112	6,41 ab	15,06 b	35,33 b	42,95 b	48,26 b
Matéria orgânica					
56	12,83 a	29,88 a	47,50 a	57,01 a	65,62 a
84	6,89 a	20,74 b	37,67 b	49,35 b	54,11 b
112	9,30 a	17,72 b	36,13 b	45,99 b	49,94 b

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste SNK ($P < 0,05$).

Após 96 horas de fermentação, Velasco (2011) obteve valores de degradabilidade da MS variando de 58,14 a 68,30% para o capim *B. decumbens* com idade entre 56 e 112 dias, enquanto que para o Tifton 85 com idade entre 27 e 84 dias, o intervalo foi de e 57,67 a 68,30% (CARVALHO, 2012). Os valores em ambos os trabalhos foram superiores àqueles descritos para o capim-elefante verde.

A partir de 12 horas de fermentação, Velasco (2011) também obteve maiores valores de degradabilidade da MS superiores para o capim *B. decumbens* cortado aos 56 dias. Os maiores valores de degradabilidade obtidos para o capim colhido aos 56 dias de crescimento sustentam as maiores produções cumulativas de gases (Tabela 02), já que estes gases são oriundos do processo fermentativo e/ou da neutralização dos ácidos graxos voláteis pela solução tampão. Trabalhando com feno de Tifton 85 cortado em diferentes idades, Carvalho (2012) encontrou que os dados referentes às produções cumulativas de gases apresentaram alta correlação com a degradabilidade da matéria seca ($r_{PAG \times DMS} = 0,96$, $P < 0,01$). Assim como no presente estudo, outros trabalhos relataram queda da DMS em função do estágio de maturação do capim (VELASCO, 2011; CARVALHO, 2012).

Em relação aos parâmetros da cinética de fermentação ruminal observa-se na Tabela 04 que os valores referentes ao potencial máximo de produção de gases variaram entre 187,976 e 200,127 ml/g de MS. O potencial máximo de produção de gases representa a expressão máxima da degradação ruminal de um alimento, desconsiderando a limitação decorrente do tempo de passagem da digesta pelo rúmen. A taxa fracional de produção de gases (μ) reduziu em função da idade de corte, com valores 0,055; 0,052 e 0,040 ml/g de MS/hora, para o capim-elefante cortado aos 56, 84 e 112 dias de crescimento, respectivamente. O maior tempo de colonização foi encontrado para o capim colhido aos 84 dias. Os valores de degradabilidade efetiva da matéria seca nas diferentes taxas de passagem (2,0 e 5,0%/hora) foram superiores para a forragem mais jovem.

Tabela 04. Parâmetros da cinética de fermentação ruminal e degradabilidade efetiva da matéria seca para o capim-elefante verde cortado aos 56, 84 e 112 dias de crescimento

Idades de corte (dias)	A	μ	Lag	R^2	Degradabilidade efetiva (%)	
					2,0	5,0
					56	200,127
84	187,976	0,052	01:55	0,999	48,890	44,851
112	197,446	0,040	01:02	0,998	46,378	43,661

A = potencial máximo de produção de gases (mL/g de MS); μ = taxa fracional de produção de gases (mL/g de MS/h); Lag = tempo de colonização (h:min); R^2 = coeficiente de determinação.

Para o capim Tifton 85 colhido em diferentes idades, Carvalho (2012) obteve potencial máximo de produção de gases entre 189,42 e 196,66 ml/g de MS, enquanto que para *B. decumbens* estes valores estiverem entre 168,5 e 185,5 mL/g de MS ou 175,49 e 194,01 ml/g de MS quando na forma de feno (RAMIREZ, 2011) ou verde (VELASCO, 2011), respectivamente. Estes valores estão próximos aos descritos para o capim-elefante.

Assim como no presente trabalho, os valores de degradabilidade efetiva da MS foram decrescentes com a idade para o capim *B. decumbens* verde (VELASCO, 2011) e para o capim-Tanzânia na forma de silagem (CASTRO *et al.*, 2010). Tal resultado segue o comportamento verificado para a produção cumulativa de gases (Tabela 02). Este fato é devido à alta correlação entre a produção de gases e a degradabilidade da MS, como verificado por Faria Junior (2012) para as silagens do capim Tifton 85 cortado em diferentes idades ($r = 0,988$).

As equações geradas a partir das análises de regressão (Tabela 05) ao modelo de France *et al.* (1993) dos dados de produção acumulada de gases do capim-elefante verde apresentaram coeficientes de determinação elevados, indicando que os valores apresentados se ajustaram ao modelo, podendo essas equações serem utilizadas para diferentes períodos de fermentação.

Tabela 05. Equações geradas pelas análises de regressão ao modelo de France *et al.* (1993) dos dados de produção acumulada de gases (y) do capim-elefante verde cortado aos 56, 84 e 112 dias de crescimento

Idades de corte (dias)	Equação	R^2
56	$Y = 200,1270 \times \{1 - e^{[-(0,0777) \times (t - 1,6604) - (-0,1998) \times (\sqrt{t} - \sqrt{1,6604})]}\}$	0,998
84	$Y = 187,9759 \times \{1 - e^{[-(0,0746) \times (t - 1,9153) - (-0,2063) \times (\sqrt{t} - \sqrt{1,9153})]}\}$	0,999
112	$Y = 197,4458 \times \{1 - e^{[-(0,0525) \times (t - 1,0307) - (-0,1065) \times (\sqrt{t} - \sqrt{1,0307})]}\}$	0,998

Y = Produção acumulada de gases, t = período de fermentação.

Assim como no presente estudo, as equações geradas segundo o modelo de France *et al.* (1993) para o capim *B. decumbens* cortado entre 56 e 112 dias também apresentaram altos

coeficientes de determinação, tanto na forma de feno (0,998) quanto de forragem verde (0,999) (RAMIREZ, 2011; VELASCO, 2011).

4.5. Conclusões

A cinética de fermentação e as degradabilidades efetivas do capim-elefante verde foram influenciadas negativamente com o avanço da idade de rebrota da planta. Recomenda-se o corte da planta inteira de capim-elefante para utilização como forragem verde aos 56 dias de rebrota a fim de se obter um material com elevado potencial de degradação e maior aproveitamento ruminal.

4.6. Referências bibliográficas

AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL - ARC. **The nutrient requirements of ruminant livestock**. supply. 1. Slough: Commonwealth Agricultural Bureaux. 1984. 45p.

CARVALHO, W. T. V. **Valor nutricional do feno de Tifton 85 em quatro idades**. 2012. 196p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

CASTRO, G. H. F; RODRIGUEZ, N. M; GONÇALVES, L. C; *et al.* Características produtivas, agronômicas e nutricionais do capim-tanzânia em cinco diferentes idades ao corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.62, p.654-666, 2010.

CASTRO, G.H.F.; GRAÇA, D.S.; GONÇALVES, L.C.; *et al.* Cinética de degradação e fermentação ruminal da *Brachiaria brizantha* cv. marandu colhida em diferentes idades ao corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, p.1538-1544, 2007.

CHESSON, A.; FORSBERG, C.W. Polysaccharide degradation by rumen microorganisms. In: HOBSON, P.N. e STEWART, C.S. **The rumen microbial ecosystem**. Londres: Brackie Academic & Professional, 1997. Cap. 8, p.329-381.

EUCLYDES, R.F. **Manual de utilização do programa SAEG (Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas)**. Viçosa: UFV, 2005. 59p.

FARIA JUNIOR, W. G. **Valor nutricional de silagens do capim-Tifton 85 em difentes idades**. 2012. 199p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

FRANCE, J.; DHANOA, M.S.; THEODOROU, M.K. *et al.* A model to interpret gas accumulation profiles associated with *in vitro* degradation of ruminant feeds. **Journal of Theoretical Biology**, v.163, p.99-111, 1993.

HOBSON, P.N.; STEWART, C.S. **The rumen microbial ecosystem**. London: Brackie Academic & Professional, 1997. 719p.

JUNG H. G., ALLEN M. S. Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. **Journal Animal Science**, v. 73, p. 2774–2790, 1995.

JUNG, H. G. Forage lignins and their effect on fiber digestibility. **Agronomy Journal**. v. 81, p. 33-38. 1989.

MAURICIO, R.M., MOULD, F.L., DHANOA, M.S., OWEN, E., CHANNA, K.S., THEODOROU, M.K. A semi-automated in vitro gas production technique for ruminants feedstuff evaluation. **Animal Feed Science and Technology**, 79:321-330. 1999.

MAURÍCIO, R.M.; PEREIRA, L.G.R.; GONÇALVES, L.C. *et al.* Relação entre pressão e volume para implantação da técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases na avaliação de forrageiras tropicais. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.79, p.216-219. 2003.

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

QUEIROZ FILHO, J.L.; DA SILVA, D.S.; NASCIMENTO, I.S. Produção de matéria seca e qualidade do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schm.) cultivar roxo em diferentes idades de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia.**, v.29, n.1, p.69-74, 2000.

RAMIREZ, M.A. **Consumo e digestibilidade aparente de fenos de *Brachiaria decumbens*, stapf cultivar Basiliski cortados em três diferentes idades**. 2010. 48f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

THEODOROU, M. K.; WILLIAMS, B. A.; DHANOA, M. S. *et al.* A new gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminal feeds. **Animal Feed Science and Technology** v. 48, p. 185-197, 1994.

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

VELASCO, F. O. **Valor nutritivo da *Brachiaria decumbens* em três idades**. 2011. 98p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

WILSON, J.R.; MERTENS, D.R. Cell wall accessibility and cell structure limitations to microbial digestion of forage. **Crop Science**. v. 35, p. 251-259 , 1995.

Capítulo V – Experimento III

Partição da energia e produção de metano em ovinos alimentados com capim-elefante verde colhido em diferentes idades de corte

5.1. Resumo

A partição da energia e a produção de metano foram avaliadas em ovinos alimentados em nível de manutenção com capim-elefante verde obtido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento, utilizando-se câmaras respirométricas de fluxo aberto. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado e as médias foram comparadas pelo teste SNK ($P < 0,05$). Os consumos de energia bruta, energia digestível, e energia metabolizável variaram de 252,15 a 330,62 Kcal/UTM/dia, 148,50 a 231,74 Kcal/UTM/dia e de 133,41 a 203,95 Kcal/UTM/dia, respectivamente. O consumo de energia líquida para o capim cortado aos 56 dias foi semelhante ao da idade de 112 dias e superior ao do capim obtido aos 84 dias, porém o balanço de energia foi positivo para todos os tratamentos. A produção fecal representou a principal perda de energia (29,89 a 43,02% da energia bruta ingerida), seguida pelo incremento calórico, urina e emissão de metano entérico. A menor perda de energia nas fezes e as maiores perdas na forma de metano e incremento calórico foram encontradas para animais alimentados com o capim cortado aos 56 dias de idade. Os maiores valores de digestibilidade aparente da energia bruta e metabolizabilidade da energia bruta foram obtidos para o capim-elefante cortado aos 56 dias de idade enquanto o capim obtido aos 112 dias proporcionou a maior eficiência de utilização da energia líquida para manutenção. Os teores de energia de metabolizável foram superiores no capim-elefante colhido após 56 dias de rebrota em relação aos capins colhidos nas demais idades. Os teores de energia líquida do capim variaram de 1,36 a 1,89 Mcal/Kg de matéria seca. Os animais alimentados com o capim colhido após 56 dias de rebrota consumiram mais oxigênio e produziram mais dióxido de carbono e metano. As emissões de metano em gramas por quilo de matéria seca digestível (27,2 g/Kg) e fibra insolúvel em detergente neutro digestível (44,4 g/Kg) foram semelhantes entre os capins colhidos nas diferentes idades de corte. O capim-elefante cortado entre 56 e 112 dias de crescimento atende às exigências energéticas de manutenção para ovinos semelhantes aos utilizados neste experimento.

Palavras-chave: eficiência, energia líquida, gás efeito estufa, metabolizabilidade

5.2. Introdução

As gramíneas tropicais são reconhecidamente plantas eficientes no processo fotossintético, tendo capacidade de acumular grandes quantidades de biomassa de forma rápida. Com potencial de produção de até 80 a 90 t MS/ha/ano, o capim-elefante é uma das forrageiras

tropicais mais utilizadas no sistema de corte (FARIA, 1994). Por outro lado, o rápido crescimento e acúmulo de matéria seca está associado a um rápido alongamento do colmo e senescência, comprometendo a qualidade nutricional. Em virtude deste comportamento, é fundamental que se determine a melhor idade de corte das forrageiras, buscando um melhor valor nutricional.

Com o constante melhoramento genético e o conseqüente aumento do potencial de produção dos animais, tem se tornado importante uma determinação mais precisa da energia disponível dos alimentos para o animal sendo que, atualmente, o critério mais adequado para expressar as exigências de energia dos animais e o valor energético dos alimentos, nos cálculos de ração, é o sistema de energia líquida (EL) (FONTES *et al.*, 2005a,b). A energia líquida do alimento é determinada pelos valores de energia bruta consumida pelo animal subtraída dos valores de energia das fezes, urina, gases da digestão e o incremento calórico, o qual é definido como sendo o calor produzido pelos processos digestivos e pelo metabolismo animal.

Dentre os gases produzidos pelo processo de digestão em ruminantes, o metano representa 27% de todo o gás produzido no rúmen, ficando atrás apenas do CO₂ com 65%. Além de ser caracterizado como um importante gás efeito estufa, o metano de origem entérica tem relação direta com a eficiência da fermentação ruminal em virtude da perda de carbono e, conseqüentemente, perda de energia, influenciando o desempenho animal (COTTON e PIELKE, 1995; BELL *et al.*, 2011).

Objetivou-se com este experimento determinar a partição da energia e a produção de metano entérico por ovinos alimentados com capim-elefante verde cortado em três diferentes idades.

5.3. Material e métodos

Para a determinação da partição da energia e a produção de metano entérico foi utilizado o mesmo material colhido durante o experimento I.

5.3.1. Procedimento experimental

O experimento foi conduzido nas dependências do Departamento de Zootecnia da EV-UFMG, em Belo Horizonte-MG, no Laboratório de Metabolismo e Calorimetria Animal - LAMCA. Foram utilizados 18 carneiros adultos sem raça definida, com peso médio de 34,7 Kg. Os animais foram alojados, de maneira aleatória quanto ao peso vivo e localização na sala, em 18 gaiolas metabólicas individuais com piso ripado, dispondo de bebedouro e cocho em aço inoxidável e saleiro de PVC. As gaiolas possuíam funis acoplados ao piso de madeira, abaixo dos quais foram colocadas caixas plásticas (para coleta de fezes) e baldes de plásticos dotados de telas (para a coleta de urina). Aos baldes

coletores de urina foram adicionados, diariamente, 100ml de HCl 2N para que não houvesse perdas de nitrogênio urinário por volatilização e/ou decomposição. O período experimental foi de 5 (cinco) dias após 21 (vinte e uma) dias de adaptação às dietas e às gaiolas. As pesagens dos animais ocorreram no início do período experimental, no início e no final do período de coleta.

Diariamente os sacos contendo capim picado eram retirados da câmara fria, de modo que o alimento fornecido aos animais era submetido a um período mínimo de descongelamento à temperatura ambiente de 24 horas.

O alimento foi oferecido de modo a se obter entre 10 e 20% de sobras no cocho. A água e uma mistura mineral comercial foram fornecidos "*ad libitum*", sendo os bebedouros lavados diariamente. Foram realizadas amostragens diárias do oferecido, das sobras, das fezes e das urinas durante o período de coleta.

O capim-elefante foi fornecido duas vezes ao dia (7:00 e 17:00 horas), sendo amostrado aproximadamente 2 Kg do oferecido por tratamento por dia. As sobras e as fezes foram pesadas diariamente em dois períodos (7:00 e 17:00 horas) sendo armazenados 20% do total por animal por dia. A urina foi coletada uma vez ao dia (7:00 horas), sendo determinado o volume e armazenado aproximadamente 10% do total. O material amostrado foi devidamente identificado, acondicionado em sacos plásticos e congelado a -17°C. Ao final do período experimental foram realizadas amostras compostas de sobras, fezes, urina e oferecido, que permaneceram estocadas a -17°C.

5.3.2. Procedimento laboratorial

As amostras diárias de fezes, oferecido e sobras foram descongeladas a temperatura ambiente e os teores de matéria pré-seca determinados em estufa de ventilação forçada a 55 °C por 72 horas. Posteriormente, as amostras pré-secas foram moídas em moinho estacionário do tipo Willey utilizando-se peneira de 1 (um) milímetro e armazenados em recipientes de poelileno com tampa. Foram executadas análises, em duplicatas, de matéria seca (MS) em estufa a 105°C (AOAC, 1980); proteína bruta (PB) e conteúdo de nitrogênio (N) pelo método de Kjeldahl (AOAC International, 1995); energia bruta (EB) por combustão em bomba calorimétrica adiabática modelo PARR 2081 (AOAC, 1995). Na urina foram determinados os teores de energia bruta, nitrogênio e proteína bruta, seguindo as metodologias mencionadas.

O consumo voluntário dos nutrientes do capim-elefante foi determinado pela diferença entre o alimento oferecido aos animais e as sobras nos cochos, sendo os valores de digestibilidade aparente obtidos através da coleta total de fezes, conforme metodologia descrita por Silva e Leão (1978), a partir da fórmula:

$$DA = \frac{(Kg \text{ cons} \times \% \text{ cons}) - (kg \text{ sb} \times \% \text{ sb}) - (kg \text{ fz} \times \% \text{ fz}) \times 100,}{(Kg \text{ cons} \times \% \text{ cons}) - (kg \text{ sb} \times \% \text{ sb})}$$

Em que:

kg cons = quantidade de alimento fornecido

% cons = teor do nutriente no alimento fornecido

kg sb = quantidade de sobras retiradas

% sb = teor do nutriente nas sobras

kg fz = quantidade de fezes coletadas

% fz = teor do nutriente nas fezes.

Os valores de energia digestível foram determinados pela diferença entre os valores de energia bruta consumida e a energia bruta perdida na forma de fezes.

5.3.3. Calorimetria

Para este estudo foi utilizado um câmara respirométrica de fluxo aberto, confeccionada com placas de acrílico transparente (6 mm de espessura), com dimensões externas de 1,2 m (largura) x 2,0 m (altura) x 2,1 m (comprimento), localizada nas dependências do Laboratório de Metabolismo e Calorimetria Animal – LAMCA - da Escola de Veterinária da UFMG.

Após o experimento de consumo e digestibilidade aparente os animais foram transferidos individualmente para a câmara respirométrica por um período de 24 horas, onde foram mensuradas as trocas gasosas para posterior cálculo da produção de calor, a fim de determinar a energia metabolizável e líquida da forragem.

Durante este período, o animal continuou recebendo a dieta experimental diretamente na câmara respirométrica, uma vez por dia, sendo que o consumo do alimento foi registrado pela diferença da quantidade oferecida e as sobras no cocho. Os pesos dos animais foram registrados nos momentos de entrada e saída da câmara. Para evitar excesso de amônia por volatilização no interior da câmara, foi adicionado 100 mL de HCL 2N dentro do balde coletor de urina, situado abaixo da gaiola metabólica. Ao lado da câmara foi colocada uma outra gaiola metabólica alojando outro carneiro, com intuito de evitar o estresse dos animais devido ao isolamento, bem como iniciar a adaptação dos animais ao novo ambiente.

Após o período de experimentação com os animais alimentados, todos os animais passaram novamente na câmara respirométrica por um período de 24 horas, porém desta

vez em jejum alimentar prévio de 48 horas, para caracterizar estado pós absorptivo, obtendo-se assim os valores basais de produção de calor. Em todo período de experimentação os animais tiveram acesso à água e mineral *ad libitum*.

Para o procedimento de calorimetria indireta, foram utilizados os equipamentos e a metodologia descritos por Rodriguez *et al.* (2007). O fluxo de ar foi ajustado utilizando a proporção de aproximadamente 1L de ar para cada Kg de peso vivo do animal. O ar atmosférico que entrava na câmara era misturado ao ar expirado pelo animal, sendo coletadas amostras, a cada 5 minutos, amostras de ambos (ar externo e interno) para determinação das concentrações de oxigênio (O₂), dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄), de acordo com metodologia proposta por Chwalibog (2004).

5.3.4. Cálculos

- **Produção de calor**

Um *software* específico determinou o volume de O₂ consumido e de CO₂ e CH₄ produzidos pelos animais, por diferença entre a composição do ar que entrou na câmara e do que saiu. Para determinação da produção de calor, foi utilizada a equação de Brouwer (1965):

$$H_{(kjl)} = 16,18 \times O_{2(L)} + 5,02 \times CO_{2(L)} - 2,17 \times CH_{4(L)} - 5,88 N_{urina(gr)}$$

Onde: H = produção de calor; N_{urina} = o nitrogênio urinário. Para a transformação dos dados em calorias, utilizou-se como referência os valores de 1 joule corresponde a 0,239 calorias. Para a transformação dos dados em calorias, utilizou-se como referência o valor de 1 joule correspondente a 0,239 calorias.

O coeficiente respiratório (CR) foi calculado como sendo a razão entre CO₂ produzido (L) e O₂ consumido (L):

$$CR = \frac{CO_2 (L) \text{ produzido}}{O_2 (L) \text{ consumido}}$$

- **Energia metabolizável e líquida**

A energia metabolizável (EM) foi obtida a partir da seguinte fórmula:

$$EM = EB - (E_{fezes} + E_{urina} + E_{CH4})$$

Onde, EM = teor de energia metabolizável (Mcal/Kg MS); energia perdida na forma de fezes (E_{fezes}), urina (E_{urina}) e de gases (E_{CH4}).

A energia líquida (EL) foi obtida a partir da seguinte fórmula:

$$EL = EM - IC$$

Onde, EL = teor de energia líquida (Mcal/Kg MS); EM = teor de energia metabolizável (Mcal/Kg MS); IC = incremento calórico (Mcal/Kg MS).

- **Metabolizabilidade**

A metabolizabilidade da energia bruta (q_m) foi obtido a partir da seguinte fórmula:

$$q_m = \frac{CEM \times 100}{CEB}$$

Onde, CEM = Consumo de energia metabolizável (Kcal/dia); CEB = Consumo de energia bruta (K/dia).

- **Eficiência de utilização da energia metabolizável**

A eficiência de utilização da energia metabolizável (k_m) foi obtido à partir da seguinte fórmula:

$$k_m = \frac{EL \times 100}{EM}$$

Onde, EL = Teor de energia líquida (Kcal/g MS); EM = Teor de energia metabolizável (Kcal/g MS).

- **Produção de metano**

Para os cálculos envolvendo a produção de metano foram utilizados os fatores de 13,334 Kcal/grama e densidade de 0,7143 gramas/litro para valor energético e densidade, respectivamente.

- **Incremento calórico**

Para determinar o incremento calórico dos alimentos, foram utilizados os valores de produção de calor calculados para o animal alimentado e em jejum. O cálculo do incremento calórico foi feito através da fórmula:

$$IC = Hal - Hjj$$

Onde, IC = incremento calórico; Hal = Produção de calor pelo animal alimentado; Hjj = produção de calor pelo animal em jejum.

5.3.5. Procedimento estatístico

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com 3 tratamentos e 6 repetições. A decomposição da análise de variância seguiu o esquema apresentado abaixo (Tabela 01).

Tabela 01. Análise de variância para o delineamento inteiramente casualizado

Fonte de variação	Graus de liberdade
Total	17
Tratamentos (idades de corte)	2
Erro	15

Para a análise dos dados gerados utilizou-se o modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \epsilon_j$$

em que,

Y_{ij} = observação “j” na idade de corte “i”,

μ = média geral,

T_i = efeito da idade de corte i (i = 56, 84, 112 dias de crescimento),

ϵ_j = erro experimental.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância utilizando-se o pacote estatístico SAEG (EUCLYDES, 2005) e as médias comparadas pelo teste SNK ao nível de 5% de probabilidade ($P < 0,05$).

5.4. Resultados e discussão

5.4.1. Consumo de energia

Os animais alimentados com o capim-elefante verde cortado aos 56 dias de crescimento apresentaram maiores valores de consumo de matéria seca (MS), energia bruta (EB), energia digestível (ED) e energia metabolizável (EM) ($P < 0,05$), não havendo diferença entre os demais tratamentos ($P > 0,05$) (Tabela 02). Os CEL observados para o capim-elefante cortado aos 56 e 112 dias de crescimento foram semelhantes ($p > 0,05$) e superiores à idade de 84 dias ($p < 0,05$). O balanço de energia apresentou o mesmo comportamento descrito para o consumo de energia líquida.

Tabela 02. Valores médios do consumo de matéria (CMS) em gramas/unidade de tamanho metabólico (UTM)/dia, consumo de energia bruta (CEB), consumo de energia digestível (CED), consumo de energia metabolizável (CEM), consumo de energia líquida (CEL) e balanço de energia (BE) em Kcal/UTM/dia do capim-elefante verde cortados aos 56, 84 e 112 dias

Idades de corte (dias)	CMS	CEB	CED	CEM	CEL	BE ¹
56	81,12 a	330,62 a	231,74 a	203,95 a	137,35 a	71,38 a
84	65,39 b	264,74 b	151,36 b	131,24 b	88,07 b	26,35 b
112	60,28 b	252,15 b	148,5 b	133,41 b	116,66 ab	46,23 ab
CV	17,44	18,04	22,43	23,01	27,1	59,4

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste SNK ($P < 0,05$). ¹ Balanço de energia = Diferença entre o consumo de energia metabolizável e a produção de calor do animal. CV = coeficiente de variação (%).

Em recentes estudos avaliando as forrageiras tropicais *B. decumbens* e Tifton 85 nas formas de feno, silagem e verde, também em ovinos alimentados em nível de manutenção, os valores de CMS variaram de 51,0 a 74,79 g/UTM/dia (RAMIREZ, 2011; VELASCO, 2011; CARVALHO, 2012; FARIA JUNIOR, 2012). Nas três idades de corte avaliadas, o capim-elefante proporcionou padrões de consumo de matéria seca superiores ao mínimo recomendado para manutenção de ovinos adultos de 46 g/UTM/dia, pelo AFRC (1993) e de 53,19 g/UTM/dia, pelo NRC (1985).

Como o capim-elefante nas três idades de corte apresentou valores de EB (Mcal/Kg MS) bastante próximos (Tabela 02), a superioridade do capim aos 56 dias para o CEB provavelmente ocorreu devido à alta correlação entre CEB e CMS ($r = 0,9898$; $p < 0,0001$).

Ao contrário do comportamento observado neste estudo, Carvalho (2012) não observou queda no CED em função do avanço no estágio de maturação para o capim Tifton 85 na forma de feno. O consumo de energia digestível depende tanto do consumo de matéria seca e densidade energética quanto da perda fecal de energia. Em gramíneas forrageiras, à medida que avança o estágio de maturação há uma redução de conteúdo celular de alta digestibilidade, e um aumento do teor das frações fibrosas (Tabela 02 – Experimento I), o que pode resultar no aumento da perda fecal de nutrientes. Sendo assim, haveria uma redução no consumo de energia digestível à medida que aumenta a idade de corte. Contudo, a intensidade e a velocidade com ocorrem as mudanças estruturais e químicas em função da idade da planta são específicas para cada espécie forrageira.

Utilizando também a técnica de calorimetria indireta, Velasco (2011) e Ramirez (2011) encontraram valores de CEM variando de 152,41 a 174,75 e 97,1 a 135,00 Kcal/UTM/dia para o capim *B. decumbens* verde e na forma de feno, respectivamente. Comparações dos resultados de CEM deste trabalho com outros resultados da literatura devem ser cautelosos, caso o cálculo das perdas energéticas na forma de metano tenham sido feitas através da fórmula de Blaxter & Clapperton (1965).

Segundo o NRC (2007) e CSIRO (2007) a exigência líquida de energia para manutenção de ovinos seria de 62 e 66 Kcal/UTM/dia, respectivamente. Nas três idades de corte avaliadas, o capim-elefante verde foi capaz de proporcionar valores de CEL superiores aos recomendados, com valores variando de 88,07 a 137,35 Kcal/UTM/dia, indicando que supriu as exigências energéticas de manutenção dos ovinos utilizados neste experimento. Como consequência, foram identificados balanços de energia positivos em todos os tratamentos, com retenções de energia de 71,38; 26,35 e 46,23 Kcal/UTM/dia para animais alimentados com capim-elefante verde cortado aos 56, 84 e 112 dias de crescimento, respectivamente. Para o Tifton 85 colhido dos 27 aos 90 dias de crescimento e conservado como silagem ou feno, Faria Junior (2012) e Carvalho (2012) relataram uma retenção média de 13,97 e 92,45 Kcal/UTM/dia, respectivamente.

Os coeficientes de variação obtidos para o balanço de energia estão acima dos valores de 20 a 30% recomendados por Sampaio (2002) como sendo adequados para experimentação animal. Entretanto, Faria Junior (2012) obteve alto coeficiente de variação (34,0%), confirmando o caráter instável dessa variável.

5.4.2. Perdas energéticas

Pode-se observar que não houve diferença significativa para os valores referentes às perdas da energia bruta nas fezes em Kcal/UTM/dia ($P>0,05$) (Tabela 03). Contudo, quando expressa em % da energia bruta consumida, a perda energética fecal foi inferior para animais que consumiram o capim-elefante verde cortado aos 56 dias de crescimento ($P<0,05$).

Tabela 03. Valores médios das perdas diárias de energia bruta nas fezes, na urina, na forma de metano (CH_4) e de incremento calórico (IC) em Kcal/UTM/dia e em percentagem da energia bruta consumida (% EB) por ovinos alimentados com capim-elefante verde cortado aos 56, 84 e 112 dias de crescimento

Idades de corte (dias)	Fezes		Urina		Metano		Incremento calórico	
	Kcal	% EB	Kcal	% EB	Kcal	% EB	Kcal	% EB
56	98,98	29,89 b	7,81 a	2,33	19,99 a	6,11 a	66,66 a	19,53 a
84	109,72	43,02 a	5,65 ab	2,20	13,75 b	5,31 ab	41,72 b	16,08 a
112	101,65	42,03 a	4,3 b	1,78	10,54 b	4,21 b	16,38 c	6,83 b
CV	19,13	12,24	33,51	27,09	26,66	21,3	41,82	31,25

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste SNK ($P<0,05$). CV = coeficiente de variação (%).

As perdas de energia na forma de urina expressas em % da EB ingerida não diferiram entre os tratamentos ($P>0,05$). Animais alimentados com a forragem colhida aos 56 dias em comparação com a idade de 112, apresentaram maiores perdas de energia na urina (Kcal/UTM/dia) e na forma de metano, seja em % da EB ingerida ou Kcal/UTM/dia

($P < 0,05$). Os valores referentes às perdas de energia na forma de incremento calórico variaram de 16,38 a 66,66 Kcal/UTM/dia. Quando expresso em % da EB ingerida, o IC calórico de animais alimentados com o capim colhido no estágio de maturação mais avançado foi inferior aos dos demais tratamentos ($P < 0,05$), que não diferiram entre si ($P > 0,05$).

Para as dietas comumente oferecidas para os ruminantes, as fezes representam desde o mínimo de 10% até o máximo de 70% da energia bruta do alimento ingerido, indicando que a perda fecal de energia é o fator mais determinante sobre o valor nutritivo relativo dos diferentes alimentos como fontes de energia (BLAXTER, 1962). Frequentemente, as perdas fecais de energia são pequenas quando a forrageira apresentam altas concentrações de carboidratos não fibrosos, como açúcares, amido e frutanas. Em contrapartida, maiores perdas fecais estão associadas com a presença de grandes quantidades de carboidratos fibrosos, como a celulose e as hemiceluloses, e de ligninas (VAN SOEST, 1994). Estas interações foram verificadas por Machado (2010) para silagens de sorgo colhido em diferentes estágios de maturação. Segundo o autor, houve correlação negativa entre a digestibilidade das frações fibrosas e a energia fecal (% da EB) ($r_{DFDN \times Efezes} = -0,92$; $P < 0,0001$). De forma semelhante, estas correlações se repetiram no presente estudo, tendo em vista que o maior coeficiente de digestibilidade da FDN (71,40%) foi observado para o capim-elefante cortado aos 56 dias ($p < 0,05$) (TEIXEIRA, 2009), tratamento este que apresentou a menor perda de energia nas fezes.

Velasco (2011) e Carvalho (2012) encontraram perdas de energia na forma de urina variando 1,5 a 5,5 e 5,3 a 7,4 Kcal/UTM/dia para ovinos alimentados em nível de manutenção com capim *B. decumbens* verde e feno de Tifton 85, respectivamente. Segundo Van Soest (1994), aumentos na ingestão de nitrogênio estão associados à maior produção de ureia no fígado e à uma maior excreção via urina. Enquanto no trabalho de Velasco (2011) a *B. decumbens* apresentou um teor de proteína bruta (PB) variando de 4,75 a 7,69%, Carvalho (2012) relatou teores de PB entre 11,89 e 20,83% para o feno de Tifton 85.

Em relação às forragens, boa parte do nitrogênio (14 a 34%) presente está na forma de nitrogênio não proteico (VAN SOEST, 1994), a qual apresenta solubilidade instantânea e taxa de degradação no rúmen tendendo ao infinito (SANTOS, 2006). Em contrapartida, a principal fonte de energia oriunda da forragem é constituída por carboidratos fibrosos, os quais apresentam lenta digestão ruminal e aumentam com o avanço da idade da mesma. Para o capim-elefante cv. Cameroon com 56 dias, a fração $A + B_1$ representou apenas 5,5% enquanto a fração B_2 correspondeu a 82% do total de carboidratos (LIMA *et al.*, 2008). Esta ausência do sincronismo entre o fornecimento de proteína e energia no ambiente ruminal em dietas compostas apenas por forragem tende a comprometer a eficiência de síntese de proteína microbiana, resultando em maior absorção de amônia através da parede ruminal e tendo como consequência maior excreção de nitrogênio na urina. Desta forma, a maior perda de energia apresentada pelos animais alimentados com o capim-elefante cortado aos 56 dias de idade esteve associado à maior excreção de nitrogênio na urina, que

neste caso foi aproximadamente 1,2 e 2,8 vezes superior ao excretado por animais alimentados com a forragem colhida aos 84 e 112 dias de crescimento, respectivamente.

O gás CH₄ é produzido principalmente quando o substrato é fermentado a acetato e butirato (SARWAR *et al.*, 1992; GETACHEW *et al.*, 1998), o que ocorre quando o alimento apresenta maior conteúdo de carboidratos fibrosos. Utilizando-se a metodologia de calorimetria indireta, Velasco (2011), Ramirez (2011), Faria Junior (2012), Carvalho (2012) e Ribeiro Junior *et al.* (2011) mensuraram a perda de energia na forma de metano em ovinos alimentados em nível de manutenção com *B. decumbens* verde, feno de *B. decumbens*, silagem de Tifton 85, feno de Tifton 85 e silagem de capim-Andropogon, respectivamente. Os valores encontrados variaram entre 3,2 a 7,4% da energia bruta ingerida. Os resultados do presente estudo, assim como aqueles descritos para outras forrageiras se enquadram no intervalo de 2 a 12% da energia bruta ingerida, quando são utilizadas câmaras respirométricas (calorimetria indireta) (JOHNSON e JOHNSON, 1995).

Levando-se em consideração a fórmula sugerida por Blaxter e Clapperton (1965) ($cm = 3,67 + 0,062D$) para cálculo das perdas energéticas na forma metano em nível de manutenção, os valores estariam entre 7,2 e 8,0% da EB ingerida. Neste caso, as perdas estariam sendo superestimadas em 31, 36 e 73% para o capim cortado aos 56, 84 e 112 dias de crescimento, respectivamente. Sendo assim, fica clara a importância de que comparações dos resultados deste trabalho com os demais da literatura sejam cautelosas, caso o cálculo das perdas energéticas na forma de metano tenham sido feitas através da fórmula de Blaxter & Clapperton (1965).

Segundo Carvalho (2012), o incremento calórico de ovinos alimentados com feno de Tifton 85 colhido entre 27 e 84 dias de crescimento variou de 25,1 a 48,2 Kcal/UTM/dia, valores estes superiores aos descritos por Ribeiro Junior *et al.*, (2011) e Faria Junior (2012) para silagens de capim-Andropogon e Tifton 85, respectivamente. A amplitude do incremento calórico depende da quantidade de alimento ingerido, bem como da sua composição, uma vez que representa o aumento da produção de calor decorrente do consumo de um determinado alimento. Este aumento ocorre porque os processos de digestão e transporte da digesta e/ou metabólitos no trato digestivo requerem energia. Considerando-se que alimentos volumosos apresentam elevado conteúdo de carboidratos fibrosos, os quais são fermentados principalmente a acetato e butirato, pode-se esperar que uma maior produção de gás metano esteja associada a um maior incremento calórico ($r_{IC} \text{ Kcal/UTM/dia} \times \text{CH}_4 \text{ L/dia} = 0,88$; $P < 0,0001$), o que indica uma maior fermentação ruminal neste caso.

Assim como neste estudo, avaliações das perdas energéticas a partir da energia bruta ingerida para diferentes forrageiras tropicais têm indicado que a produção fecal representa a principal perda de energia (30 a 57%), seguida pelo incremento calórico (7 a 20%), emissão de metano entérico (3 a 7%) e urina (1 a 3%) (RAMIREZ, 2011; RIBEIRO JUNIOR *et al.*, 2011; VELASCO, 2011; FARIA JUNIOR, 2012; CARVALHO, 2012).

Semelhante ao que foi verificado para o balanço de energia, os parâmetros de perdas energéticas apresentaram valores de coeficientes de variação acima do limite recomendado (SAMPAIO, 2002). O caráter instável dessas variáveis pode ser comprovado em outros estudos (CASTRO, 2008; MACHADO, 2010; VELASCO, 2011; RAMIREZ, 2011; FARIA JUNIOR, 2012).

5.4.3. Eficiência de utilização da energia

O capim-elefante cortado aos 56 dias de crescimento apresentou coeficiente de digestibilidade aparente da EB superior aos demais tratamentos ($P < 0,05$), que não diferiram entre si ($P > 0,05$) (Tabela 04). Este mesmo comportamento foi verificado para a metabolizabilidade da energia bruta (q_m). Para a eficiência de utilização da energia metabolizável (K_m) foi observado comportamento inverso, com o capim-cortado aos 112 dias de crescimento apresentando valor superior às idades de 56 e 84 dias ($P < 0,05$), que foram semelhantes ($P > 0,05$). A razão entre o conteúdo de energia líquida e energia bruta do capim colhido aos 112 dias de idade foi superior em relação ao capim colhido aos 84 dias ($P < 0,05$) e semelhante ao material colhido mais novo ($P > 0,05$).

Valores médios para DAEB de 56,35 e 48,68% foram descritos por Carvalho (2012) e Faria Junior (2012) para o capim Tifton 85 na forma de feno e silagem, respectivamente. Avaliando o capim *Brachiaria decumbens* nas mesmas idades de corte adotadas neste estudo, Velasco (2011) relatou comportamento semelhante, no qual a forragem colhida aos 56 dias de crescimento apresentou DAEB superior. Os valores encontrados foram 66,0; 60,2 e 58,0% para o capim cortados aos 56, 84 e 112 dias de idade, respectivamente. O maior valor de digestibilidade aparente da energia bruta encontrado para o capim-elefante colhido aos 56 dias de rebrota é reflexo da superioridade na digestibilidade da matéria seca deste tratamento ($r_{DAMS \times DAEB} = 0,98$; $p < 0,0001$) (TEIXEIRA, 2009).

Tabela 04. Valores médios de digestibilidade aparente da energia bruta em % (DAEB), metabolizabilidade (q_m), eficiência de uso da energia metabolizável para manutenção (K_m) e razão entre energia líquida e energia bruta em %, do capim-elefante verde cortado aos 56, 84 e 112 dias de crescimento

Idade de corte (dias)	DAEB	q_m	K_m	EL
56	70,11 a	0,62 a	0,68 b	42,14 ab
84	56,98 b	0,49 b	0,67 b	33,39 b
112	57,97 b	0,52 b	0,86 a	45,15 a
CV	7,61	8,31	12,91	18,94

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste SNK ($P < 0,05$). CV = coeficiente de variação (%).

Os maiores valores obtidos para o parâmetro q_m indicam menores perdas de energia na forma de fezes, urina e/ou metano. Devido ao fato da maior perda energética estar na produção fecal, a metabolizabilidade da EB apresentou uma alta correlação com a DAEB

($r_{q_m \times DAEB} = 0,99$; $p < 0,0001$). Mesmo com maior energia perdida na forma de urina e de gás metano, o capim-elefante cortados aos 56 dias de crescimento apresentou o maior q_m (0,62).

Trabalhando com capim-elefante cultivar Napier sob pastejo, Fontes *et al.* (2005) relataram um valor para a eficiência de utilização da EM para manutenção de 0,635. Velasco (2011) e Ramirez (2011) encontraram valores de K_m variando de 0,75 a 0,79 e 0,65 a 0,77 para o capim *B. decumbens* na forma verde e feno, respectivamente. Em ambos os trabalhos, não houve efeito do avanço do estágio de maturação sobre a eficiência de utilização da EM. A literatura indica que a eficiência de uso da EM para manutenção é relativamente constante, independente da composição do alimento. Contudo, neste trabalho, o capim-elefante colhido no estágio de maturação mais avançado apresentou um valor de K_m superior (0,86). Como o valor de K_m expressa a relação entre energia líquida e metabolizável para manutenção, seu valor é influenciado apenas pela perda de energia como Incremento Calórico, o que justifica a alta correlação entre esses parâmetros ($r_{K_m \times IC \%EB} = -0,96$; $P < 0,001$). O incremento calórico de animais alimentados com o capim cortado aos 112 dias de crescimento representou menos de 50% dos valores obtidos para as demais idades de corte, justificando este resultado.

Os valores de energia líquida, como porcentagem da energia bruta ingerida, refletem a eficiência do fluxo de energia no animal, representando a real energia disponível para o animal utilizar para manutenção e/ou produção. Variações entre 20,1 e 43,3% da EB foram observadas para gramíneas tropicais nas formas de feno, silagem e forragem verde (RAMIREZ, 2011; VELASCO, 2011; FARIA JUNIOR, 2012; CARVALHO, 2012), sendo próximos aos valores obtidos no presente estudo.

5.4.4. Teores de energia

A partir do desdobramento da energia foram obtidos os teores de energia do capim-elefante verde nas diferentes idades de corte. Não houve efeito da idade de corte sobre os teores de energia bruta do capim verde ($P < 0,05$), sendo encontrado valor médio de 4,03 Mcal/kg MS (Tabela 05).

Tabela 05. Valores médios de energia bruta (EB), de energia digestível (ED), de energia metabolizável (EM) e de energia líquida (EL), em Mcal por Kg de matéria seca consumida (Mcal/ Kg de MS) do capim-elefante verde cortado aos 56, 84 e 112 dias de crescimento

Idade de corte (dias)	EB	ED	EM	EL
56	4,03 a	2,86 a	2,51 a	1,72 ab
84	4,03 a	2,31 b	2,01 b	1,36 b
112	4,04 a	2,42 b	2,17 b	1,89 a
CV	4,42	9,23	9,95	19,09

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste SNK ($P < 0,05$). CV = coeficiente de variação (%).

Por serem constituídas principalmente de carboidratos, a energia bruta resultante da completa combustão de plantas forrageiras é de aproximadamente 4,1 Mcal/kg (RESENDE *et al.*, 2011), valor muito semelhante ao encontrado neste trabalho.

O capim cortado aos 56 dias de crescimento apresentou teores de energia digestível e energia metabolizável superiores às demais idades ($P < 0,05$), que foram semelhantes ($P > 0,05$). Em relação à energia líquida, o capim-elefante colhido aos 84 dias de idade apresentou teor inferior ao do capim colhido aos 112 dias ($P < 0,05$), com o capim mais novo apresentando teor de EL semelhante aos demais ($P > 0,05$).

Avaliando o feno do capim Tifton 85 cortado nas idades de 27, 43, 73 e 84 dias de rebrota, Carvalho (2012) obteve teores de ED variando de 2,22 a 2,47 Mcal/Kg MS. Para o capim *B. decumbens* colhido dos 56 aos 112 dias de crescimento, Velasco (2011) relatou teores entre 2,40 e 2,67 Mcal/Kg MS.

Pelo fato da produção fecal representar a maior proporção das perdas energéticas, os teores de energia metabolizável apresentaram alta correlação com a DAEB ($r_{EM \times DAEB} = 0,9225$; $P < 0,001$), sendo observado comportamentos semelhantes para estas variáveis.

Segundo Nussio *et al.* (2006), a lignificação e o avanço do estágio de maturação dos vegetais, invariavelmente conduzem a uma redução da digestibilidade aparente dos constituintes da parede celular. Porém, trabalhos recentes avaliando o valor nutricional de diferentes forrageiras tropicais não identificaram qualquer redução do teor de energia líquida em função da idade de corte da planta (RAMIREZ, 2011; VELASCO, 2011; FARIA JUNIOR, 2012; CARVALHO, 2012).

5.4.5. Respirometria

Os animais alimentados com capim-elefante verde cortado aos 56 dias de crescimento consumiram mais O_2 e produziram mais CO_2 , CH_4 e calor que animais alimentados com o capim colhido aos 84 e 112 dias ($P < 0,05$) (Tabela 06). As produções de gás metano e de calor variaram de 1,19 a 2,14 L/UTM/dia e 87,19 a 143,57 Kcal/UTM/dia, respectivamente. O coeficiente respiratório foi semelhante entre os tratamentos ($P > 0,05$), com valor médio de 0,98.

Semelhante ao encontrado neste trabalho, Carvalho (2012) observou que a produção de CO_2 e consumo de O_2 reduziram linearmente em função da idade de corte do Tifton 85 destinado à produção de feno. Levando-se em consideração o princípio da calorimetria indireta ou respirometria, no qual a produção de calor metabólico é resultado da oxidação de compostos orgânicos, a lignificação e queda da digestibilidade das frações fibrosas reduz a disponibilidade de substrato para o processo fermentativo no ambiente ruminal. Teixeira (2009) encontrou coeficientes de digestibilidade da FDN de 71,40; 57,78 e 57,19% para o capim-elefante verde cortado aos 56, 84 e 112 dias de crescimento, respectivamente.

Tabela 06. Valores médios da produção de metano (CH₄) e gás carbônico (CO₂), e consumo de oxigênio (O₂) em litros por unidade de tamanho metabólico por dia (L/UTM/dia), produção diária de calor (PC) em Kcal/UTM/dia e coeficiente respiratório (CR) de ovinos alimentados com capim-elefante verde cortado aos 56, 84 e 112 dias de crescimento

Idade de corte (dias)	CH ₄	CO ₂	O ₂	PC	CR
56	2,14 a	26,32 a	26,49 a	132,57 a	1,00
84	1,52 b	21,18 b	21,45 b	104,88 b	0,99
112	1,19 b	16,65 c	17,47 c	87,19 b	0,95
CV	26,32	12,97	13,26	14,64	5,53

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste SNK (P<0,05). CV = coeficiente de variação (%).

Em recentes trabalhos utilizando a metodologia de respirometria, as produções de gás CH₄ por ovinos alimentados com diferentes forrageiras tropicais em nível de manutenção têm variado de 0,86 a 2,10 L/UTM/dia (RAMIREZ, 2011; RIBEIRO JUNIOR *et al.*, 2011; VELASCO, 2011; FARIA JUNIOR, 2012; CARVALHO, 2012). Durante a fermentação ruminal, para cada molécula de acetato sintetizada, ácido graxo volátil produzido em maior proporção, há uma liberação de duas de moléculas de H₂ além da liberação de CO₂ (HUNGATE, 1966). Por ser o principal substrato metanogênico foi observada alta correlação entre a produção de CO₂ e a produção de CH₄ ($r_{CH_4 \times CO_2} = 0,9087$; P<0,001).

Os coeficientes respiratórios encontrados neste estudo indicam a metabolização predominante de carboidratos (média de 0,98). Segundo Diener (1997) os coeficientes respiratórios de carboidratos, proteína e gorduras são 1,0; 0,8 e 0,7, respectivamente. Sendo assim, este parâmetro é um bom indicativo da condição metabólica do animal.

Segundo Resende *et al.* (2011), quando o ruminante está em estado pós-absortivo (jejum), o coeficiente respiratório deveria ser equivalente ou próximo a 0,7. Em geral, tem sido encontrado experimentalmente que este *status* metabólico ocorre entre 48 e 114 horas após a última refeição. Neste experimento, a produção média de calor e coeficiente respiratório dos animais em jejum foi de 69,14 Kcal/UTM/dia e 0,74, respectivamente, conforme citado por Resende *et al.* (2011). Este valor do coeficiente, intermediário aos coeficientes descritos para proteína e gordura, indica que durante o jejum houve grande catabolismo de gordura, porém, também pode ter ocorrido alguma mobilização de proteína corporal, fato comprovado pela mensuração de nitrogênio na urina correspondente a uma eliminação diária de 2,63 g. Nos animais alimentados com capim cortado aos 56, 84 e 112 dias de crescimento, a excreção urinária de nitrogênio foi de 3,57; 1,65 e 0,94 g/dia, respectivamente (TEIXEIRA, 2009).

Outro parâmetro que pode ser utilizado para ajudar a comprovar se de fato o animal encontra-se em jejum é a ausência de produção de metano. Neste estudo, os animais em jejum apresentaram uma produção de metano de 0,0036 litros/UTM/dia, justificando o valor obtido para o CR.

5.4.6. Produção de metano entérico

A produção de metano variou entre 11,74 e 22,51 g/dia (Tabela 07). Quando expressa em g/UTM/dia, a produção deste gás foi superior para animais que receberam o capim-elefante-verde cortado aos 56 dias de idade ($P < 0,05$). A emissão de CH_4 (g) por quilo de MS e de FDN consumido para o capim colhido mais novo (56 dias) foi superior à do capim colhido no estágio mais avanço de maturação (112 dias) ($P > 0,05$). Porém, quando a emissão foi expressa em gramas por quilo de MS e FDN digestível consumido não houve diferença entre os tratamentos.

Velasco (2011) e Ramirez (2011) avaliaram a produção de metano por ovinos alimentados, respectivamente, com capim *B. decumbens* colhido entre 56 e 112 dias de idade verde e na forma de feno, encontrando produções entre 18,6 e 29,7 L/dia, semelhantes ao do presente estudo. Carvalho (2012) e Faria Junior (2012), de forma contrária aos resultados da Tabela 08, não observaram efeito da idade de corte do Tifton 85 sobre a produção de CH_4 em g/UTM/dia, com valores médios de 0,98 e 1,64, respectivamente.

Tabela 07. Valores médios para formação de metano (CH_4) em gramas por dia (g/dia), em gramas por unidade de tamanho metabólico por dia (g/UTM/dia) e em gramas por Kg de matéria seca (MS), matéria seca digestível (MSD), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e fibra insolúvel em detergente neutro digestível (FDND) consumido por ovinos alimentados com capim-elefante verde cortado aos 56, 84 e 112 dias de crescimento

Idade de corte (dias)	g/dia	g/UTM/dia	g /Kg MS	g /Kg MSD	g /Kg FDN	g /Kg FDND
56	22,51 a	1,53 a	18,91 a	27,00	28,93 a	40,34
84	16,00 ab	1,11 b	16,35 ab	29,09	23,84 ab	47,96
112	11,74 b	0,87 b	13,33 b	25,46	19,81 b	44,77
CV	23,45	26,83	18,55	23,27	24,51	24,33

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem pelo teste SNK ($P < 0,05$). CV = coeficiente de variação (%).

A emissão de metano em gramas por Kg de MS e de FDN consumidos apresentaram elevado coeficiente de correlação ($r_{\text{CH}_4/\text{Kg MS} \times \text{CH}_4/\text{Kg FDN}} = 0,9110$; $P < 0,001$). Pelo fato da fermentação de carboidratos fibrosos no rúmen proporcionar maior proporção de acetato, espera-se que a emissão de metano em função do alimento ingerido esteja, entre outros fatores, relacionada ao conteúdo de FDN do mesmo. Ramirez (2011) e Carvalho (2012) comparando as perdas de energia de metano por consumo de FDN digestível, não encontraram diferenças entre fenos produzidos de *B. decumbens* e Tifton 85 colhidos em diferentes idades de corte, corroborando com os resultados deste estudo.

Para todos os parâmetros adotados no estudo da produção de metano entérico, os coeficientes de variação estiveram dentro do limite de 20 a 30% recomendado por Sampaio (2002), indicando boa precisão dos dados obtidos.

Na literatura nacional há escassez de trabalhos avaliando, através de técnicas precisas, a emissão de metano por ruminantes alimentados em diferentes planos nutricionais. O Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da UFMG vem conduzindo experimentos, utilizando a técnica de respirometria calorimétrica, visando à elaboração de um banco de dados de diversas forrageiras utilizadas nas regiões tropicais (Tabela 09). Extrapolando as produções médias de metano obtidas neste estudo, as produções anuais seriam 8,2; 5,8 e 4,3 Kg/cabeça para ovinos alimentados em nível de manutenção com capim-elefante verde cortado aos 56, 84 e 112 dias de crescimento, respectivamente. Estes valores estão próximos aos descritos para ovinos alimentados em nível de manutenção com diferentes forrageiras tropicais (Tabela 08).

Tabela 08. Estimativa da emissão anual de metano por ovinos alimentados em nível de manutenção com diferentes forrageiras tropicais

Forrageira	Tratamento	Kg/cabeça/ano			
		Mínimo	Máximo	Média	PV ¹
Sorgo com capim-sudão (verde)	Normais e mutante BMR	4,65	6,58	5,41	44,8
Sorgo (silagem)	Híbridos e estádios de maturação	6,10	8,94	5,12	47,5
Tifton 85 (silagem)	Idades de corte (27, 45, 56, 74 e 90 dias)	6,84	12,69	8,70	46,5
Tifton 85 (feno)	Idades de corte (27, 43, 73 e 84 dias)	8,32	11,06	10,07	34,0
<i>B. decumbens</i> (verde)	Idades de corte (56, 84 e 112 dias)	6,85	9,62	8,23	37,0
<i>B. decumbens</i> (feno)	Idades de corte (56, 84 e 112 dias)	6,79	10,84	8,99	37,0
Capim-Andropogon (silagem)	Idades de corte (56, 84 e 112 dias)	4,28	5,79	5,21	59,0
Capim-elefante (verde)	Idades de corte (56, 84 e 112 dias)	4,28	8,22	6,11	34,7

¹Peso vivo (Kg). Fonte: adaptado de Machado (2010), Ribas (2010), Ramirez (2011); Ribeiro Junior *et al.* (2011); Velasco (2011); Faria Junior (2012); Carvalho (2012).

Pela Tabela 08 é possível perceber que há significativa variação na emissão de metano por ovinos alimentados em nível de manutenção (4,28 vs. 12,69 Kg/ano), devido à diversidade de espécies, idade de corte e formas de conservação das forrageiras tropicais que são frequentemente utilizadas nos sistemas de produção de ruminantes. É importante lembrar ainda que durante o período de seca no Brasil, fatores como a baixa disponibilidade de água, temperaturas mais amenas e/ou luminosidade reduzida interferem negativamente na produção, mas também no valor nutricional das forrageiras. Caso esta queda do valor nutricional esteja associada a uma menor digestibilidade das frações fibrosas, haveria,

consequentemente, uma menor emissão de metano, alterando os valores estimados na Tabela 09.

Boa parte dos inventários e relatórios sobre as emissões antrópicas de gás metano utilizam como parâmetro (*default*) uma emissão anual de 5,0 Kg de metano para ovinos adultos alimentados em nível de manutenção (IPCC, 2006), valor este inferior aos dados preliminares nacionais. Para chegar a esta fator de emissão, foi considerado que 6,5% \pm 1,0% da energia bruta ingerida seria perdida como gás metano. Entretanto, a partir dos dados nacionais (Tabelas 03 e 09), é possível verificar que a perda de energia associada à produção de gás metano possa ser inferior caso os animais estejam sendo alimentados com forrageiras em estágio mais avançado de maturação.

Tabela 09. Estimativa da perda de energia em percentagem da energia bruta ingerida por ovinos alimentados em nível de manutenção com diferentes forrageiras tropicais

Forrageira	Tratamento	% da EBI		
		Mínimo	Máximo	Média
Sorgo (silagem)	Híbridos e estádios de maturação	3,78	5,83	4,26
Tifton 85 (silagem)	Idades de corte (27, 45, 56, 74 e 90 dias)	3,73	5,16	4,35
Tifton 85 (feno)	Idades de corte (27, 43, 73 e 84 dias)	7,00	7,40	7,15
<i>B. decumbens</i> (verde)	Idades de corte (56, 84 e 112 dias)	4,06	6,20	5,28
<i>B. decumbens</i> (feno)	Idades de corte (56, 84 e 112 dias)	4,90	6,90	6,00
Capim-Andropogon (silagem)	Idades de corte (56, 84 e 112 dias)	3,21	3,69	3,43
Capim-elefante (verde)	Idades de corte (56, 84 e 112 dias)	4,28	8,22	6,11

Fonte: adaptado de Machado (2010), Ramirez (2011); Ribeiro Junior *et al.* (2011); Velasco (2011); Faria Junior (2012); Carvalho (2012).

5.5. Conclusões

O capim-elefante verde cortado entre 56 e 112 dias de crescimento é capaz de atender às exigências energéticas de manutenção para ovinos semelhantes aos utilizados neste experimento.

A produção de metano e as perdas energéticas são influenciadas pelo avanço da idade de corte do capim-elefante.

5.6. Referências bibliográficas

AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL: **Energy and protein requirements of ruminants**. Wallingford: CAB International, 1993. 159p.

ASSOCIATION OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **International Official methods of analysis**, 16 ed. Washington, D.C.: Animal feed., cap.4, 1995.

ASSOCIATION OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**, 13 ed. Washington, D.C.: AOAC, 1015p, 1980.

Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMET), disponível em: <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>, acessado em 20 de Dezembro de 2012.

BELL, M.J.; WALL, E.; SIMM, G.; *et al.* Effects of genetic line and feeding system on methane from dairy systems. **Animal Feed Science Technology**, v. 167, p. 699-707, 2011.

BLAXTER, K. L. **The Energy Metabolism of Ruminants**. Illinois:Springfield, 1962. 187p.

BLAXTER, K.L.; CLAPPERTON, J.L. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. **British Journal Nutrition**, v. 19, n.4, p.511-522, 1965.

BROUWER, M. Report of sub-committee on constants and factors. In: SYMPOSIUM OF ENERGY METABOLISM HELD AT EUROPEAN ASSOCIATION FOR ANIMAL PRODUCTION, 1965, London. **Proceedings...** London: EAAP Academic, 1965. p. 441-443.

CARVALHO, W. T. V. **Valor nutricional do feno de Tifton 85 em quatro idades**. 2012. 196p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

CASTRO, G.H.F. **Silagem de capim tanzânia (*Panicum maximum* cv Tanzânia) em diferentes idades**. 2008. 125p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

CHESSON, A.; FORSBERG, C.W. Polysaccharide degradation by rumen microorganisms. In: HOBSON, P.N. e STEWART, C.S. **The rumen microbial ecosystem**. Londres: Brackie Academic & Professional, 1997. Cap. 8, p.329-381.

CHWALIBOG, A. **Physiological basis of heat production – The fire of life**. Research School of Nutrition and Physiology, 2004.

COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANIZATION - CSIRO PUBLISHING. **Nutrient requirements of domesticated ruminants**. Collingwood, Australia. 2007. 270p.

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

DIENER, J. R.C. Calorimetria indireta. **Revista da Associação Médica Brasileira**. v.43, n.3, p.245-253, 1997.

EUCLYDES, R.F. **Manual de utilização do programa SAEG (Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas)**. Viçosa: UFV, 2005. 59p.

FARIA JUNIOR, W. G. **Valor nutricional de silagens do capim-Tifton 85 em difentes idades**. 2012. 199p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

FONTES, C.A.A.; OLIVEIRA, R.C.; ERBESDOBLER, E.A. *et al.* Uso do abate comparativo na determinação da exigência de energia de manutenção de gado de corte, pastejando capim-elefante: descrição da metodologia e resultados. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.5, p.1721-1729, 2005b.

FONTES, C.A.A.; OLIVEIRA, R.C.; ERBESDOBLER, E.D. *et al.* Conteúdo de energia líquida para manutenção e ganho do capim-elefante e mudanças na composição corporal de novilhos em pastejo, durante a estação chuvosa. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.5, p.1711-1720, 2005a.

GETACHEW, G.; BLÜMMEL, M.; MAKKAR, H.P.S. *et al.* *In vitro* gas measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: a review. **Animal Feed Science and Technology**. v.72, p. 261-281, 1998.

HUNGATE, R.E. **The rumen and its microbes**. New York: Academic, 1966. 533p.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Emissions from livestock and manure management. In: Eggleston, H. S.; Buendia, L.; Miwa, K.; Ngara, T.; Tabane, K. (Eds). **IPCC Guidelines for nacional greenhouse gas inventories**. Hayama: IGES, 2006. chap. 10, p. 747-846.

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

LIMA, E.S.; SILVA, J.F.C.; VÁSQUEZ, H.M.; *et al.* Fracionamento de carboidratos e compostos nitrogenados de genótipos de capim-elefante aos 56 dias de rebrota. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.11, p.1928-1933, 2008.

MACHADO, F. S. **Consumo, digestibilidade aparente, participação de energia e produção de metano em ovinos alimentados com silagens de sorgo em diferentes estádios de maturação**. 2010. 107p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient Requirements of sheep**. 6. Ed. Washington DC, USA; National Academic Press, 1985, 99p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of small ruminants**. 2007, 362p.

NUSSIO, L. G.; CAMPOS, F. P.; LIMA, M. L. M. Metabolismo de carboidratos estruturais. In: Berchielli, T. T., Pires, A. V., Oliveira, S. G. **Nutrição de ruminantes**. Jaboticabal: FUNEP. p.111-140. 2006.

RAMIREZ, M.A. **Consumo e digestibilidade aparente de fenos de *Brachiaria decumbens*, stp cultivar Basiliski cortados em três diferentes idades**. 2010. 48f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

RESENDE, K.T.; TEIXEIRA, I.A.M.A; FERNANDES, M.H.M.R. Metabolismo de energia. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. (Eds), **Nutrição de Ruminantes**. 2.ed., Jaboticabal: FUNEP; 2011. p.323-344.

RIBAS, M. N. **Avaliação agrônômica e nutricional de híbridos de sorgo com capim-sudão, normais e mutantes bmr- portadores de nervura marrom**. 2010. 128f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

RIBEIRO JUNIOR, G. O.; GONÇALVES, L. C.; RODRIGUEZ, N. M.; *et al.* Respirometria e perdas energéticas de ovinos alimentados com silagens de capim *Andropogon gayanus* em diferentes idades de corte. In: X Congresso Internacional do Leite, 2011, Maceió . **Anais...** Maceió: Congresso Internacional do Leite, 2011. (CD-ROM).

RODRIGUEZ, N. M. ; CAMPOS, W. E. ; LACHICA, M. L. ; *et al.* A calorimetry system for metabolism trials. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 59, p. 495-500, 2007.

SAMPAIO, I, B, M. **Estatística aplicada à experimentação animal**. Belo Horizonte: Fundação de Estudo e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia, 2002. 265p.

SANTOS, F.A.P. Metabolismo de proteínas. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. (Eds). **Nutrição de ruminantes**. Jaboticabal: FUNEP. 2006. p.255-284.

SARWAR, M., FIRKINS, J.L. EASTRIDGE, M.L. Effects of varying forage and concentrate carbohydrates on nutrient digestibilities and milk production by dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.75, p.1533–1542, 1992.

SILVA, J. F., LEÃO, M. I. **Fundamentos de nutrição dos ruminantes**. Piracicaba: Ceres, 1978. 379p.

TEIXEIRA, A. M. **consumo voluntário e digestibilidade aparente do capim-elefante *Pennisetum purpureum* Schum.) verde em diferentes idades de corte, em ovinos.** 2009. 39f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

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

VAN SOEST, P. J., ROBERTSON, J. B., LEWIS, B.A. Official for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal Dairy Science** , v.74, p. 3583-3597, 1991.

VELASCO, F. O. **Valor nutritivo da *Brachiaria decumbens* em três idades.** 2011. 98p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

CAPÍTULO VI

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os resultados da cinética de fermentação ruminal e do desaparecimento ruminal das diferentes frações nutricionais indicam que a idade de corte ideal para o capim-elefante é a de 56 dias de crescimento.

Recomenda-se o corte da planta inteira de capim-elefante para utilização como forragem verde aos 56 dias de rebrota a fim de se obter um material com elevado potencial de degradação e maior valor nutricional.

As maiores perdas energéticas na forma de metano e incremento calórico foram registradas para o capim colhido mais novo, porém foram compensadas pela maior digestibilidade aparente da energia bruta. Sendo assim, os teores de energia líquida não reduziram com avanço da idade de corte, de forma contrária ao observado para a energia digestível e metabolizável.

As produções de metano quando expressas em g/kg matéria seca digestível ou em g/kg fibra insolúvel em detergente neutro digestível não foram influenciadas pelo estágio de maturação do capim-elefante.

Apesar do critério mais adequado atualmente para expressar o valor energético ser o sistema de energia líquida, novas pesquisas devem ser realizadas para confirmar esses resultados e os fatores que os determinaram.