

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Veterinária
Colegiado dos Cursos de Pós-Graduação

DEGRADABILIDADE RUMINAL E PARÂMETROS
DA FERMENTAÇÃO EM DIETAS CONTENDO
SILAGEM DE CANA-DE-AÇÚCAR E CAROÇO DE
ALGODÃO

DAYANA ALVES DA COSTA

Belo Horizonte
UFMG – Escola de Veterinária
2010

Dayana Alves da Costa

**DEGRADABILIDADE RUMINAL E PARÂMETROS DA FERMENTAÇÃO EM
DIETAS CONTENDO SILAGEM DE CANA-DE-AÇÚCAR E CAROÇO DE
ALGODÃO**

Tese apresentada à Escola de Veterinária da
Universidade Federal de Minas Gerais, como
requisito parcial para obtenção do grau de Doutor
em Zootecnia.

Área de Concentração: Nutrição e Alimentação Animal
Orientadora: Prof^a. Dra. Eloísa de Oliveira Simões Saliba

Belo Horizonte
UFMG – Escola de Veterinária
2010

C837d Costa, Dayana Alves da, 1981-
Degradabilidade ruminal e parâmetros da fermentação em dietas contendo silagem de cana-de-açúcar e caroço de algodão / Dayana Alves da Costa. – 2010.
53 p. : il.

Orientadora: Eloísa de Oliveira Simões Saliba

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária

Inclui bibliografia

1. Vaca – Alimentação e rações – Teses. 2. Fermentação no rúmen – Teses. 3. Dieta em veterinária – Teses. 4. Degradabilidade – Teses. I. Saliba, Eloísa de Oliveira Simões. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Veterinária. III. Título.

CDD – 636.208 5

Tese defendida e aprovada em 08 de setembro de 2010 pela Comissão Examinadora constituída por:

ELOÍSA DE O. S. SALIBA

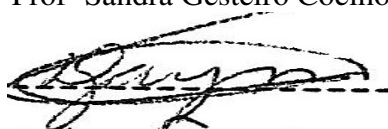
Prof^a Eloísa de Oliveira Simões Saliba

Lucio Carlos Gonçalves

Prof. Lúcio Carlos Gonçalves

SANDRA GESTEIRO COELHO

Prof^a Sandra Gesteiro Coelho



Dr. Diogo Gonzaga Jayme

Gustavo Henrique de Frias Castro

Dr. Gustavo Henrique de Frias Castro

Dedicatória

Á Deus, sempre, aos meus queridos pais e ao meu irmão.

Aos amigos verdadeiros e professores que encontrei durante toda minha vida acadêmica.

À minha cara metade e grande amor que encontrei durante a execução desse experimento.

Agradecimento

Aos meus pais (Maria e Malveira) em especial meu irmão Malk, pelo apoio, carinho e incentivo em todos os momentos da minha vida.

Agradeço a prof^a. Eloísa pela orientação, ensinamentos e apoio durante a execução desse trabalho.

Agradeço ao Jailton Carneiro e sua família, exemplo de profissional a ser seguido, pelo suporte e apoio, pela orientação e paciência.

Ao Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, e aos seus funcionários Toninho e Margot pela ajuda fundamental nas análises e aos demais professores e funcionários.

À EMBRAPA- CNPGL por ceder às instalações, laboratórios e animais.

Ao CNPq pela bolsa de pesquisa concedida.

Aos amigos Danilo e Guilherme pela ajuda nas análises estatísticas, as amigas Gesiane pelo auxílio fundamental nas coletas, pelos momentos divertidos de aprendizagem que dividimos juntas, agradeço à Juliana pela amizade e companheirismo.

E, finalmente, ao “Clebinho” que apareceu durante a execução desse experimento. E que estará comigo em todos os desafios que ainda virão em nossas vidas.

SUMÁRIO

RESUMO.....	10
ABSTRACT.....	10
INTRODUÇÃO GERAL	11
1. REVISÃO DE LITERATURA.....	12
1.1. Utilização de caroço de algodão na dieta de ruminantes.....	12
1.2. Utilização da cana-de-açúcar e da silagem de cana-de-açúcar na alimentação de ruminantes.....	12
1.3. Degradabilidade <i>in situ</i>	14
1.4. Considerações sobre parâmetro da fermentação ruminal de vacas leiteiras.....	14
1.5. Considerações sobre a dinâmica da fase sólida e líquida no trato gastrointestinal de bovinos.....	16
1.6. Avaliação de indicadores em estudos com ruminantes: Estimativa de consumo.....	16
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
2.1. Local, clima e instalações experimentais.....	17
2.1.1 Período experimental.....	17
2.1.2. Origem dos alimentos e dietas experimentais.....	17
2.1.3. Animais utilizados no experimento.....	19
2.2 Procedimento experimental e coleta de dados.....	19
2.2.1 Degradabilidade <i>in situ</i> da silagem de cana-de-açúcar.....	19
2.2.2 Parâmetros Ruminais.....	20
2.2.3 Cinética Ruminal.....	21
2.2.4 Estimativa de consumo total através do uso de indicadores externos em vacas Holandês x Zebu mantidas em confinamento.....	22
2.3 Análises de laboratório.....	23
2.4 Análises estatísticas.....	24
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
3.1 Degradabilidade <i>in situ</i>	24
3.1.1 Desaparecimento da matéria seca (MS) da silagem de cana-de-açúcar.....	24
3.1.2 Desaparecimento da fibra em detergente neutro (FDN) da silagem de cana-de-açúcar.....	28
3.2 Fermentação ruminal	30
3.2.1 Concentração dos ácidos graxos voláteis no rúmen.....	30
3.2.2 Nitrogênio amoniacal (N-NH ₃).....	34
3.2.3 pH ruminal.....	36

3.3 Cinética de passagem da digesta	37
3.3.1 Cinética de passagem da fase sólida.....	37
3.3.2 Cinética de passagem da fase líquida.....	39
3.4 Estimativa de produção fecal através do uso de indicadores em vacas holandês x zebu mantidas em confinamento.....	41
4. CONCLUSÕES.....	45
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição percentual dos ingredientes das dietas experimentais de acordo com os níveis de inclusão do caroço de algodão em base de matéria seca (%MS).....	18
Tabela 2. Composição química da silagem de cana-de-açúcar (SCA) e do caroço de algodão fornecidos durante o experimento com base na matéria seca (%)......	18
Tabela 3. Composição química e energia bruta (Kcal/g) das dietas experimentais consumidas durante o experimento segundo os níveis de inclusão do caroço de algodão com base na matéria seca (%)......	19
Tabela 4. Caracterização dos animais experimentais.....	19
Tabela 5. Fração solúvel (S) e potencialmente degradável (B1), degradabilidade potencial (A) e efetiva (DE), taxa de degradação (c) e coeficiente de determinação (R^2) da matéria seca (MS) da silagem de cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.).....	25
Tabela 6. Desaparecimento médio (%) da matéria seca da silagem de cana-de-açúcar em função dos tempos de incubação.....	27
Tabela 7. Fração solúvel (S) e potencialmente degradável (B1), degradabilidade potencial (A) e efetiva (DE), taxa de degradação (c) e coeficiente de determinação (R^2) da fibra em detergente neutro (FDN) da silagem de cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.).....	29
Tabela 8. Desaparecimento médio (%) da fibra em detergente neutro (FDN) da silagem de cana-de-açúcar em função dos tempos de incubação.....	30
Tabela 9. Efeito dos níveis crescentes de caroço de algodão sobre a concentração (mMol/100 mL) de acetato no rúmen de vacas em lactação, recebendo dieta à base de silagem de cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.), em função do tempo após alimentação.....	31
Tabela 10. Efeito dos níveis crescentes de caroço de algodão sobre a porcentagem molar de acetato (%) no rúmen de vacas em lactação, recebendo dieta à base de silagem de cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.), em função do tempo após alimentação.....	31
Tabela 11. Efeito dos níveis crescentes de caroço de algodão sobre a concentração (mMol/100 mL) de propionato no rúmen de vacas em lactação, recebendo dieta à base de silagem de cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.), em função do tempo após alimentação.....	32

Tabela 12. Efeito dos níveis crescentes de caroço de algodão sobre a porcentagem molar de propionato (%) no rúmen de vacas em lactação, recebendo dieta à base de silagem de cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.), em função do tempo após alimentação.....	33
Tabela 13. Efeito dos níveis crescentes de caroço de algodão sobre a concentração (mMol/100 mL) de butirato no rúmen de vacas em lactação, recebendo dieta à base de silagem de cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.), em função do tempo após alimentação.....	33
Tabela 14. Efeito dos níveis crescentes de caroço de algodão sobre a porcentagem molar de butirato (%) no rúmen de vacas em lactação, recebendo dieta à base de silagem de cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.), em função do tempo após alimentação.....	34
Tabela 15. Efeito das dietas contendo níveis crescentes de caroço de algodão sobre a concentração de nitrogênio amoniacal (mg/ 100ml) em função dos horários após a alimentação.....	35
Tabela 16. Efeito das dietas contendo níveis crescentes de caroço de algodão sobre o pH ruminal em função dos horários após a alimentação.....	36
Tabela 17. Parâmetros da cinética de fluxo de partículas no trato gastrointestinal de vacas em lactação, consumindo dietas baseada em silagem de cana-de-açúcar contendo níveis crescentes de caroço de algodão, segundo estimativas obtidas pelo modelo de Grovum e Williams (1973) com os respectivos coeficientes de variação (CV).....	37
Tabela 18. Equações de regressão (ER) para a estimativa da concentração do indicador (Cr-mordente) nas fezes em função dos níveis crescentes de caroço de algodão na dieta, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2).....	38
Tabela 19. Parâmetros da cinética de fluxo de líquido no trato gastrointestinal de vacas em lactação, consumindo dietas baseada em silagem de cana-de-açúcar contendo níveis crescentes de caroço de algodão, segundo estimativas obtidas pelo modelo de Colucci (1984) com os respectivos coeficientes de variação (CV).....	39
Tabela 20. Equações de regressão (ER) para a estimativa da concentração do indicador Co-EDTA em função dos níveis crescentes de caroço de algodão na dieta, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2).....	40
Tabela 21. Estimativas médias de produção fecal (kg/d de MS) por vacas mestiças holandês x zebu em lactação confinadas recebendo silagem de cana-de-açúcar e concentrado com níveis de caroço de algodão, obtidas a partir dos indicadores titânio e LIPE®	41
Tabela 22. Valores médios de consumo (kg/d de MS) por vacas mestiças holandês x zebu em lactação confinadas recebendo silagem de cana-de-açúcar e concentrado com níveis de caroço de algodão, obtidos a partir da mensuração no cocho ou estimado com auxílio dos indicadores titânio e LIPE®	42
Tabela 23. Valores médios de consumo em porcentagem de peso vivo (%PV) por vacas mestiças holandês x zebu em lactação confinadas recebendo silagem de cana-de-açúcar e concentrado com níveis de caroço de algodão, obtidos a partir da mensuração no cocho ou estimado com auxílio dos indicadores titânio e LIPE®	43

Tabela 24. Médias de digestibilidade aparente (%) da matéria seca (MS), energia bruta (EB) e matéria orgânica (MO) por vacas mestiças holandês x zebu em lactação confinadas recebendo silagem de cana-de-açúcar e concentrado com níveis de caroço de algodão, e seus respectivos coeficientes de variação (CV) estimadas pelos indicadores titânio e LIPE®	44
--	----

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a inclusão de níveis crescentes (5, 10 e 15%) de caroço de algodão à uma dieta de silagem cana-de-açúcar confeccionada com 1% de uréia em base de matéria seca e concentrado composto de milho e farelo de algodão. Foram avaliadas a composição química, as concentrações de ácidos graxos, nitrogênio amoniacal e valores de pH, a cinética ruminal, os parâmetros de degradabilidade *in situ* da matéria seca e da fibra em detergente neutro da silagem de cana-de-açúcar, também foi avaliado a eficácia dos indicadores externos LIPE® e dióxido de titânio nas estimativas de produção fecal. Foram utilizadas quatro vacas mestiças Holandês x Zebu fistuladas no rúmen, em um delineamento em Quadrado Latino 4 x 4, no terço inicial da lactação (60 ± 25 dias) e com produção média de $11,1 \pm 3,3$ kg de leite/dia. Dentre os parâmetros de fermentação e cinética ruminal, somente a concentração ruminal (mMoles/100 ml) e a proporção molar (%) do propionato não sofreram influência ($P > 0,05$) dos tratamentos. Dentre os parâmetros de degradabilidade *in situ* da matéria seca, tanto a taxa de degradação (c) (0,0458; 0,0372; 0,033 e 0,0147 /h) quanto a degradabilidade efetiva (DE) para uma taxa de passagem de 3,9% (44,26; 46,06; 44,53; e 38,74%) para os tratamentos com 0; 5; 10 e 15% de caroço de algodão, respectivamente, reduziram seus valores com a adição de caroço de algodão a um nível de significância de 5%, o mesmo comportamento foi observado para os parâmetros de degradabilidade *in situ* da fibra em detergente neutro. O consumo diário de matéria seca não sofreu influência ($P > 0,05$) da adição do caroço de algodão em níveis iguais ou superiores a 15% da dieta (12,4; 12,2; 13,1 e 10,9 kg/dia ou 2,4; 2,4; 2,6 e 2,2 % do peso vivo/dia) para os tratamentos com 0; 5; 10 e 15% de caroço de algodão, respectivamente. Os indicadores externos LIPE® e dióxido de titânio mostraram-se adequados para estimar a produção fecal e o consumo das vacas, independente da dieta oferecida, ambos mostraram que podem ser indicadores externos substituto do óxido crômico, pois, as estimativas de consumo fornecidas por eles não diferiram ($P > 0,05$) do consumo observado no cocho.

Palavras – chave: Cinética ruminal, degradabilidade *in situ*, fermentação ruminal, indicadores externos, taxa de passagem

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the inclusion of increasing levels (0, 5, 10 and 15%) of cottonseed to a basic diet of silage cane sugar made with 1% urea in dry matter basis and concentrate composed of corn and cottonseed meal. We evaluated the parameters and kinetics, the parameters of *in situ* dry matter of silage from sugar cane, was also evaluated the effectiveness and titanium dioxide in the estimates of external indicators LIPE® of total consumption. Four dairy cows crossbred Holstein cows fitted with rumen cannulae, in a randomized Latin Squares 4 x 4 in 3.3 kg of milk ± 25 days) and average production of $11.1 \pm$ early lactation (60 / day. Among the parameters of fermentation and kinetics, only the ruminal concentration (mMoles/100 ml) and the molar ratio (%) of propionate were not influenced ($P > 0.05$) treatments. Among the parameters of *in situ* dry matter, both the rate of degradation (c) (0.0458, 0.0372, 0.033 and 0.0147 / h) as the effective degradability (DE) for a passage rate of 3.9% (44.26, 46.06, 44.53, and 38.74%) for treatments with 0, 5, 10 and 15% cottonseed, respectively, their values decreased with the addition of lump cotton at a significance level of 5%. Daily consumption of dry matter was not affected ($P > 0.05$) the addition of cottonseed at levels equal to or greater than 15% of the diet (12.4, 12.2, 13.1 and 10.9 kg / days or 2.4, 2.4, 2.6 and 2.2% body weight / day) for treatments with 0, 5, 10 and 15% cottonseed, respectively. and® External indicators LIPE® titanium dioxide were adequate to estimate the intake of cows, regardless of diet offered, both showed that external indicators can be a substitute for chromic oxide, therefore, estimates of consumption provided they did not differ ($P > 0.05$) in consumption observed in the trough.

Keywords: Ruminal kinetic, degradability *in situ*, fermentation ruminal, external markers, rate of passage

INTRODUÇÃO GERAL

Vários alimentos destinados aos animais competem em importância na cadeia para alimentação humana como o milho e a soja, sendo conveniente a utilização de alimentos alternativos, principalmente para ruminantes, os quais são temas de pesquisas para evidenciar o potencial nutritivo desses como substitutos eficazes dos alimentos tradicionais.

Além disso, as flutuações sazonais causam restrições periódicas na qualidade e quantidade dos alimentos, o que, na maioria das vezes, não atende às exigências nutricionais dos animais. A baixa disponibilidade de forragens de boa qualidade pode causar prejuízos na extensão e eficiência de produção de proteína microbiana e no nível de proteína não degradada no rúmen. A suplementação, particularmente nas épocas de escassez de forragens de boa qualidade, permite então, o adequado ganho de peso e crescimento dos animais. O desafio da nutrição na produção de leite tem sido alimentar as vacas lactantes, a fim de manter um bom estado sanitário e maximizar a produção de leiteira, enquanto se minimizam os custos da dieta.

A demanda progressiva por alimentos força não só o aumento da produtividade como também o de áreas cultivadas. Como consequência, um dos resultados do crescimento da produção agrícola tem sido a utilização de subprodutos da agroindústria na alimentação animal. Existe uma gama de subprodutos da agroindústria, dentre os quais ressaltam-se as sementes de espécies oleaginosas, sendo estas, as fontes de lipídios mais usadas na dieta animal por proporcionarem alta densidade energética.

A quantidade de grãos e sementes em relação à forragem na dieta pode afetar a densidade energética e permitir um maior consumo de energia se o consumo alimentar e a digestibilidade não forem reduzidas, entretanto, existem limites para o seu consumo, uma vez que o consumo excessivo pode causar diversas doenças metabólicas, redução do consumo alimentar e problemas de cascos, entre outras. O adequado desempenho produtivo dos ruminantes relaciona-se principalmente com o consumo alimentar que, por sua vez, depende do consumo de matéria seca da dieta e de sua concentração energética. O aumento da concentração de energia metabolizável dietética pode ser conseguido a partir da manipulação da relação forragem: concentrado ou pela adição de lipídios.

O caroço de algodão empregado nas dietas de ruminantes como o subproduto da agroindústria, resultado do descaroçamento do algodão e usado como alimento para ruminantes por vários anos, apresenta disponibilidade crescente para uso em ração animal devido à substituição do óleo de algodão por outros óleos na alimentação humana. É um alimento que se destaca como alternativa na elaboração de dietas para ruminantes, principalmente por ter reflexos positivos nos índices de produtividade e qualidade dos produtos de origem animal, desde que alguns limites pré-estabelecidos sejam respeitados.

O seu uso ganha espaço entre os nutricionistas por apresentar de forma ímpar altas concentrações de energia, proteína e fibra, permitindo a substituição de alimentos volumosos na dieta sem prejudicar a fermentação ruminal. Tem-se observado que a suplementação de grãos pode melhorar a produção de leite. A razão para tal fato não é definida, mas sabe-se que a suplementação com gordura pode aumentar a disponibilidade de glicose para as células produtoras de leite; a glicose é uma precursora da síntese de lactose, determinante do volume de leite sintetizado pela glândula mamária.

Em dietas elaboradas para ruminantes não restam dúvidas que mesmo fornecendo fontes de alimentos alternativos é essencial o fornecimento de um volumoso para manter em equilíbrio o ambiente ruminal. A cana-de-açúcar tem se constituído uma ferramenta fundamental para este fato, pois nos últimos anos a sua utilização tem crescido de forma considerável na alimentação dos rebanhos leiteiros durante o período seco do ano. As características que têm levado a cana-de-açúcar a ocupar lugar de destaque como forrageira de inverno na pecuária nacional é o seu elevado potencial de produção de matéria seca (MS), o seu período de utilização, que ocorre em coincidência com o período de escassez de produção de forragens pelas pastagens tropicais e, o seu aumento no coeficiente de digestibilidade da matéria seca com a maturidade da planta, ou seja, o oposto do que acontece com a maioria das demais plantas forrageiras de origem.

Tradicionalmente a cana-de-açúcar é utilizada in natura na alimentação de rebanhos, através do corte e fornecimento diário. Entretanto, esta prática exige diariamente mão-de-obra para as atividades de corte, despalhamento, picagem e transporte, estabelecendo limitações logísticas e operacionais na suplementação de rebanhos de porte médio a grande e problemas relacionados a colheitas em dias

chuvosos. Atualmente, a conservação da cana-de-açúcar na forma de silagem tem despertado o interesse de pesquisadores e produtores, em função dos benefícios em logística e operacionalidade que esta técnica pode apresentar.

Esta alternativa, além de aumentar a eficiência da colheita, evita perdas da forragem no caso de ocorrência de incêndios e geadas e tem vantagens do ponto de vista agrônomo para a cultura da cana-de-açúcar. Uma das maiores limitações impostas pela cana-de-açúcar para o bom desempenho de vacas leiteiras, é o seu baixo teor de proteína bruta. A forma mais barata e tradicionalmente utilizada para se elevar o teor de proteína da cana-de-açúcar é a adição de uréia ao material. Doses elevadas de uréia na ração podem resultar em perda de parte deste nitrogênio na forma de amônia absorvida através da parede ruminal. Qualquer metodologia que efetivamente torne a uréia solúvel a taxas mais lentas do que quando fornecida in natura poderia conduzir a sua otimização em dietas para ruminantes, desde que adequadamente balanceadas para esse fim.

O presente experimento teve como objetivo estudar os efeitos da inclusão de níveis crescentes do caroço de algodão numa dieta baseada em silagem de cana-de-açúcar fornecida a vacas leiteiras mestiças Holandês x Zebu. Foi estudado a ação dessa dieta sobre os parâmetros de fermentação ruminal, a cinética das partículas sólidas e dos fluidos presente no trato gastrointestinal, a degradabilidade in situ da silagem de cana-de-açúcar e, finalmente a eficácia dos indicadores externos LIPE[®] e titânio nas estimativas de consumo total das dietas.

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1 Utilização do caroço de algodão na dieta de ruminantes

O caroço de algodão tem sido uma alternativa bastante estudada para a suplementação energética, sua principal vantagem está no alto teor de energia, que reflete o seu conteúdo de óleo. Considerado fonte de energia, é relativamente rico em proteína (24% PB), além disso, não requer nenhum processamento. O óleo é rico em ácidos graxos insaturados, com o ácido linoléico compreendendo 62% e o ácido oléico 15% do total dos ácidos graxos. Além dessas vantagens, o caroço de algodão tem capacidade de suprir fibra para a ração quando, por exemplo, é comparado à soja.

A utilização do caroço de algodão na dieta de vacas em lactação tem sido incrementada no Brasil nos últimos anos, principalmente pela disponibilidade desse produto em algumas regiões e o alto custo da suplementação protéica. Por meio de alguns trabalhos de pesquisa, procura-se estudar o caroço de algodão em várias formas físicas (moído, triturado etc.) com relação à cinética ruminal e seus efeitos na produção de leite (Teixeira et al., 2002).

Melo et al. (2005) avaliaram o efeito de cinco níveis de caroço de algodão em substituição parcial ao farelo de soja e silagem de sorgo, para vacas em lactação. Os valores médios para digestibilidade da dieta para a MS, MO, PB, EE e FDNcp 69,25; 69,33; 75,06; 74,98; 49,51%, respectivamente.

Valadares Filho et al. (2006) apresentam valores para os teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), nutrientes digestíveis totais (NDT), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA), lignina (LIG) e matéria orgânica (MO), de 90,64; 22,62; 81,92; 18,90; 46,04; 35,85; 7,58 e 96,32%, respectivamente.

Além disso, o caroço de algodão apresenta considerável teor de proteína e fibra. Esta fibra tem efetividade relativamente alta, estimulando a ruminação e a manutenção do funcionamento ruminal, apresentando alta digestibilidade. A presença do linter do caroço de algodão diminui a taxa de passagem das dietas alterando o enchimento ruminal e estimulando a mastigação (Lima, 2003), o que contribui para o aumento da digestibilidade. As sementes recém separadas apresentam-se cobertas por grande quantidade de linter, camada fina de pêlos curtos aderidos ao tegumento das sementes. Esse linter é composto por celulose e sua taxa de degradação é alta (Palmquist, 1995).

1.2 Utilização da cana-de-açúcar e da silagem de cana-de-açúcar na alimentação de ruminantes

No Brasil a produção das pastagens é sazonal, devido à ocorrência de duas épocas distintas, a estação chuvosa e a estação seca. Entre 70 a 90% da produção das forrageiras tropicais ocorre na

estação quente e chuvosa do ano. A intensificação do uso das pastagens neste período acentua ainda mais a necessidade de forragens suplementares destinadas à alimentação animal durante a estação seca do ano.

Diversas estratégias são utilizadas para suprir essa deficiência de ordem quantitativa de recursos forrageiros, tais como: cultivo de pastagens de clima temperado com irrigação, venda de animais, arrendamento de áreas de pastagens e a utilização de alimentação volumosa suplementar. Esta última pode ser efetuada de várias formas, dentre elas, destacam-se as silagens de milho, de sorgo e de plantas forrageiras tropicais, o feno de gramíneas tropicais (Nussio et al., 2001) e a cana-de-açúcar fornecida *in natura* ou na forma de silagem.

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) possui grande destaque para a alimentação animal. Isto se deve à vários fatores: a) seu potencial de alta produção de matéria seca (MS); b) o baixo custo por unidade de MS e de energia produzida comparativamente com outros alimentos volumosos; c) o fato de atingir ponto ideal de colheita coincide com o período de escassez de forragens das pastagens; d) por manter seu valor nutritivo por períodos longos e finalmente, e) por apresentar taxa de risco menor que outras culturas. Dificilmente ocorrem perdas totais da cultura, com exceção das causadas por queimadas e geadas (Nussio e Schmidt, 2004).

Conforme Nussio et al. (2001) a cana-de-açúcar, como volumoso, é de média qualidade quanto à sua digestibilidade. Possui teores muito baixos de proteína assim como de minerais, principalmente fósforo. O seu teor em gorduras também é baixo, em torno de 1,4% com base na matéria seca. Por outro lado, o alto conteúdo de sacarose associado à elevada produção de matéria seca por hectare, conferem potencial para grande produção de energia por hectare à cana-de-açúcar.

Segundo Boin e Tedeschi (1993) a utilização da cana-de-açúcar na alimentação de bovinos é limitada devido à necessidade de suplementação com concentrados, que encarecem a produção e sem os quais há baixo desempenho animal. Os autores supracitados acreditam que apesar da mistura uréia-sulfato de amônio ser a forma mais adequada para aumentar o teor de nitrogênio de dietas com cana-de-açúcar, essa suplementação não garante níveis satisfatórios de desempenho para animais em crescimento e vacas em lactação.

Leng e Preston (1976) observaram em geral baixo desempenho animal obtido em relação à digestibilidade da cana-de-açúcar devido ao baixo consumo de matéria seca. Os autores propuseram que o consumo de MS seria limitado pelo baixo fornecimento pós-ruminal de glicose e proteína (aminoácidos) de origem alimentar.

Boin e Tedeschi (1993) encontraram digestibilidade da matéria seca da cana-de-açúcar entre 54 e 65%. Eles concluíram que essa variabilidade na digestibilidade é devido às variações nas proporções de parede celular (fibra) e conteúdo celular (basicamente açúcares). Valvasori et al. (1995) trabalharam com 12 vacas de leite que recebiam silagem de milho *ad libitum* e 1,5 kg de farelo de soja ou silagem de milho e cana-de-açúcar (50:50) *ad libitum* e 2,25 kg de farelo de soja ou cana-de-açúcar *ad libitum* e 3,0 kg de farelo de soja. Os autores concluíram que a cana-de-açúcar pode ser usada como volumoso em rações para vacas produzindo até 18 kg de leite por dia.

Mais recentemente com o surgimento no Brasil de confinamentos de gado de corte de grande porte, assim como o de fazendas leiteiras com rebanhos de médio a grande porte, tem aumentado o interesse da conservação da cana-de-açúcar na forma de silagem. A escolha pelo uso da planta ensilada e não, *in natura*, como tradicionalmente é feito decorre das inúmeras vantagens operacionais e do aumento da flexibilidade do sistema de produção. O uso da planta na forma ensilada permite o corte em curto espaço de tempo, o aproveitamento da forragem quando esta atinge seu máximo valor nutritivo, o manejo facilitado do canavial, além de permitir o uso da cana em caso de incêndios acidentais ou excesso de produção (Pedroso, 2003). Entretanto a ensilagem da cana resulta em alguma perda de sacarose e conseqüentemente aumenta o teor de FDN na silagem.

Outro inconveniente desta forrageira na obtenção de silagem é seu alto conteúdo de açúcares solúveis que resulta em rápida proliferação de leveduras com produção de etanol e gás carbônico. De acordo com McDonald et al. (1991), apesar de o etanol produzido nas silagens de cana-de-açúcar ser potencialmente utilizado como substrato energético. O mesmo é rapidamente volatilizado no silo e no cocho, acarretando perdas de até 48% de matéria seca.

Queiroz et al. (2005) estudaram silagem de cana-de-açúcar aditivada microbiologicamente para vacas holandesas em estágio intermediário, como volumoso exclusivo nas rações, comparando com cana fresca picada diariamente, com silagem de milho ou com uma mistura de 50:50 de cana fresca e

silagem de milho. As rações com silagem de cana proporcionaram consumo de matéria seca maior que as rações com cana fresca ou silagem de milho. Entretanto, a produção de leite das vacas não variou entre os tratamentos (média de 24,9 kg/dia), embora a ração com silagem de milho tenha proporcionado 1 kg de leite a mais por dia que as rações contendo cana.

1.3 Degradabilidade *in situ*

A técnica de degradabilidade ruminal *in situ* proporciona o conhecimento das taxas e extensões de degradação dos nutrientes. A acurácia dos resultados obtidos decorre do íntimo contato da amostra com o ambiente ruminal, apesar de não estar sujeita à mastigação e ruminação ou fluxo para o trato digestivo posterior, no entanto reduz custos e requer pouco espaço físico e tempo para execução.

Segundo Nocek (1988) esta técnica permite a avaliação rápida e simples da degradação do material em função do tempo de incubação neste segmento gástrico. A degradação potencial (DP) é obtida pela fórmula $DP = a + b(1 - e^{-ct})$ e a degradação efetiva (DE) pela fórmula $DE = a + [(bxc)/(c+k)]$, em que a = fração solúvel em água; b = fração insolúvel, mas potencialmente degradável; $a + b$ = máximo de fermentação, característico de cada alimento; c = taxa de digestão da fração b (%/h); t = tempo de fermentação (h); e k = taxa de passagem (%/h), sendo de 2, 5 e 8 %/h (Ørskov e McDonald, 1979).

Os fatores que afetam a degradabilidade *in situ* são o regime alimentar do animal fistulado, o período de fermentação das amostras no rúmen, o peso da amostra, o preparo da amostra, a posição dos sacos de náilon no rúmen e a lavagem dos sacos, o que ocorre em função da porosidade x peso da amostra e do tipo de lavagem.

Segundo Ørskov e McDonald (1979) a qualidade de um alimento pode, essencialmente, ser expressa em termos de três características próprias: 1) a extensão da degradação potencial, que determina a quantidade do material não degradável, o qual ocupa espaço no rúmen; 2) a taxa de fermentação, que influencia o tempo em que a fração digestível ocupa espaço no rúmen; e, 3) a taxa de redução do tamanho de partícula, que influencia ambos, a taxa de passagem da fração não degradável e a taxa de fermentação da fração digestível, entretanto, o seu nível de influência é pouco conhecido, devido às dificuldades em ser mensurado. Estas características estão envolvidas no controle do consumo voluntário e, pelo menos as duas primeiras podem ser estimadas usando-se a técnica *in situ*.

De acordo com a metodologia descrita por Nocek (1988) o tamanho das partículas das amostras varia de acordo com os tipos de alimentos. Alguns subprodutos não necessitam de preparação especial, pelo já reduzido tamanho de partículas. Em alimentos com tamanho de partículas elevado, recomenda-se reduzir entre 2,5 e 3,0 mm, sendo este tamanho também recomendado para forragens secas. E para forragens verdes, úmidas ou silagens, o ideal é se trabalhar com partículas de tamanho médio 5 mm. É importante que a dieta fornecida ao animal contenha ingredientes a serem incubados, para que se desenvolvam microrganismos que colonizem e degradem de forma eficiente o material incubado. Nocek (1988) também preconiza que uma dieta de boa qualidade pode ser fornecida ao animal doador do inóculo.

1.4 Considerações sobre parâmetro da fermentação ruminal de vacas leiteiras

A disponibilidade de nitrogênio (N) no rúmen, assim como de outros nutrientes, não deve ser limitante para a fermentação microbiana no rúmen. O indicador da eficiência de utilização do N pelo bovino é a concentração de amônia ruminal, visto que cerca de 60 a 80% do N incorporado pelos microrganismos advém dela (Satter e Roffler, 1975).

A concentração ruminal de N-NH₃ (nitrogênio amoniacal) é consequência do equilíbrio entre a produção e utilização pelos microrganismos, e esta última depende da quantidade de energia disponível (Borges, 1999). A proporção relativa dos diferentes ácidos graxos voláteis (AGVs) produzidos varia amplamente, dependendo dos componentes químicos degradados e do pH ruminal. Maior proporção de acetato é produzida na degradação da celulose e hemiceluloses, enquanto que com a degradação dos carboidratos solúveis da planta (amido e açúcares), o padrão de produção de AGVs é elevado tanto em propionato, quanto em acetato, e baixo em butirato.

Em contrapartida, a degradação de amido de cereais produz alta concentração de propionato. A proporção molar típica dos AGVs produzidos quando o animal alimenta-se basicamente de forragens,

representa relação de 73:20:7 (acetato:propionato: butirato), comparado com 60:30:10 em misturas de concentrado e forragens, e somente com concentrado relação 50:40:10. Sabe-se que a proporção de AGVs varia também com o tipo de forragem oferecida e seu estágio de maturação.

Mould e Orskov (1984) relataram que dietas, contendo amido, formuladas para ruminantes reduzem a digestão das fibras por vários eventos, dentre estes a preferência dos microrganismos pelos carboidratos não-estruturais, o que leva à redução do pH ruminal, e por consequência a atividade dos microrganismos celulolíticos. Observa-se que moderada redução do pH (para aproximadamente, 6,2) proporciona exacerbada depressão na digestão da fibra na presença do amido, enquanto que uma severa redução do pH (valor inferior a 6,0) deprime os microrganismos celulolíticos e limita severamente a digestão da fibra.

O pH ruminal está diretamente relacionado com os produtos finais da fermentação (Church, 1979). A acidificação do ambiente ruminal, demonstrada pelo abaixamento do pH ocorre, principalmente, após a ingestão de alimentos e a rápida taxa de fermentação, a redução do pH ruminal ocorre, principalmente, em virtude de elevadas taxas de degradação, atingindo seu menor valor entre 30 minutos e 4 horas após a alimentação. O pH ruminal é um importante parâmetro a ser avaliado, pois reflete diretamente as características da dieta, qualquer alteração reflete na taxa de crescimento das bactérias e dos protozoários, podendo, dessa forma, ocorrer variações nos microrganismos predominantes no rúmen.

A faixa de pH para que haja atividade microbiana normal no rúmen é de $6,7 \pm 0,5$. A avaliação de um alimento para ruminantes deve incluir investigações sobre o padrão de fermentação ruminal, que está associado ao potencial do alimento em promover o desempenho dos animais. A estabilidade do pH é atribuída, em parte, à saliva, que possui poder tamponante, e à capacidade da mucosa ruminal em absorver os ácidos produzidos na fermentação ruminal (Van Soest, 1994).

Os microrganismos do rúmen degradam as fontes protéicas produzindo o $N-NH_3$. A amônia ruminal é proveniente do nitrogênio não-protéico da dieta, da degradação da proteína verdadeira dietética e da reciclagem via saliva ou difusão pela parede ruminal; enquanto sua remoção pode ser realizada via incorporação em proteína microbiana, pela passagem ao trato posterior ou absorção ruminal (Van Soest, 1994).

A determinação das concentrações de amônia permite o conhecimento do desbalanceamento protéico energético, pois, quando ocorrem altas concentrações de amônia, pode estar havendo excesso de proteína dietética degradada no rúmen e, ou, baixa concentração de carboidratos degradados no rúmen (Ribeiro et al., 2001). Concentrações mais altas de amônia podem ser necessárias para sustentar máximas taxas de digestão de alimentos rapidamente degradáveis.

Os microorganismos do rúmen, através de suas vias metabólicas de extração de energia, produzem os AGVs. A fermentação anaeróbia que ocorre durante o metabolismo dos carboidratos no rúmen, efetuado pela população microbiana, converte os carboidratos em ácidos graxos de cadeia curta, formando principalmente os ácidos acético, propiônico e butírico. Nesse processo fermentativo são produzidos dióxido de carbono e metano, em maior ou menor quantidade, dependendo da concentração e proporções relativas dos ácidos produzidos.

Segundo France et al. (1991), os maiores indicadores da utilização dos alimentos pelos ruminantes são a proporção molar e a produção total de AGVs. Por esta razão, as determinações quantitativas dos processos de fermentação ruminal requerem medidas das taxas de produção de ácidos graxos voláteis. A proporção relativa dos diferentes AGVs produzidos varia amplamente, dependendo dos componentes químicos degradados e do pH ruminal (Mota, 2006).

Os ácidos acético e propiônico, mais abundantes, respondem coletivamente por aproximadamente 90% dos AGVs ruminais. A absorção de AGVs pelo epitélio ruminal é essencial para evitar o acúmulo desses ácidos, o que pode levar a acidose ruminal. Dietas com mais carboidratos não estruturais irão promover maior fermentação ruminal e produção de AGVs.

Quase que a totalidade dos AGVs produzidos pelo processo fermentativo ruminal é absorvida passivamente através do epitélio rúmen-retículo, omaso e abomaso, sendo o rúmen retículo, responsável por 88% dos AGVs absorvidos. A fração que passa do rúmen aumenta com o aumento da taxa de passagem do líquido. Também se observa uma relação positiva na taxa de absorção dos AGVs do rúmen, com aumento da superfície das papilas, que por sua vez são afetadas pela dieta. A queda de pH pode alterar a produção de ácidos graxos voláteis levando à queda no consumo, causando menor síntese de leite e mudança na sua composição (Bergman, 1990).

Metade do ácido propiônico absorvido é convertido em glicose, suprimindo tecidos importantes como o cérebro e servindo como fonte precursora de carboidratos como a lactose (açúcar do leite), e o ácido butírico é amplamente convertido a corpos cetônicos no epitélio ruminal (Oliveira et al., 2005). O manejo alimentar, a frequência diária de alimentação concentrada pode afetar a variação na concentração dos AGVs. O padrão de fermentação ruminal pode ser modificado em função da dieta fornecida aos animais, o que leva a uma variação na proporção média de AGVs (Lana, 2005).

1.5 Considerações sobre a dinâmica da fase sólida e líquida no trato gastrointestinal de bovinos

A cinética de trânsito ou passagem refere-se ao fluxo do alimento ao longo do trato digestório e é influenciada pelos níveis de consumo, forma física da dieta, diferenças na ruminação existente entre animais, tipo de marcador utilizado na determinação da curva de excreção fecal (Mertens e Ely, 1982), proporção volumoso: concentrado e fatores climáticos.

A taxa de remoção da digesta ruminal afeta a extensão da degradação protéica (Orskov e McDonald, 1979), a digestão da parede celular e, conseqüentemente, a digestibilidade *in vivo* da dieta (Allen e Mertens, 1988), e a eficiência de síntese de proteína microbiana (Sniffen e Robinson, 1987), por isso, a importância de se estudar a cinética de passagem das partículas. Logo, digestão e passagem atuam de forma simultânea e competitiva para a remoção da digesta presente no rúmen, devendo-se, então, estudar os efeitos combinados de digestão e taxa de passagem para maximizar o consumo de nutrientes digestíveis.

Quando os animais são alimentados com forragens de baixo valor nutritivo, verifica-se uma menor taxa de passagem das partículas do rúmen o que acarreta a redução no consumo de matéria seca (Van Soest, 1994). Inversamente à taxa de passagem, o tempo médio de retenção das partículas e fluidos da digesta no trato gastrointestinal é geralmente relacionado à capacidade do trato digestório, com relação ao consumo e a digestibilidade da dieta ingerida. Assim, o sistema de digestão dos alimentos pelos ruminantes é um complexo processo que envolve interações entre dieta, população microbiana e animal.

O interesse dos pesquisadores que estudam a absorção e utilização de nutrientes no rúmen tem recaído sobre o volume ruminal. Para isso, indicadores da fase líquida são usados tanto em estudos de digestibilidade, como também, do balanço hídrico de avaliação do volume ruminal e da taxa de passagem da fase líquida. No estudo da taxa de passagem da fase sólida e líquida da dieta no trato gastrointestinal de bovinos, utilizam-se modelos que ajustam os valores observados. Tais modelos como o de Grovum e Willians (1973) e o de Dhanoa et al., (1985), são mais usados em sistemas intensivos de criação de animais, que emprega diferente tipo de manejo alimentar quando comparado com animais em pastejo, em que devem ser avaliados neste sistema utilizando forrageiras tropicais.

1.6 Avaliação de indicadores em estudos com ruminantes: Estimativa de consumo

Os programas de suplementação baseiam-se na pressuposição de que os animais consumirão uma quantidade determinada de suplemento. Se os animais consumirem menos que esta quantidade, as suas necessidades não serão atendidas como planejado. Por outro lado, se os animais consumirem mais que o desejado, os custos com a suplementação aumentarão e poderão ocorrer efeitos negativos sobre o consumo e a digestibilidade da forragem, o que, segundo Bowman e Showel (1997), poderá provocar impactos negativos na produção animal.

O consumo médio de suplemento para um grupo de animais pode ser estimado pela quantidade oferecida e as sobras, porém existe considerável variação no consumo individual, que pode ser afetado por diversos fatores, como espaço de cocho, oferta de suplemento, forma e formulação do suplemento, fatores relacionados ao animal, tempo de exposição e experiência prévia, além de interações sociais (Bowman e Showel, 1997).

Vacas leiteiras são animais sociais e formam classes de dominância hierárquica, particularmente no cocho de alimentação (Grant e Albright, 1995). A formação de grupos de alimentação, inevitavelmente, acarreta algum grau de competição por alimento. Mesmo não havendo limitação na disponibilidade de alimento, os animais se interagem, e alguns indivíduos acabam levando vantagem sobre outros dentro do grupo. Quando a situação de competição existe no cocho de

alimentação, vacas dominantes despendem mais tempo se alimentando que aquelas mais submissas ou de classe social inferior, resultando em maior consumo de matéria seca (Olofsson, 1999).

Variações no consumo individual, quando animais são alimentados em grupo, podem explicar respostas incompatíveis com a suplementação. Segundo Valadares Filho et al. (2006), para estimativa do consumo individual, várias técnicas têm sido desenvolvidas, que incluem sistemas de identificação eletrônica dos animais, uso de baias individuais e uso de indicadores. O consumo individual de suplemento tem sido estimado utilizando-se indicadores inorgânicos, internos e externos e mais recentemente, o LIPE® e o dióxido de titânio (Saliba et al., 2003; Marcondes et al., 2006).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local, clima e instalações experimentais

O experimento foi conduzido no Campo Experimental de Coronel Pacheco, pertencente a Embrapa Gado de Leite, localizado no município de Coronel Pacheco, zona da mata do Estado de Minas Gerais, Brasil, no período de setembro de 2009 a janeiro de 2010. O local de realização do ensaio experimental apresenta altitude de 435m e tem sua posição geográfica determinada pelo paralelo de 21°35' da latitude Sul (S) em sua interseção com o meridiano de 40° 15' de longitude Oeste de Greenwich (W). O clima é "Cwb", segundo a classificação de Koeppen, com temperatura média anual de 21° C. A precipitação anual média é de 1.581mm³, umidade relativa do ar de 78.8%, com semestre de inverno seco e verões brandos (Gauss e Furlong, 2002).

Os animais foram alojados em curral do tipo "*Free Stall*" com camas individuais de areia, bebedouro coletivo e sistema de limpeza de pista por *flushing*. Os cochos de alimentação possuíam portões eletrônicos do tipo *calan-gates* (American Calan Inc., Northwood, NH, EUA) que permitiam controle individual diário do consumo de alimentos.

2.1.1 Período experimental

O período experimental teve duração de 72 dias entre os meses de outubro 2009 a janeiro 2010. O ensaio foi subdividido em quatro períodos de 18 dias cada, com 10 dias de adaptação e oito dias de coletas de dados. As respectivas datas para cada período foram: período I, de 26 de setembro a 13 de outubro; período II, 26 de outubro a 12 de novembro, período III, de 24 de novembro a 11 de dezembro e período IV, de 18 de dezembro a 04 de janeiro 2010.

2.1.2 Origem dos alimentos e dietas experimentais

A silagem de cana-de-açúcar foi confeccionada com 1% de uréia em silo de superfície nas dependências do Campo Experimental de Coronel Pacheco. A uréia foi adicionada no momento da ensilagem em quantidade calculada com base no peso do aditivo e no peso verde da forragem, a compactação do material foi mecânica realizada com auxílio de um trator, e os silos vedados com lona plástica, colocando-se por cima da lona uma camada de aproximadamente 5 cm de terra. Os silos foram mantidos fechados por 180 dias.

O caroço de algodão tinha a caracterização comercial "alto línter" ou caroço de algodão branco, com maior conteúdo de fibra segundo classificação comentada por Arieli (1998). Na preparação do suplemento concentrado foi utilizado grãos de milho moído e farelo de algodão. O calcário calcítico, fosfato bicálcico, sal comum e núcleo vitamínico-mineral eram fornecidos *ad libitum*.

As dietas experimentais (tratamentos), baseadas em silagem de cana-de-açúcar confeccionada com 1% de uréia na matéria seca original como única fonte de volumoso, foram formuladas com o objetivo de atender às exigências estabelecidas pelo NRC (2001) para essa categoria animal. Os tratamentos utilizados, em base de matéria seca (MS) foram os seguintes:

- Controle ou 0% de caroço de algodão (CA) na MS: silagem de cana-de-açúcar (SCA) + suplemento concentrado sem adição de CA;

- 5% de CA na MS: silagem de cana-de-açúcar (SCA) + suplemento concentrado com adição de CA;

- 10% de CA na MS: silagem de cana-de-açúcar (SCA) + suplemento concentrado com adição de CA;

- 15% de CA na MS: silagem de cana-de-açúcar (SCA) + suplemento concentrado com adição de CA;

A composição percentual dos ingredientes das dietas experimentais encontra-se na Tabela 1, enquanto a composição bromatológica do caroço de algodão e da silagem de cana-de-açúcar confeccionada com 1% de uréia é apresentada na Tabela 2. A composição química predita das dietas é apresentada na Tabela 3.

Tabela 1 - Composição percentual dos ingredientes das dietas experimentais de acordo com os níveis de inclusão do caroço de algodão em base de matéria seca (%MS).

Ingredientes	Tratamentos			
	0	5%	10%	15%
Silagem de cana- de-açúcar ¹	59,1	59,2	59,0	59,2
Milho	23,0	21,7	21,0	19,7
Farelo de algodão	16,4	12,6	8,5	4,6
Caroço de algodão	0	5,0	10,0	15,0
Mistura mineral	1,5	1,5	1,5	1,5
Total	100,0	100,0	100,0	100,0

¹Formulada com 1% de uréia

Tabela 2 - Composição química da silagem de cana-de-açúcar (SCA) e do caroço de algodão fornecidos durante o experimento com base na matéria seca (%).

Componentes (%)	SCA+ 1% de uréia	Caroço de algodão
Matéria seca	21,16	87,87
Matéria orgânica	92,4	96,7
Cinzas	7,6	3,3
Proteína Bruta	11,11	23,36
Extrato etéreo	0,53	18,84
Fibra em detergente neutro	65,41	49,01
Fibra em detergente ácido	44,57	44,67
Hemiceluloses	20,84	4,34
Celulose	31,42	28,16
Lignina	6,49	14,64
Energia Bruta Kcal/g	4,30	5,49

Tabela 3- Composição química e energia bruta (Kcal/g) das dietas experimentais consumidas durante o experimento segundo os níveis de inclusão do caroço de algodão com base na matéria seca (%).

Componentes	Tratamentos			
	0	5%	10%	15%
Matéria seca	32,37	32,92	31,44	32,31
Matéria orgânica	91,62	91,95	91,44	91,92
Proteína bruta	8,38	8,05	8,56	8,08
Extrato etéreo	1,82	2,50	2,71	4,84
Fibra em detergente neutro	49,89	47,98	48,41	44,72
Fibra em detergente ácido	31,91	31,51	30,38	29,34
Hemiceluloses	17,98	16,48	18,03	15,38
Celulose	24,24	23,01	22,17	20,15
Lignina	4,50	4,08	4,00	3,75
CNF	23,99	24,96	23,15	25,58
CT	73,88	72,95	71,56	70,31
NNP ^{1*}	61,92	59,23	69,29	62,86
NIDN ^{2*}	12,8	12,2	13,2	11,0
NIDA ^{3*}	6,40	7,31	7,41	7,83
Energia Bruta	4,30	4,17	4,05	4,27
Cinzas	8,38	8,05	8,55	8,02

¹Nitrogênio não protéico, ² Nitrogênio insolúvel em detergente neutro, ³ Nitrogênio insolúvel em detergente ácido *Porcentagem no nitrogênio total. CNF (carboidratos não fibrosos) e CT (carboidratos totais) estimados conforme equação proposta por Sniffen et al.(1992).

2.1.3 Animais utilizados no experimento

Foram selecionadas quatro vacas mestiças Holandês x Zebu, com genética variando entre 3/4 a 15/16 de Holandês, fistuladas no rúmen, multíparas (3^a e 4^a cria), no terço inicial de lactação com número de dias de lactação (acima de 60 dias), produção de leite (média inicial de 14,4 kg/dia) e peso médio inicial de 488 kg. Na Tabela 4 estão caracterizados os animais no início do período experimental.

Tabela 4 - Caracterização dos animais experimentais.

Componentes	Médias	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Produção de leite, Kg dia ⁻¹	14,4	3,3	11,1	17,7
Números de partos	3,5	0,5	3	4
Estágio de lactação, dias	85	25,0	60	110
Peso corpóreo, Kg	488,0	35,0	453,0	523,0

2.2 Procedimento experimental e coleta de dados

2.2.1 Degradabilidade *in situ* da silagem de cana-de-açúcar

Para o ensaio de degradabilidade *in situ*, antes do início do período de coleta, foram retiradas amostras da silagem de cana-de-açúcar oferecida. Os sacos de náilon e a silagem de cana-de-açúcar foram previamente secos em estufa a 55°C durante 72 horas, os sacos de náilon foram pesados e numerados. As amostras da silagem de cana-de-açúcar foram previamente moídas em moinho tipo Willey, dotado de peneira com orifícios de 5 mm.

Posteriormente foram incubados 6 gramas de amostra em saco de náilon com porosidade de 50 µm com 20 cm de comprimento por 10 cm de largura, possibilitando, assim, relação entre 10 e 20 mg

de MS de amostra/cm² de área de saco (Nocek, 1988). Em seguida os sacos, em duplicata, foram fechados e fixados em grupos em uma corrente de metal, amarrados em uma das extremidades a uma corda de náilon suficientemente longa para permitir que o conjunto se alojasse no saco ventral do rúmen e em outra a um lastro de metal para dar estabilidade ao conjunto.

Imediatamente antes da incubação no rúmen, todos os sacos foram mergulhados em água a temperatura ambiente por cerca de 30 minutos. Após este período, foram retirados aqueles referentes ao tempo zero para a estimativa da fração solúvel e das partículas com tamanho reduzido que atravessassem os poros do náilon e, em seguida, foram congelados a -20°C. Os demais sacos foram colocados no rúmen e retirados 6, 24 e 96 horas após a incubação e congelados em seguida.

Com o objetivo de se padronizar o processo, todos os sacos foram descongelados, lavados simultaneamente e colocados em estufa a 55°C por 72 horas, após secagem, os sacos de náilon foram pesados e os resíduos analisados quanto ao teor de matéria seca (MS) a 105°C conforme (AOAC, 1995) e fibra em detergente neutro (FDN) de acordo com Van Soest (1994). Para a descrição do comportamento cinético da digestão da MS e da FDN da silagem de cana-de-açúcar, no rúmen, dos animais alimentados com cada nível de inclusão do caroço de algodão na dieta, utilizou-se o modelo não-linear exponencial proposto por Mehrez e Ørskov (1977) modificado por Sampaio (1988). O modelo é expresso matematicamente como:

$$\text{Deg (t)} = A - B * e^{(-c*t)} \quad \text{para } t > L$$

Em que: Deg (t) = porcentagem de degradação acumulada no tempo t de incubação ruminal; A (%) = interseção da curva de degradação quando t = 0, que representa a fração potencialmente degradável; B (%) = degradabilidade potencial do material que permaneceu no saco após o tempo zero e que será degradado pela ação da microbiota, se não houvesse lag-time ou tempo de colonização (L, horas); c (/hora) = taxa constante de degradação da fração potencialmente degradável (B) por ação da microbiota; t = tempo de incubação.

A degradabilidade efetiva ou teórica da FDN e da MS da silagem de cana-de-açúcar para cada nível de inclusão do caroço de algodão na dieta foi calculada conforme o modelo proposto por Ørskov e McDonald (1979) qual seja:

$$DE = S + [(B*c)/(c+k_1)]$$

Em que: DE = degradabilidade efetiva; S (%) = fração solúvel mais partículas com tamanho reduzido que atravessam os poros do náilon; B = fração potencialmente degradável por ação da microbiota (A-S); k₁ (/hora) = taxa de passagem ruminal, estabelecida segundo recomendações do ARC (1984). Neste ensaio a taxa de passagem adotada foi a encontrada durante o ensaio da cinética de partículas utilizando-se o Cr-mordente, k₁ = 0,042; k₁ = 0,039 e k₁ = 0,036.

2.2.2 Parâmetros Ruminais

Foram realizadas amostragens individuais do líquido ruminal dos animais em todos os períodos de coletas nos tempos zero (imediatamente antes da alimentação matutina), 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16 e 24 horas após o fornecimento dos alimentos. O líquido ruminal foi coletado de quatro pontos diferentes do rúmen via fístula. Após filtração em gaze dupla e homogeneização, foi feita a leitura do valor de pH, com auxílio de potenciômetro digital portátil, calibrado com solução tampão de pH 4,0 e 7,0,

Em seguida, foram coletadas duas alíquotas de 10 mL de líquido ruminal para as análises da concentração de nitrogênio amoniacal (N-NH₃), e dos principais ácidos graxos voláteis (AGVs). As alíquotas foram armazenadas, respectivamente, em recipientes contendo oito gotas de H₂SO₄ a 50% para a determinação de nitrogênio amoniacal (N-NH₃), em recipiente contendo 2 mL de ácido metafosfórico 25% para a análise dos ácidos graxos voláteis. Após coleta, as amostras foram rigorosamente homogeneizadas e congeladas a -20°C.

2.2.3 Cinética Ruminal

A cinética digestiva das quatro dietas experimentais, a base de silagem de cana-de-açúcar e níveis de inclusão do caroço de algodão distintos, foi estimada mediante o uso de Co-EDTA e fibra Cr-mordantada como marcadores das fases líquida e sólida, respectivamente.

A taxa de passagem de fluídos pelo rúmen retículo foi determinada utilizando-se Co-EDTA, conforme preconizado por Udén et al. (1980). O complexo Co-EDTA (17,24% de Co na MS) foi fornecido, via fístula ruminal, em dose única, 5 g por animal, diluído em 200 mL de água destilada e infundido em vários pontos no rúmen. Foram coletadas amostras de 10 mL de líquido ruminal utilizando-se bomba de vácuo manual nos tempos 0 (pré-dosagem) e 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 24 horas pós-dosagem. Para ajuste aos dados das concentrações de cobalto nas amostras de líquido ruminal foi utilizado o modelo exponencial unicompartmental descrito por Colucci (1984):

$$Y_{Co} = A \cdot e^{(-K_1 \cdot t)}$$

Em que Y_{Co} = concentração do indicador (ppm), no tempo t ; A = concentração de equilíbrio do Co (ppm); K_1 = taxa de passagem ou de diluição do Co (/h); e t = tempo de amostragem.

Os parâmetros da dinâmica da fase líquida foram calculados conforme Colucci et al. (1990):

$$\begin{aligned} TR &= 1/K_{1Co} \\ VR &= Co/A \\ Tx \text{ Fluxo} &= K_{1Co} * VR \end{aligned}$$

Em que: TR = tempo de reciclagem no rúmen (h); K_{1Co} (%/h) = taxa de passagem de fluídos; VR = volume ruminal (L); Co = quantidade de cobalto fornecido (mg); A = concentração de equilíbrio de cobalto (mg/L); $Tx \text{ Fluxo}$ = fluxo de líquido ruminal (L/h). A taxa de reciclagem da fase líquida ruminal foi calculada conforme Maeng E Baldwin (1976):

$$Tx \text{ R} = 24 \text{ h/TR}$$

Em que $Tx \text{ R}$ = taxa de reciclagem (nº de vezes/dia) e TR = tempo de retenção no rúmen (h).

A estimativa da cinética da fase sólida da silagem de cana-de-açúcar foi realizada da seguinte maneira: Uma amostra da silagem de cana-de-açúcar foi destinada ao preparo da fibra-mordentada ou Cr mordente, e submetidas à extração a quente, com detergente neutro comercial, e posteriormente, mordentada com dicromato de sódio ($Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$), conforme procedimento relatado por Udén et al. (1980).

Em cada fase experimental, foram administrados, via rúmen das vacas, 100g de FDN de silagem de cana-de-açúcar mordentada com cromo. Foram realizadas coletas de fezes diretamente na ampola retal, nos intervalos de tempo 0 (pré-dosagem) e 6, 12, 18, 24, 28, 32, 36, 40, 44, 48, 52, 56, 60, 64, 68, 72, 76, 84, 92, 96, 104, 120, 128 e 144 horas pós-dosagem, as amostras de fezes foram acondicionadas em sacos plásticos identificados e imediatamente congelados a $-20^\circ C$.

No final de cada período experimental, essas amostras individuais das fezes foram descongeladas à temperatura ambiente e pré-secas em estufa de ventilação forçada de ar, a $55^\circ C$, por 72h, sendo, posteriormente moídas em moinho tipo Willey, em peneira de 1 mm, e armazenadas em frascos de vidro identificados. Para o ajuste das curvas de excreção fecal do cromo utilizou-se o modelo exponencial bicompartimental, proposto por Grovum e Williams (1973) de expressão geral:

$$Y = A \cdot e^{[-K_1 \cdot (t-TT)]} - A \cdot e^{[-K_2 \cdot (t-TT)]} \text{ para } t \geq TT$$

$$Y = 0 \text{ para } t < TT$$

Em que Y = concentração do cromo nas fezes (%); A = parâmetro de escala, indefinido do ponto de vista biológico; K_1 = taxa de passagem no rúmen (%/h); t = tempo de amostragem, TT = tempo de trânsito ou estimativa do tempo em que o indicador apareceu pela primeira vez nas fezes (h); e K_2 = taxa de passagem de partículas no ceco-cólon proximal. Os cálculos dos parâmetros da dinâmica fase sólida foram realizados de acordo com Colucci et al. (1990):

$$\begin{aligned} \text{TRR} &= 1/K_1 \\ \text{TRCC} &= 1/K_2 \\ \text{TMR} &= \text{TRR} + \text{TRCC} \\ \text{TRT} &= \text{TMR} + \text{TT} \end{aligned}$$

Em que: TRR = tempo de retenção no rúmen (h); TRCC = tempo de retenção do ceco e cólon proximal (h); K_1 = taxa de passagem de partículas no rúmen (%/h); K_2 = taxa de passagem de partículas no ceco-cólon proximal (%/h); TMR = tempo médio de retenção nos dois compartimentos (h); TRT = tempo de retenção total (h); e TT = tempo de trânsito (h).

2.2.4 Estimativa de consumo total por meio do uso de indicadores externos em vacas Holandês x Zebu mantidas em confinamento

O consumo individual voluntário dos nutrientes foi determinado diariamente usando cochos com portões eletrônicos do tipo *calan-gates* (American Calan Inc., Northwood, NH, EUA), descontando a quantidade de sobras do material oferecido. A quantidade oferecida foi ajustada diariamente para permitir, aproximadamente, 10% de sobras. O período de adaptação dos animais às dietas e instalações foi de 15 dias, sendo o período de coleta de sete dias. Os animais foram pesados no início e final de cada fase experimental, a média entre os pesos foi utilizado, para o cálculo do consumo em unidade de peso metabólico ($\text{kg}^{0.75}$) e estimativa da excreção fecal.

As dietas foram divididas em duas refeições iguais e oferecidas bem misturadas aos animais, às 7 e a outra às 17 h. Água e sal mineralizado estiveram disponíveis à vontade. As amostras oferecidas da dieta completa (volumoso, concentrado e seus ingredientes), e sobras foram retiradas diariamente às 6:30 h, pesadas e acondicionadas em sacos plásticos. Em seguida, as amostras foram armazenadas a -20°C para posteriores análises bromatológicas.

Após descongelamento, foi preparada uma amostra composta por animal, as amostras de volumoso e concentrado oferecidos, e sobras, foram pré-secas em estufa de ventilação forçada a temperatura de 55°C por 72 horas. Posteriormente, as mesmas foram moídas em moinho tipo Willey com peneira de malha de 1 mm e estocadas para futuras análises laboratoriais.

Com a impossibilidade da realização da colheita total das fezes, para o estudo do consumo das vacas foram realizadas estimativas de produção fecal (kg/d de matéria seca) utilizando-se os indicadores externos (LIPE[®] e dióxido de titânio (TiO_2)). A equação geral para determinação da produção fecal (kg/d de MS) baseou-se na razão entre a quantidade do indicador ingerido pelo animal e sua concentração nas fezes (Produção fecal = gramas do indicador nas fezes).

O consumo foi obtido pela razão entre a produção fecal obtida pelos indicadores e o inverso da digestibilidade, conforme a equação relatada por Prigge et al., (1981):

$$\text{Consumo (kg/d de MS)} = \text{Produção fecal} / (1 - \text{Digestibilidade})$$

O LIPE[®] foi administrado em 1 cápsula de 500 mg/vaca/dia, fornecida uma vez por dia a cada animal, e o dióxido de titânio administrado duas vezes ao dia na dosagem de 5g/vaca/dia envolto por saco de papel fornecido sob a forma de “balas”. Ambos os indicadores foram administrados oralmente, ao mesmo tempo, após contenção em tronco apropriado, antes da ordenha da manhã.

A amostragem das fezes quando utilizou-se o dióxido de titânio, foi de 6 dias de adaptação e cinco de coleta.. Para o LIPE[®], porém, foram reservados dois dias de adaptação (concomitante aos dois dias de adaptação ao dióxido de titânio). As fezes foram coletadas diretamente na ampola retal, duas vezes por dia, no horário da manhã e tarde. Depois foi formada uma amostra composta, com base no peso pré-seco, por animal.

2.3 Análises de laboratório

O método utilizado para a análise da concentração do N-NH₃ no líquido ruminal foi baseada no método Micro-Kjeldahl, realizado por meio de destilação com cloreto de cálcio e óxido de magnésio, utilizando-se o ácido bórico como indicador misto de cor como solução receptora (vermelho de metila + verde de bromocresol) e o ácido clorídrico HCl 0,01N para a titulação. As concentrações dos AGVs (acético, propiônico e butírico) foram determinadas por meio de cromatografia gasosa por ionização de chama, medido em aparelho Varian, modelo 2485, usando colunas de vidro de ¼” de diâmetro e Chromosorb 101” de 80 a 100 mesh, como fase estacionária conforme AOAC (1995).

Para a mensuração e estimativa do consumo e digestibilidade dos nutrientes e caracterização das dietas, nas amostras de volumoso, concentrado, oferecidos, sobras e fezes, foram analisadas segundo Silva e Queiroz (2002) os teores de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), cinzas (CINZ), extrato etéreo (EE), proteína bruta (PB), sendo que a PB foi obtida pela multiplicação do N pelo fator 6,25. Para a quantificação da fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), celulose (CEL), hemiceluloses (HEM) e lignina (LIG) foi adotada a metodologia descrita por Van Soest et al. (1991), com modificações em relação aos sacos, utilizaram-se sacos de TNT. A digestibilidade das dietas foi determinada pelo método “*in vitro*” descrito por Tilley e Terry (1963).

Quanto as determinações de FDN dos ingredientes concentrados foi utilizado alfa-amilase e uréia a 8 molar. Para estimativa dos carboidratos totais (CT) foi utilizada a equação proposta por Sniffen et al. (1992), $CT = 100 - (\%PB + \%EE + \%CINZ)$ e para determinação dos carboidratos não fibrosos (CNF) foi utilizada a equação descrita por MERTENS (1997), onde $CNF = 100\% - (\%PB + \%FDN + \%EE + \%CINZ)$. A energia bruta (EB) dos alimentos, bem como das amostras de fezes foram determinadas pela queima pressurizada com oxigênio em bomba calorimétrica.

As determinações de nitrogênio não protéico (NNP), nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN) e em detergente ácido (NIDA) foram executadas segundo a metodologia descrita por Licitra et al. (1996). O NNP foi determinado pela diferença entre o nitrogênio total e o nitrogênio insolúvel em ácido tricloracético (TCA) conforme a seguinte fórmula: $NNP (\%N_t) = N_t - N_i / N_t \times 100$, em que: N_t = nitrogênio total da amostra e N_i = teor de nitrogênio insolúvel em ácido tricloracético.

O teor de dióxido de titânio (TiO₂) foi determinado segundo Myers et al. (2004). Uma amostra de 0,5 g de fezes foi digerida, por 2 horas, a 400°C, em tubos para determinação de proteína (macro). Após a digestão, 10 mL de H₂O₂ (30%) foram adicionados lentamente e o material do tubo transferido para um béquer e completado com água destilada até 100 g. Logo após esse procedimento, o material do béquer foi transferido para balões de 100 mL e mais 3 gotas de H₂O₂ (30%) foram adicionadas.

Na digestão foram utilizados 15 mL de ácido sulfúrico e 5 g da mistura digestora para proteína. Uma curva padrão foi preparada com as seguintes concentrações: 0, 2, 4, 6, 8 e 10 mg de dióxido de titânio. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro ajustado ao comprimento de onda de 410 nm. O dióxido de titânio (TiO₂) quantificado nas amostras de fezes foi calculado por meio da fórmula:

$$TiO_2 \text{ ingerido (g/dia)} = TiO_2 \text{ administrado (g/dia)} * \text{pureza (\%)}$$

Para o cálculo da produção fecal (PF) estimado pelo indicador externo dióxido de titânio foi utilizado a seguinte fórmula:

$$PF \text{ TiO}_2 \text{ (g MS/dia)} = TiO_2 \text{ ingerido(g/dia)} / (\%TiO_2 \text{ amostra}/100)/(\%MS_{105^\circ C}/100)$$

O LIPE[®] foi analisado no Laboratório de Nutrição Animal da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, em espectrofotômetro de infravermelho (FTIV), com transformada de fourier, modelo Varian 800. As amostras de fezes foram secas e moídas a 1 mm, pastilhadas com KBr e a concentração do LIPE[®] analisada conforme metodologia descrita por Saliba (1998) e Saliba (2001). Para o cálculo da produção fecal utilizou-se a fórmula descrita por Saliba (2005):

$$PF\ LIPE^{\circledR} \text{ (g MS/dia)} = LIPE^{\circledR} \text{ ingerido(g/dia)} / ((\%LIPE^{\circledR} \text{ amostra}/100)/(\%MS105^{\circ}C/100))$$

O teor de cromo das fezes, para estimativa da curva de excreção do Cr-mordente da silagem de cana-de-açúcar foi analisado por espectrofotometria de absorção atômica, após digestão nitroperclórica, conforme procedimentos relatados por Kimura e Miller (1957). A concentração de cobalto no líquido ruminal foi determinada por leitura em espectrofotômetro de absorção atômica (Bataglia, et al., 1983; Salinas e Garcias, 1985).

2.4 Análises estatísticas

Os dados referentes ao consumo dos nutrientes, digestibilidade dos nutrientes, parâmetros de degradabilidade ruminal *in situ* da MS da silagem de cana-de-açúcar e as taxas de passagem das fases sólida e líquida foram analisados pelo procedimento GLM do SAS (SAS Institute Inc., 2001), tendo como fontes de variação: QL, animal dentro do QL, período e tratamento (níveis do caroço de algodão). A comparação das médias foi realizada, utilizando-se o LSMEANS do SAS... (2001), por meio do teste de Tukey (P<0,05). Foi adotado o seguinte modelo para a análise da degradabilidade *in situ* e cinética ruminal:

$$Y_{ijkl} = \mu + d_i + a_j + p_k + e_{ijk} + t_l + dt_{il} + \alpha_{ijkl}$$

Em que: Y_{ijkl} = valor observado relativo ao nível de inclusão do caroço de algodão i , ao animal j , ao período k e ao tempo l ; μ = média geral; d_i = efeito da dieta i , sendo $i = 1, 2, 3, 4$; a_j = efeito do animal j , sendo $j = 1, 2, 3, 4$; p_k = efeito do período k , sendo $k = 1, 2, 3, 4$; e_{ijk} = erro atribuído às parcelas; t_l = efeito do tempo l ; dt_{il} = efeito da interação do i -ésimo nível da dieta i , com o l -ésimo nível do tempo l ; α_{ijkl} = erro aleatório atribuído às sub-parcelas.

O efeito da suplementação da silagem de cana-de-açúcar com os níveis de inclusão do caroço de algodão sobre consumo dos nutrientes, digestibilidade dos nutrientes, composição do leite, taxas de passagem das fases líquida e sólida foi também estudado por meio de regressões lineares e quadráticas, utilizando-se o procedimento PROC REG do SAS... (2001).

As variáveis de fermentação ruminal (pH, concentração de N-NH₃ e AGVs) foram analisadas pelo procedimento MIXED do SAS...(2001), segundo o delineamento QL 4 x 4 em esquema de parcela sub-dividida, com as dietas alocadas nas parcelas e os tempos de amostragem nas sub-parcelas. O modelo para análise de variância incluiu como fontes de variação vaca, período, tratamento x tempo, além dos resíduos. Os testes adotados para a comparação das médias foram selecionados conforme o coeficiente de variação (CV) com nível de significância (P<0,05). O modelo matemático utilizado para análise do consumo dos nutrientes foi o seguinte:

$$Y_{ijk} = \mu + D_i + I_j + DI_{ij} + E_{ijk}$$

Em que: Y_{ij} = valor observado para o nível de inclusão do caroço de algodão i , por meio do indicador j , ao período k ; μ = média geral; D_i = efeito da dieta i , sendo $i = 1, 2, 3, 4$; I_j = efeito do indicador j ; DI_{ij} = efeito da interação dieta e indicador; E_{ijk} = erro atribuído às parcelas.

Os dados de produção fecal e digestibilidade foram submetidos a análises de variância e regressão, em função da inclusão do caroço de algodão na dieta (0, 5, 10 e 15%) e em função do método de estimativa (LIPE[®] ou dióxido de titânio), utilizando-se o programa Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG 8.0). Os modelos foram selecionados utilizando-se como critério a significância.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Degradabilidade *in situ*

3.1.1 Desaparecimento da matéria seca (MS) da silagem de cana-de-açúcar

Os parâmetros de degradabilidade ruminal *in situ* da matéria seca (MS) da silagem de cana-de-açúcar, (SCA) estimados pelo modelo proposto por Mehrez e Orskov (1977) modificado por Sampaio (1988) encontram-se na Tabela 5

Tabela 5 - Fração solúvel (S) e potencialmente degradável (B1), degradabilidade potencial (A) e efetiva (DE), taxa de degradação (c) e coeficiente de determinação (R^2) da matéria seca (MS) da silagem de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.)

Dietas	Parâmetros de degradabilidade <i>in situ</i>							
	MS							
	A (%)	B1 (%)	c (%/h)	S (%)	R^2	DE (%)		
						4,2	3,9	3,6
0	50,8	18,1	4,58	34,48	0,98	43,92 ^a	44,26 ^a	44,61 ^a
5%	54,9	25,5	3,72	33,61	0,99	45,59 ^a	46,06 ^a	46,57 ^a
10%	54,9	24,5	3,3	33,3	0,99	44,08 ^a	44,53 ^a	45,02 ^a
15%	54,0	20,7	1,47	33,07	0,98	38,44 ^b	38,74 ^b	39,07 ^b

Letras iguais na coluna não diferem pelo teste SNK ($P>0,05$).

A maior degradabilidade potencial (A) foi obtida para a SCA incubada no ambiente ruminal com 5 e 10% de CA, sendo seguida pela SCA incubada no ambiente com 15% e 0% de CA. Para as frações lentamente degradáveis (B1), a SCA incubada no ambiente ruminal com 5 e 10% do CA apresentaram valores próximos e maiores que a SCA incubada no ambiente controle. Com relação às taxas de degradação (c), maiores valores foram observados para a SCA incubada no ambiente ruminal sem adição do CA.

Para Sampaio (1988), os parâmetros A e c são os principais na qualificação de uma forragem. Um elevado valor de “A” indica um material muito degradável, ao passo que maior valor de “c” implica menor tempo para o desaparecimento da fração potencialmente degradável, sendo que forragens de boa qualidade devem apresentar taxas de degradação superiores a 2%/h. No presente ensaio, isso não foi verificado para a SCA incubada no ambiente ruminal com 15% de CA que apresentou taxa de degradação inferior (0,0147/h).

Dentre os parâmetros a degradação efetiva (DE) da MS da silagem de cana-de-açúcar para taxa de passagem entre 4,2; 3,9 e 3,6 (%/h) foi maior ($P<0,05$) no ambiente ruminal de vacas alimentadas com 5% de inclusão do caroço de algodão (CA) na dieta em comparação ao tratamento controle sem adição do caroço de algodão. Portanto, a DE foi menor para o tratamento no qual foram adicionados 15% do caroço de algodão.

A taxa de degradação (c) sofreu influência da adição do caroço de algodão e diminuiu à medida que se adicionou caroço de algodão à dieta, sendo os valores iguais a 0,0458; 0,0372; 0,033 e 0,0147 horas para os tratamentos com 0; 5; 10 e 15% de caroço de algodão respectivamente. Esse resultado está de acordo com o relatado na literatura sobre os efeitos negativos de fontes de lipídios na digestão de forragens sobre a taxa de degradação (c) e de prováveis efeitos benéficos de fontes de fibra como o lúmen do caroço de algodão que no ambiente ruminal de vacas alimentadas com 5% de CA deve ter contribuído para o maior valor da degradabilidade efetiva atribuída a silagem de cana-de-açúcar (Van Soest, 1994).

A ausência de efeito negativo do caroço de algodão na degradabilidade potencial (A) da MS pode ter ocorrido em função do baixo consumo do caroço de algodão pelas vacas ou baixa degradabilidade ruminal dos nutrientes que constituem caroço de algodão ou ambas as condições. Demonstrando que os tratamentos não criaram ambiente ruminal diferentes, capazes de alterar a degradabilidade da silagem de cana-de-açúcar.

Uma hipótese para explicar tais resultados seria que o caroço de algodão utilizado no experimento, e a velocidade de degradação ruminal da MS do volumoso foram semelhantes entre os tratamentos. Dessa forma, não foi observado neste estudo benefício quanto à inclusão de uréia ou aumento da adição do caroço de algodão na dieta. Assim, quando a silagem de cana-de-açúcar foi incubada no ambiente ruminal referente aos tratamentos com os níveis de inclusão do caroço de algodão estudados as quantidades dos açúcares foram disponibilizadas igualmente no rúmen.

Foram observadas diferenças ($p < 0,05$) para a taxa de degradação (c) e degradabilidade efetiva (DE) da silagem de cana-de-açúcar (Tabela 7). A maior taxa de degradação (c) da MS (0,0458 /h) foi observado quando a silagem de cana-de-açúcar (SCA) foi incubada no rúmen de animais alimentados sem adição de caroço de algodão (CA).

A SCA incubada no ambiente ruminal com 15% de CA apresentou baixa taxa de degradação (0,0147 /h), indicando que esse material necessita de mais tempo dentro do rúmen para que o seu potencial máximo de degradação seja atingido. Segundo Borges (1997), as forragens mais digestíveis apresentam valores altos de “A”, mas necessitam também de altos valores de “c”, para que alcancem o potencial máximo de degradação em menor tempo.

Não foram observadas diferenças para a fração B1(%) da MS da silagem de cana-de-açúcar ($P > 0,05$). A fração B1 da SCA incubada no ambiente ruminal controle (18,1%) foi superior ao encontrado por Aroeira et al. (1993) quando a cana-de-açúcar aditivada com 1% de uréia foi incubada no rúmen de bovinos recebendo este alimento e suplementados com farelo de arroz (17,60%).

No presente estudo, a menor fração B1 da SCA pode estar relacionada à maior fração (S), que foi superior no ambiente sem adição do CA. A Tabela 7 indica que a SCA incubada no rúmen de animais consumindo 5% de CA na dieta apresentou maior fração B1 da MS do que quando incubada no ambiente ruminal controle. É provável que tal comportamento tenha ocorrido pela estabilização do pH (Figura 3 ph), evento que apresenta efeito positivo na digestibilidade de alimentos, que se deu primeiramente para os animais alimentados com 5% de caroço de algodão. Assim, o maior valor para a fração B1 da SCA incubada no ambiente ruminal com 5% do CA provavelmente ocorreu por esse comportamento.

Os valores observados para a fração B1 da MS da SCA encontrados neste estudo foram inferiores aos resultados encontrados por Schmidt (2006), que incubou a silagem de cana aditivada com *L. buchneri* em bovinos, observando valores médios de 32,40%. A menor fração B1 da SCA não apresentou o mesmo comportamento quando o alimento foi incubado no rúmen de animais alimentados com o tratamento controle, sendo provável que tenha ocorrido algum efeito associativo dos carboidratos, com efeitos negativos na digestibilidade dos açúcares em função da presença de carboidratos solúveis (CHO).

A taxa de degradação (c/h) foi influenciada pelos ambientes ruminais, a SCA incubada no ambiente ruminal controle apresentou maior taxa de degradação (0,0458/h). No entanto, esse valor é superior ao observado por Valadares Filho et al. (1990), que determinaram a degradabilidade *in situ* de vários alimentos em vacas após o pico de lactação e observaram taxa de degradação de 0,21% h-1. Porém, a média da taxa de degradação de 0,0322 /h para a SCA se assemelha ao observado por Schmidt (2006) quando avaliou as perdas fermentativas da SCA sobre os parâmetros digestivos em bovinos de corte.

Os valores observados para a fração A (54,0%) da SCA incubada, no ambiente ruminal contendo 15% do CA, está abaixo do relatado por Gimenes et al. (2006), que foi de 75,40% para a fração A quando incubou silagem de milho em bovinos adultos alimentados com silagem de milho sem aditivos. Porém o menor valor observado (50,8%) para a fração A da MS da SCA incubada no ambiente ruminal com a dieta controle foi superior ao demonstrado por Valadares Filho et al. (1990) que observaram valores de “A” para a cana-de-açúcar fresca de 42,30% incubado em vacas que receberam rações com 55% de silagem de milho e 45% de concentrado.

Esse evento ocorreu, provavelmente, pelo tempo de incubação total utilizado por Valadares Filho et al. (1990) de 48h de incubação, contra as 96h utilizadas no presente ensaio. A média da DE de 43,0% da MS da SCA, em todos os ambientes ruminais, para a taxa de passagem 0,042/h foi superior ao encontrado por Valadares Filho et al. (1990), que incubaram por 48h a cana-de-açúcar no rúmen de vacas em lactação, alimentadas com concentrado (DE 5% h-1 de 39,7%). Porém, quando Aroeira et al. (1993) forneceram farelo de arroz ou algodão para bovinos e incubaram a cana-de-açúcar com 1% de uréia por 72h, os valores encontrados foram superiores (63,9%) aos obtidos no presente ensaio (43,0%).

A média da DE para a taxa de degradação de 0,039/h da MS da SCA incubada em todos os ambiente foi de 43,4,%. No entanto, esse valor é superior ao observado por Gimenes et al. (2006) quando incubaram no rúmen de bovinos adultos por 144h a silagem de milho, cujo valor observado para a DE (5% h-1) foi de 42,76%. Os resultados demonstram que a degradação da MS da SCA foi

prejudicada quando incubada no ambiente contendo 15% de CA, quando comparada aos demais ambientes.

Teixeira et al. (2002) avaliando a cinética da digestão ruminal do caroço de algodão em diferente formas físicas em vacas holândes observaram que a moagem do caroço de algodão quando comparada a forma inteira, aumentou a degradabilidade efetiva da matéria seca e também da proteína bruta. A forma inteira do CA oferecida neste estudo pode ter influenciado a baixa DE da MS da SCA no ambiente ruminal com 15% de CA na dieta.

Os taxas de degradação (c) encontrada por Pontes (2007) estudando a digestibilidade *in situ* da SCA em ovinos foi de (0,03/h) semelhantes ao encontrado nesse estudo (0,0372 e 0,033) para os ambientes ruminais de vacas alimentada com 5 e 10% de CA na dieta.

A degradabilidade potencial da MS (54,9%) da silagem de cana-de-açúcar no ambiente ruminal com 5 e 10% de CA na dieta foi semelhante ao encontrado por Ribeiro (2009) quando avaliou os parâmetros de degradabilidade *in situ* do capim – elefante (*Pennisetum purpureum Schumack*) em vacas mestiças Holândes x Zebu suplementada com 3,0% de óleo de soja na MS (54,99%). A taxa de degradação da MS da SCA no ambiente ruminal com 5 e 10% também teve o mesmo comportamento da MS do capim-elefante para os níveis 1,5 e 3,0% de óleo de soja na MS que foi de 3,32 e 3,26% encontrado por Ribeiro (2009).

Estes dados de trabalhos que utilizaram animais alimentados com dietas contendo alguma fonte de lipídios tiveram mesmo comportamento encontrado no presente experimento quando, o ambiente ruminal era acrescido de CA. Isto incita os pesquisadores a estudarem mais sobre o ambiente ruminal e sua interação com o alimento incubado. Devemos rever o que foi preconizado, de que uma dieta de média a boa qualidade pode fornecer ambiente para incubação de qualquer dieta.

Na Tabela 5 são apresentados os coeficientes de determinação (R^2), devido aos elevados coeficientes de determinação encontrados podemos verificar que os dados obtidos neste experimento convergiram para o modelo exponencial proposto por Mehrez e Orskov (1977) modificado por Sampaio (1988).

Conforme observado na Tabela 6, a silagem de cana-de-açúcar não diferiu ($P>0,05$) quanto à degradabilidade da MS até o período 6 horas de incubação. Após 24 horas, a degradabilidade da MS da silagem no ambiente ruminal controle foi superior ($P<0,05$) à verificada para a silagem no ambiente ruminal de vacas alimentadas com 15% do CA. Todavia, não diferiu significativamente da silagem de cana-de-açúcar incubada no ambiente ruminal de vacas alimentadas com 5 e 10% de CA.

No período de 96 horas ocorreu comportamento similar. Essa inversão pode ter sido causada em função da estrutura da parede celular da SCA avaliada, principalmente na celulose. Isto porque, com o avanço do processo de degradação, as proporções dos carboidratos degradáveis (mono e dissacarídeos, pectina, hemiceluloses não lignificadas) diminuem e a sua relação com a celulose também, deixando-a menos cristalina (degradável).

Tabela 6 - Desaparecimento médio (%) da matéria seca da silagem de cana-de-açúcar em função dos tempos de incubação

Horários	Tratamentos				Média
	0	5%	10%	15%	
0	32,7 ^{Aa}	29,4 ^{Aa}	30,4 ^{Aa}	33,3 ^{Aa}	31,5
6	37,0 ^{Aa}	34,5 ^{Aa}	34,8 ^{Aa}	35,1 ^{Aa}	35,3
24	44,8 ^{Aa}	44,5 ^{Aa}	43,8 ^{Aa}	39,4 ^{Ba}	43,1
96	50,6 ^{Ab}	54,2 ^{Ab}	53,9 ^{Ab}	48,9 ^{Bb}	51,9

Letras iguais maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem pelo teste SNK ($P>0,05$)
CV= 3,47%.

Os valores médios de degradabilidades da MS da SCA nos períodos de 6 e 24 horas de fermentação (Tabela 6) foram similares aos obtidos por Carneiro et al., (2002) para silagens de sorgo (35,3%, 42,8%) e de girassol (30,3%, 43,9%). No entanto, comparando com o mesmo trabalho, a SCA apresentou menor degradabilidade nos períodos de 96 horas, verificando-se degradabilidades 84,6% para silagem de sorgo, e, 66,4% para silagem de girassol, respectivamente.

Sarti et al. (2005) verificaram, para silagem de milho confeccionada com aproximadamente 90 dias de idade, 79,1% para a fração A, 39,2% para a fração S, 42,7% para a fração B1 e 3%h de taxa de degradação. Neste estudo a taxa de degradação da SCA é semelhante ao relatado por Sarti et al. (2005) nos tratamentos com 5% (0,0372/h) e 10% (0,033/h) de inclusão do CA.

Os valores de DE obtidos para taxa de passagem de 0,042/h (Tabela 5) taxa de passagem característica de animais de nível médio de produção, foram inferiores aos teores de DE verificados por Carneiro et al. (2002), cujas degradabilidades efetivas a uma taxa de 5%/h foram de 62,3% para silagem de milho, 57,5% para silagem sorgo e 55,1% para silagem de girassol. Para a mesma taxa de passagem (5%/h), valores mais elevados foram obtidos por Pereira (2003) em estudo de silagens de girassol ensiladas aos 100 (76,48%), 107 (73,59%), 114 (70,48%) e 121 (68,16%) dias.

Esses resultados sugerem um melhor valor nutritivo dessas silagens quando comparadas à silagem de cana-de-açúcar avaliada neste estudo. As diferenças observadas entre a SCA e de outras culturas podem ser atribuídas a diversos fatores, como cultura e variedades avaliadas, manejo de corte para ensilagem, condições de clima e de solo onde os materiais foram cultivados, manejo no estabelecimento, dentre outros. Tais fontes de variação podem alterar significativamente as proporções dos nutrientes nas plantas e, por consequência, os parâmetros de cinética de fermentação ruminal e degradabilidades efetivas.

Devido à escassez de dados na literatura sobre degradabilidade *in situ*, ou até mesmo *in vivo* da silagem de cana-de-açúcar, abaixo são citados alguns valores de DIVMS da mesma. Pedroso (2003), avaliando a DIVMS de silagens de cana-de-açúcar, obteve valores entre 62,9% de digestibilidade da amostra no dia zero de ensilagem até 47,2% de digestibilidade para 90 dias de ensilagem do material. O mesmo autor comenta que o produto sofre uma redução drástica da digestibilidade até o 45º dia a partir da estocagem do material e, que passado este período, as perdas são mais estáveis.

Freitas et al. (2006), obtiveram valores de DIVMS para seu tratamento controle (silagem de cana sem uso de inoculantes), para cana de 11 meses de idade de 53,6% e de cana de 13 meses de idade de 59,1%. Castro Neto (2003) avaliou a DIVMS (em % da MS) de silagem de cana-de-açúcar com adição de 0,5% e encontrou 48,55%. Andrade et al. (2001) avaliando a digestibilidade de silagem de cana-de-açúcar tratada com 0,5% de uréia e acrescida de 0, 40, 80 e 120 kg de rolão-de-milho por tonelada de cana picada e ensilada, pelo método de coleta total de excretas em ovinos, encontraram o coeficiente de digestibilidade da matéria seca da silagem acrescida de 0,5% de uréia um coeficiente de digestibilidade de 53,64%, é um valor parecido com aqueles encontrados no desaparecimento médio (Tabela 8), com 96 horas nos ambientes ruminais com 0, 5 e 10% de CA, e inferior aquele encontrado com 15% de CA. Reforçando a necessidade de mais estudos sobre a interação do ambiente ruminal com a dieta incubada.

3.1.2 Desaparecimento da fibra em detergente neutro (FDN) da silagem de cana-de-açúcar

Os parâmetros de degradabilidade ruminal *in situ* da fibra em detergente neutro (FDN) da silagem de cana-de-açúcar, (SCA) estimados pelo modelo proposto por Mehrez e Orskov (1977) modificado por Sampaio (1988) encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7 - Fração solúvel (S) e potencialmente degradável (B1), degradabilidade potencial (A) e efetiva (DE), taxa de degradação (c) e coeficiente de determinação (R^2) da fibra em detergente neutro (FDN) da silagem de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.)

Dietas	Parâmetros de degradabilidade <i>in situ</i>							
	FDN					DE (%)		
	A (%)	B1 (%)	c (%/h)	S (%)	R^2			
						4,2	3,9	3,6
0	40,7	33,5	4,9	10,8	0,97	28,83 ^a	29,45 ^a	30,11 ^a
5%	47,9	39,8	2,9	21,0	0,98	37,26 ^a	37,98 ^a	38,77 ^a
10%	44,1	37,2	4,1	9,6	0,98	28,09 ^a	28,78 ^a	29,52 ^a
15%	39,7	26,1	2,6	10,3	0,97	20,19 ^b	20,65 ^b	21,15 ^b

Letras iguais na coluna não diferem pelo teste SNK ($P>0,05$).

O desaparecimento da FDN aumentou ($P<0,05$) para todos os níveis de inclusão do caroço de algodão com o aumento no tempo de incubação, no entanto, não houve diferença ($P>0,05$) entre o tempo 6 h nos diferentes ambientes ruminais. Para os tempos de incubação 24 e 96 h, houve diferença ($P<0,05$) do desaparecimento da fibra entre os tratamentos, sendo que, a silagem de cana-de-açúcar incubada no ambiente ruminal de vacas alimentadas com 15% de CA apresentou valor numérico inferior (Tabela 8), acompanhando o mesmo padrão da degradabilidade da MS (Tabela 6).

Observou-se aumento do desaparecimento da FDN no tempo de 96 horas nos ambientes, sendo menor quando a SCA foi incubada no ambiente ruminal com 15% de CA (Tabela 8). A fração potencialmente degradável (B1) da FDN tendeu a aumentar até o nível de 10% e em seguida diminuiu, chegando ao menor valor (26,1%) no nível de inclusão de 15% do CA. Com relação à taxa de degradação (c) observou-se menor valor para o nível de adição 15% de CA (0,026/h), apesar disso, foram observado valores superiores para o tratamento controle e inclusão de 10% de CA que apresentaram taxas superiores de degradação da fibra (0,049 e 0,041/h) respectivamente.

A degradabilidade efetiva (DE) da FDN a uma taxa de passagem real de 4,2; 3,9 e 3,6 %/h variou entre os níveis de adição do CA. Para todas as taxas de passagem, menores valores de DE foram observados para a silagem de cana-de-açúcar incubada no ambiente ruminal de vacas alimentadas com 15% de CA. Neste estudo optamos por não discutir os valores da fração “S” encontrado para a SCA incubadas nos diferentes ambientes ruminais contendo CA pois já existem dados de pesquisadores que passam a considerá-la como zero Ezequiel et al. (2001).

As variações dos parâmetros de degradabilidade *in situ* B1 e c, observadas no presente estudo quando comparadas à literatura, podem ser decorrentes da variação da composição bromatológica da silagem de cana-de-açúcar, forma como o alimento foi incubado (técnicas) e, principalmente, da ração fornecida aos animais resultando em possíveis diferenças dos ambientes ruminais. Os valores médios observados para a taxa de degradação (c) no tratamento controle (0,049/h) foram superiores ao observado por Schmidt (2006), quando incubou silagem de cana em bovinos canulados (3,31% h⁻¹)

Os valores observados para as frações “B1” da FDN da silagem de cana-de-açúcar incubada no ambiente ruminal contendo 10% do CA foi de 37,2. Esses resultados estão próximos aos observados por Ezequiel et al. (2001), que encontraram valores para essa frações de 37,76%. Ainda assim, os resultados encontrados para o desaparecimento da fração “B1” da SCA no ambiente ruminal com 5% de CA (39,8%), foram inferiores (42,9%) aos observados por Schmidt (2006).

Quando a SCA foi incubada nos ambientes ruminais controle e de 10% de CA, o valor médio observado foi de 4,5% h⁻¹, resultado superior (3,31% h⁻¹) ao observado por Schmidt (2006), quando incubou silagem de cana em bovinos canulados.

Tabela 8 - Desaparecimento médio (%) da fibra em detergente neutro (FDN) da silagem de cana-de-açúcar em função dos tempos de incubação.

Horários	Tratamentos				Média
	0	5%	10%	15%	
0	7,2 ^{Aa}	8,17 ^{Aa}	6,86 ^{Aa}	13,68 ^{Ba}	8,9
6	15,73 ^{Aa}	14,53 ^{Aa}	15,05 ^{Aa}	17,41 ^{Aa}	15,7
24	30,36 ^{Ab}	28,14 ^{Ab}	30,32 ^{Ab}	25,68 ^{Ba}	28,6
96	40,39 ^{Ab}	45,53 ^{Ac}	43,37 ^{Ac}	37,53 ^{Bb}	41,7

Letras iguais maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem pelo teste SNK ($P>0,05$)
CV= 3,1%.

Valadares Filho et al. (1990) avaliando a degradabilidade *in situ* de vários alimentos em vacas em lactação chamaram a atenção para os baixos índices de degradabilidade da cana-de-açúcar no rúmen. Aroeira et al. (1993) estudaram a degradabilidade *in situ* e a taxa de passagem da cana-de-açúcar mais uréia, farelo de algodão e do farelo de arroz em novilhos mestiços Europeu x Zebu e encontraram médias de degradabilidade de 24,6% para a fibra em detergente neutro (FDN). Em pesquisa onde foram adicionadas quantidades de até 2,0% de uréia a uma dieta com 85% de cana e 15% de farelo de algodão Aroeira et al. (1993), não observaram alterações na digestibilidade ruminal e registraram-se valores de degradabilidade efetiva da cana entre 23,9% a 26,9% para FDN. Outros valores de 25,5% para a degradabilidade da FDN da cana-de-açúcar também foram registrados.

Os potenciais de degradação (A) variaram de 39,7% para o tratamento com 15% de CA a 47,9% para a silagem de cana-de-açúcar incubada no ambiente ruminal com 5% de CA. Quanto às taxas de degradação (c), as silagens incubadas no ambiente ruminal controle (4,9%/h) e com 10% de CA (4,1%/h) apresentaram valores superiores ao verificado para a SCA incubada no tratamento com 15% de CA (2,6 %/h). A menor taxa de degradação da SCA no ambiente com maior concentração de CA pode ser atribuída às características físicas e químicas da digesta, capazes de modificar a população microbiana e, conseqüentemente, a degradação da fibra da silagem de cana-de-açúcar (Van Soest, 1994).

Os valores encontrados para o parâmetro A foram diferente aos verificados para a fração B1, uma vez que as frações FDN das silagens de cana-de-açúcar apresentaram solubilidade em água. As degradabilidades efetivas para a SCA nas taxas de passagem de 4,2; 3,6 e 3,9%/h foram superiores quando comparadas às verificadas em silagens de outras culturas. Os valores de DE para a silagem incubada no ambiente controle foram de 28,8%, 29,5% e 30,11%; 20,2%, 20,7% e 21,15% para o tratamento com 15% de CA, respectivamente, para as taxas de 4,2; 3,6 e 3,9%/hora.

Campos et al. (2003) encontraram valores de DE variando de 30,3% a 39,1% para uma taxa de 2%/h, 17,1%h a 29,4% para uma taxa de 5%/h e de 12,0%h a 25,7%/h para uma taxa de 8%/h em silagens de quatro genótipos de sorgo. Os autores supracitados sugeriram que a planta deve ser ensilada mais nova, em função dos baixos valores para DE da FDN observados em todas as silagens avaliadas.

3.2 Fermentação ruminal

3.2.1 Concentração dos ácidos graxos voláteis no rúmen

As concentrações em (mMoles/100 ml) de acetato, propionato e butirato encontram-se na Tabela 9, 11 e 13 respectivamente. As proporções molares (%) do acetato, propionato e butirato encontram-se na Tabela 10, 12 e 14, respectivamente.

Tabela 9 - Efeito dos níveis crescentes de caroço de algodão sobre a concentração (mMol/100 mL) de acetato no rúmen de vacas em lactação, recebendo dieta à base de silagem de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), em função do tempo após alimentação.

Hora (h)	Concentração Ruminal de Acetato				Médias
	0	5 %	10 %	15 %	
0 ¹	35,5 ^{Aa}	36,7 ^{Aa}	27,8 ^{Aab}	26,5 ^{Ab}	31,63
2	33,6 ^{Aab}	41,1 ^{Aa}	35,1 ^{Aab}	32,2 ^{Ab}	35,50
4	36,5 ^{Aa}	34,0 ^{Aa}	31,5 ^{Aa}	31,7 ^{Aa}	33,30
6	33,4 ^{Aa}	34,0 ^{Aa}	34,9 ^{Aa}	26,8 ^{Aa}	32,28
8	35,9 ^{Aa}	29,7 ^{Aa}	37,5 ^{Aa}	30,0 ^{Aa}	33,28
10	38,0 ^{Aa}	33,7 ^{Aa}	36,2 ^{Aa}	32,3 ^{Aa}	35,05
12	32,6 ^{Aab}	34,3 ^{Aa}	39,1 ^{Aa}	25,7 ^{Ab}	32,93
16	34,6 ^{Aa}	35,9 ^{Aa}	35,4 ^{Aa}	30,7 ^{Aa}	34,15
24	33,1 ^{Aa}	32,1 ^{Aa}	30,4 ^{Aa}	29,3 ^{Aa}	31,23
Médias	34,74	34,61	34,21	29,47	

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na mesma coluna indicam semelhança estatística à ($P>0,05$); médias seguidas de letras minúsculas iguais na mesma linha indicam semelhança estatística à ($P>0,05$) pelo teste de Tukey; CV Acetato = 4,19 %; ¹ Coleta imediatamente anterior ao fornecimento da alimentação.

As interações entre tempo de coleta do líquido ruminal e dietas não foram significativas ($P>0,05$) para as concentrações de propionato, as proporções molares para propionato também tiveram o mesmo comportamento não sofreram efeito da dieta e nem do tempo de amostragem após alimentação. Conforme Hungate (1966) quando há predominância de substratos ricos em carboidratos estruturais a tendência é de não ocorrerem diferenças nas concentrações de propionato.

Houve aumento ($P<0,05$) da concentração de butirato (7,0 mMol/100 mL) para os animais que receberam 10% de caroço de algodão na dieta imediatamente após 6 horas da alimentação. A concentração molar média do butirato foi de 12,02 % para o tratamento controle e somente no momento que antecedeu a alimentação (tempos 0 e 24 horas) foi observado valor menor ($P<0,05$) em relação aos demais tempos de amostragem (8,6% e 10,3%, respectivamente).

Tabela 10 – Efeito dos níveis crescentes de caroço de algodão sobre a porcentagem molar de acetato (%) no rúmen de vacas em lactação, recebendo dieta à base de silagem de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), em função do tempo após alimentação.

Hora (h)	% molar de acetato no rúmen				Médias
	0	5 %	10 %	15 %	
0 ¹	68,0 ^{Aa}	67,3 ^{Aa}	68,6 ^{Aa}	67,5 ^{Aa}	67,85
2	59,9 ^{Ba}	62,4 ^{Aa}	61,9 ^{Ba}	59,7 ^{Ba}	60,98
4	59,7 ^{Ba}	62,3 ^{Aa}	61,8 ^{Ba}	60,1 ^{Ba}	60,98
6	61,0 ^{Ba}	62,2 ^{Aa}	62,7 ^{Ba}	60,2 ^{Ba}	61,53
8	60,8 ^{Ba}	62,7 ^{Aa}	62,4 ^{Ba}	62,9 ^{Aa}	62,2
10	60,0 ^{Bb}	62,8 ^{Aba}	64,2 ^{Ba}	61,9 ^{Aab}	62,23
12	61,0 ^{Bb}	62,6 ^{Ab}	67,2 ^{Ba}	63,2 ^{Aab}	63,50
16	63,4 ^{Aa}	63,8 ^{Aa}	64,4 ^{Ba}	63,8 ^{Aa}	63,85
24	65,2 ^{Aa}	65,8 ^{Aa}	64,6 ^{Ba}	65,4 ^{Aa}	65,25
Médias	62,11	63,54	64,2	62,74	

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na mesma coluna indicam semelhança estatística à ($P>0,05$); médias seguidas de letras minúsculas iguais na mesma linha indicam semelhança estatística à ($P>0,05$) pelo teste t; CV Acetato = 17,62%; ¹ Coleta imediatamente anterior ao fornecimento da alimentação

Segundo Silva e Leão (1979) as faixas de normalidade para as proporções molares do acetato em ruminantes seriam de 54 a 74% e para o propionato de 16 a 27 %. Observando os dados da Tabela 10 e 12, percebe-se que os valores médios para a proporção molar de acetato e propionato nesse experimento estão dentro da faixa de normalidade citados na literatura.

As proporções molares do acetato no rúmen de vacas alimentados com 10% de inclusão do CA foram inferiores ($P < 0,05$) para todos os horários de coleta quando comparado ao tempo 0 hora de amostragem. A inclusão de carboidratos fibrosos na dieta pode ter favorecido o crescimento de bactérias celulolíticas, que apresentam o acetato como principal produto da fermentação, uma vez que, existe uma relação direta entre o ácido acético e butírico.

As concentrações de AGVs destes experimentos foram próximas às encontradas por Soares (2002) que forneceu capim-elefante suplementado com dois ou quatro kg/ vaca/dia de concentrados, sendo 38,7; 13,9 e 6,4 mMol/ml para acetato, propionato e butirato. Segundo Ítavo et al. (2000), as concentrações de AGVs total ou individual no rúmen são altamente variáveis e dependem da frequência de alimentação, tempo após a alimentação e composição da dieta. Além disso, o pH do fluido ruminal pode influenciar bactérias produtoras de AGVs específicos.

Tabela 11 – Efeito dos níveis crescentes de caroço de algodão sobre a concentração (mMol/100 mL) de propionato no rúmen de vacas em lactação, recebendo dieta à base de silagem de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), em função do tempo após alimentação.

Hora (h)	Concentração Ruminal de Propionato				Médias
	0	5 %	10 %	15 %	
0 ¹	12,2 ^{Aa}	12,9 ^{Aa}	10,0 ^{Aa}	10,3 ^{Aa}	11,35
2	15,8 ^{Aa}	18,2 ^{Aa}	16,7 ^{Aa}	16,2 ^{Aa}	16,7
4	16,7 ^{Aa}	14,5 ^{Aa}	14,0 ^{Aa}	15,4 ^{Aa}	15,15
6	14,4 ^{Aa}	14,2 ^{Aa}	14,6 ^{Aa}	13,1 ^{Aa}	14,08
8	15,4 ^{Aa}	12,2 ^{Aa}	15,9 ^{Aa}	12,2 ^{Aa}	13,93
10	16,6 ^{Aa}	13,7 ^{Aa}	13,3 ^{Aa}	14,2 ^{Aa}	14,45
12	13,6 ^{Aa}	13,7 ^{Aa}	13,3 ^{Aa}	10,7 ^{Aa}	12,83
16	13,5 ^{Aa}	13,8 ^{Aa}	14,2 ^{Aa}	13,1 ^{Aa}	13,65
24	12,9 ^{Aa}	12,2 ^{Aa}	12,4 ^{Aa}	12,4 ^{Aa}	12,48
Médias	14,57	13,93	13,82	13,07	

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na mesma coluna indicam semelhança estatística à ($P > 0,05$); médias seguidas de letras minúsculas iguais na mesma linha indicam semelhança estatística à ($P > 0,05$) pelo teste de Tukey; CV Propionato = 9,49%; ¹ Coleta imediatamente anterior ao fornecimento da alimentação.

No presente experimento, podemos inferir que à proporção volumoso:concentrado de 60:40 na dieta, não afetou a proporção de AGVs produzidos pela microbiota ruminal de vacas mestiças Holandês x Zebu. A concentração de gordura no leite foi semelhante entre os tratamentos. A maior concentração de acetato favorece a síntese de gordura, mas, neste experimento, não houve diferença entre a concentração absoluta de acetato ($P > 0,05$) e entre as proporções de AGVs das dietas testadas.

Tabela 12 – Efeito dos níveis crescentes de caroço de algodão sobre a porcentagem molar de propionato (%) no rúmen de vacas em lactação, recebendo dieta à base de silagem de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), em função do tempo após alimentação.

Hora (h)	% molar de propionato no rúmen				Médias
	0	5 %	10 %	15 %	
0 ¹	23,4 ^{Aa}	23,3 ^{Aa}	23,7 ^{Aa}	25,6 ^{Aa}	24,00
2	28,1 ^{Aa}	26,9 ^{Aa}	28,4 ^{Aa}	30,2 ^{Aa}	28,40
4	27,4 ^{Aa}	26,4 ^{Aa}	27,0 ^{Aa}	28,6 ^{Aa}	27,35
6	26,4 ^{Aa}	26,0 ^{Aa}	25,9 ^{Aa}	28,7 ^{Aa}	26,75
8	26,1 ^{Aa}	25,6 ^{Aa}	26,2 ^{Aa}	26,2 ^{Aa}	26,03
10	26,4 ^{Aa}	25,3 ^{Aa}	24,0 ^{Aa}	27,1 ^{Aa}	25,70
12	25,7 ^{Aa}	25,2 ^{Aa}	20,9 ^{Ab}	26,3 ^{Aa}	24,53
16	24,7 ^{Aa}	24,8 ^{Aa}	25,6 ^{Aa}	26,9 ^{Aa}	25,50
24	24,5 ^{Aa}	24,7 ^{Aa}	25,8 ^{Aa}	26,5 ^{Aa}	25,38
Médias	25,86	25,36	25,28	27,34	

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na mesma coluna indicam semelhança estatística à ($P>0,05$); médias seguidas de letras minúsculas iguais na mesma linha indicam semelhança estatística à ($P>0,05$) pelo teste t; CV Propionato = 22,66%; ¹ Coleta imediatamente anterior ao fornecimento da alimentação

A relação entre produção, absorção, ou desaparecimento, e concentração de AGVs representa balanço entre a taxa de produção e a taxa de remoção do ácido do rúmen, um aumento na produção de ácidos graxos acarreta acréscimo na concentração e, conseqüentemente, na absorção destes ácidos, portanto, haverá tendência de estabilização entre estes três itens, logo, quanto mais ácido graxo for produzido, mais será absorvido, até que uma constância seja atingida (Ítavo et al., 2000). Em termos de proporção molar, os ácidos: acético, propiônico, butírico, representam 60, 20 e 10%, respectivamente. Valores adequados para a manutenção da biodiversidade dos microrganismos do rúmen, sem comprometimento da digestibilidade da fibra.

A concentração propionato não apresentou diferença significativa ($P>0,05$) entre os tempos analisados, mas observando os valores em mMol/100 mL de propionato observa-se uma tendência ou seja, um aumento 2 hora após a alimentação e o decréscimo nos tempos posteriores.

Tabela 13 – Efeito dos níveis crescentes de caroço de algodão sobre a concentração (mMol/100 mL) de butirato no rúmen de vacas em lactação, recebendo dieta à base de silagem de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), em função do tempo após alimentação.

Hora (h)	Concentração Ruminal de Butirato				Médias
	0	5 %	10 %	15 %	
0 ¹	4,5 ^{Aab}	5,2 ^{Aa}	3,2 ^{Bb}	2,8 ^{Ab}	3,93
2	6,7 ^{Aa}	7,2 ^{Aa}	5,9 ^{Ba}	5,4 ^{Aa}	6,30
4	7,8 ^{Aa}	6,1 ^{Aa}	5,9 ^{Ba}	5,9 ^{Aa}	6,43
6	7,0 ^{Aa}	6,5 ^{Aa}	6,5 ^{Ba}	5,1 ^{Aa}	6,28
8	7,7 ^{Aa}	5,5 ^{Ab}	7,0 ^{Aab}	5,4 ^{Ab}	6,40
10	8,5 ^{Aa}	6,4 ^{Ab}	6,8 ^{Bab}	5,9 ^{Ab}	6,90
12	7,0 ^{Aa}	6,6 ^{Aa}	7,1 ^{Aa}	4,3 ^{Ab}	6,25
16	6,5 ^{Aa}	6,5 ^{Aa}	5,6 ^{Ba}	4,5 ^{Aa}	5,78
24	5,6 ^{Aa}	4,7 ^{Aa}	4,6 ^{Ba}	3,9 ^{Aa}	4,70
Médias	6,81	6,08	5,84	4,80	

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na mesma coluna indicam semelhança estatística à ($P>0,05$); médias seguidas de letras minúsculas iguais na mesma linha indicam semelhança estatística à ($P>0,05$) pelo teste de Tukey; CV Butirato = 9,84%; ¹ Coleta imediatamente anterior ao fornecimento da alimentação.

O aumento da proporção de ácido acético foi encontrado em outros trabalhos com a adição de caroço de algodão ou outra fonte de gordura à dieta (Horner et al., 1988; Pires et al., 1997). Essa resposta foi explicada pelos autores pelo aumento de linter proveniente do caroço de algodão à dieta, o qual, por sua vez, é rico em fibra de alta degradabilidade ruminal.

Por outro lado, Pires et al. (1997) não encontraram diferença na concentração de ácido propiônico quando adicionaram caroço de algodão à dieta. Já Horner et al. (1988) observaram uma diminuição de propionato em dietas com 15% de caroço de algodão.

Tabela 14 – Efeito dos níveis crescentes de caroço de algodão sobre a porcentagem molar de butirato (%) no rúmen de vacas em lactação, recebendo dieta à base de silagem de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), em função do tempo após alimentação.

Hora (h)	% molar de butirato no rúmen				Médias
	0	5 %	10 %	15 %	
0 ¹	8,6 ^{Aab}	9,4 ^{Aa}	7,7 ^{Abc}	6,9 ^{Ac}	8,15
2	12,0 ^{Ba}	10,7 ^{Aab}	9,7 ^{Ab}	10,0 ^{Bb}	10,6
4	12,8 ^{Ba}	11,2 ^{Ab}	11,2 ^{Bb}	11,3 ^{Bb}	11,63
6	12,7 ^{Ba}	11,8 ^{Aab}	11,3 ^{Bab}	11,1 ^{Bb}	11,73
8	13,0 ^{Ba}	11,6 ^{Aab}	11,4 ^{Bb}	10,9 ^{Bb}	11,73
10	13,6 ^{Ba}	12,1 ^{Ab}	11,8 ^{Bb}	11,0 ^{Bb}	12,13
12	13,3 ^{Ba}	12,2 ^{Ba}	11,8 ^{Bab}	10,5 ^{Bb}	11,95
16	11,9 ^{Ba}	11,4 ^{Aab}	10,0 ^{Ab}	9,3 ^{Ab}	10,65
24	10,3 ^{Aa}	9,4 ^{Aab}	9,6 ^{Aa}	8,1 ^{Ab}	9,35
Médias	12,02	11,09	10,50	9,90	

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na mesma coluna indicam semelhança estatística à ($P>0,05$); médias seguidas de letras minúsculas iguais na mesma linha indicam semelhança estatística à ($P>0,05$) pelo teste t; CV Butirato = 24,87 %; ¹ Coleta imediatamente anterior ao fornecimento da alimentação

Horner et al. (1988), relataram que com o aumento de caroço de algodão na dieta houve diminuição linear para a proporção de butirato, os autores creditaram essa resposta provavelmente devido a um aumento no consumo de ácidos graxos de cadeia longa com o aumento de caroço de algodão à dieta, causando, conseqüentemente, uma redução no número de protozoário ruminal, o qual, por sua vez, é um dos principais responsáveis pela produção de ácido butírico.

3.2.2 Nitrogênio amoniacal (N-NH₃)

A Tabela 15 apresenta o efeito da adição dos níveis crescentes de caroço de algodão sobre a concentração de N-NH₃ no rúmen de vacas mestiças Holandês x Zebu.

Para a concentração de nitrogênio amoniacal (N-NH₃) houve interação entre tempo de coleta e dietas experimentais ($P<0,05$). Ocorreu uma elevação ($P<0,05$) do N-NH₃ de 13,7 para 31,6; de 10,3 para 34,8; de 12,9 para 35,2; após o período de jejum, nos tratamentos com 0%, 5% e 10% de inclusão do caroço de algodão respectivamente. O que pode indicar que nesse horário houve maior sincronia entre a liberação do nitrogênio protéico e a degradação dos carboidratos estruturais, o que permitiria pronta utilização da amônia liberada, pelos microrganismos ruminais.

Tabela 15 - Efeito das dietas contendo níveis crescentes de caroço de algodão sobre a concentração de nitrogênio amoniacal (mg/ 100ml) em função dos horários após a alimentação.

Dietas	N-NH ₃ (mg/ 100 ml)									Médias
	0 h	2 h	4 h	6 h	8 h	10 h	12 h	16 h	24 h	
0	13,7 ^{Aa}	31,6 ^{Ba}	30,2 ^{Ba}	21,0 ^{Aab}	14,5 ^{Aa}	25,8 ^{Aa}	20,8 ^{Aa}	19,9 ^{Aa}	13,2 ^{Ab}	21,19
5%	10,3 ^{Aa}	34,8 ^{Ba}	22,9 ^{Ab}	18,0 ^{Ab}	16,4 ^{Aa}	22,9 ^{Aa}	14,2 ^{Aa}	15,9 ^{Aa}	10,9 ^{Ab}	18,48
10%	12,9 ^{Aa}	35,2 ^{Ba}	25,7 ^{Bab}	27,8 ^{Ba}	20,5 ^{Aa}	25,2 ^{Aa}	19,8 ^{Aa}	17,5 ^{Aa}	27,5 ^{Ba}	23,57
15%	11,2 ^{Aa}	19,4 ^{Ab}	12,8 ^{Ac}	15,9 ^{Ab}	15,2 ^{Aa}	16,6 ^{Ab}	17,5 ^{Aa}	13,7 ^{Aa}	20,7 ^{Aa}	15,89
Médias	12,03	30,25	22,9	20,68	16,65	22,63	18,08	16,75	18,08	

0%, 5%, 10% e 15%= Níveis de inclusão do caroço de algodão na dieta. Letras maiúsculas iguais na mesma linha indicam semelhança estatística a 5% (SNK). Letras minúsculas iguais na mesma coluna, para mesmo parâmetro, indicam semelhança estatística a 5% (SNK). CV N-NH₃ = 25,4%

Para o tratamento com 15% de inclusão do caroço de algodão na dieta a concentração do N-NH₃ não sofreu alteração ($P>0,05$) em função dos horários após alimentação. Todavia, entre os níveis de inclusão do CA testados após 2 e 10 horas do fornecimento alimentar para o tratamento com 15% do CA foram observados os menos valores para concentração de N-NH₃ 19,4 e 16,6 mg/ 100 ml, respectivamente.

A menor concentração de N-NH₃ indica uma fermentação ruminal mais ativa e, possivelmente, mais energia sendo absorvida na forma de AGVs, estando, assim, disponível para fins produtivos. Para o tratamento controle somente depois da quarta hora pós-prandial houve redução ($P<0,05$) do N-NH₃ sendo que com 10% do CA a redução ocorreu após 6h. Leng (1990) sugeriu que para maximizar a digestão ruminal sob condições tropicais, o teor de N-NH₃ deve ser superior a 10 mg/100 mL, sendo que todos os níveis encontrados no presente experimento foram superiores a este valor.

As concentrações de N-NH₃ diferiram ($p<0,05$), com uma diminuição, entre os tratamentos duas horas após o fornecimento da alimentação, 31,6 e 19,4 para o tratamento controle com adição de 15% de CA, respectivamente. Essa diminuição pode está relacionado com a maior ingestão de lipídios insaturados, principalmente pelos animais do tratamento com 15% de CA, ressaltando, menor degradabilidade da proteína contida no suplemento em relação aos demais tratamentos.

Os lipídios insaturados provocam efeito inibitório sobre a população de bactérias gram-positivas, fermentadoras obrigatórias de aminoácidos. Essa população especializada em desaminar aminoácidos é estimulada pelo aumento da concentração de proteína bruta degradável na dieta e inibida pelos ionóforos e pelo abaixamento do pH ruminal, era de se esperar redução na atividade de desaminação e sobre a concentração de N-NH₃ no rúmen quando na presença dos lipídios. Entretanto, não foi verificado tal efeito.

A menor concentração entre os tratamentos (16,6 mg/ 100 ml) e (19,4 mg/ 100 ml) de N-NH₃ no líquido ruminal em relação ao tempo de coleta observada após 10 e 2 horas da alimentação para o tratamento com 15% do CA, pode estar associada à utilização deste nitrogênio (NNH₃) para a síntese de proteína e/ou absorção ruminal. As concentrações médias de amônia ruminal não apresentaram diferença significativa ($p>0,05$) entre os tempos após a alimentação, para o tratamento com 15% de CA, sugerindo a manutenção do ambiente ruminal estável.

Chizzotti et al. (2007) trabalhando com vacas de alta produção obteve 13,34 mg/100 ml, Magalhães et al. (2006) e Soares et al. (2005) avaliando vacas de média produção verificaram um valor médio de 13,95 e 13,64 mg/100 mL, respectivamente. Van Soest (1994) citou como nível ótimo 10 mg/100 mL de líquido ruminal, valor que não deve ser considerado fixo, pois varia conforme a capacidade de síntese de proteína microbiana, a disponibilidade de substrato e a taxa de fermentação dos carboidratos.

As concentrações médias de amônia ruminal obtidas com as dietas experimental neste estudo foram próximas ao valor citado por Van Soest (1994) e não limitaram a eficiência de síntese microbiana.

3.2.3 pH ruminal

A Tabela 16 apresenta o efeito da adição dos níveis crescentes de caroço de algodão sobre o pH no rúmen de vacas mestiças Holandês x Zebu.

Houve interação entre dieta e tempo de coleta ($P < 0,05$) para os valores de pH ruminal. Observando-se as médias dos diferentes tempos, percebe-se que logo após o fornecimento da alimentação diária, houve queda ($P < 0,05$) de 6,74 para 6,29 e de 6,90 para 6,46 duas horas após alimentação nos tratamentos com inclusão de 10% e 15% do caroço de algodão, respectivamente. Há exceção do tratamento com 5% do CA, no qual não houve alteração ($P > 0,05$) do pH ruminal até 4 horas após alimentação.

No tratamento controle os valores de pH se mantiveram baixos 4 horas após alimentação até a décima sexta hora, com queda acentuada no pH ruminal (5,90) na décima hora após fornecimento alimentar, 24 horas após a primeira amostragem, o pH ruminal do tratamento controle teve comportamento semelhante ($P > 0,05$) aos valores iniciais de amostragem do líquido ruminal.

Tabela 16 - Efeito das dietas contendo níveis crescentes de caroço de algodão sobre o pH ruminal em função dos horários após a alimentação.

Dietas	pH Ruminal									Médias
	0 h	2 h	4 h	6 h	8 h	10 h	12 h	16 h	24 h	
0	6,65 ^{Ab}	6,24 ^{Ab}	6,13 ^{Bb}	6,1 ^{Bb}	6,04 ^{Bb}	5,90 ^{Bb}	5,92 ^{Bb}	6,19 ^{Ba}	6,49 ^{Ab}	6,18
5%	6,59 ^{Ab}	6,24 ^{Ab}	6,21 ^{Aa}	6,09 ^{Bb}	6,16 ^{Bab}	6,07 ^{Bab}	5,97 ^{Bb}	6,23 ^{Aa}	6,57 ^{Aab}	6,24
10%	6,74 ^{Aab}	6,29 ^{Bab}	6,19 ^{Ba}	6,05 ^{Bb}	6,08 ^{Bb}	6,06 ^{Bb}	6,01 ^{Bb}	6,3 ^{Ba}	6,53 ^{Ab}	6,22
15%	6,90 ^{Aa}	6,46 ^{Ba}	6,32 ^{Ba}	6,31 ^{Ba}	6,30 ^{Ba}	6,24 ^{Ba}	6,24 ^{Ba}	6,47 ^{Ba}	6,76 ^{Aa}	6,44
Médias	6,72	6,30	6,21	6,14	6,15	6,07	6,04	6,23	6,59	

0%, 5%, 10% e 15% = Níveis de inclusão do caroço de algodão na dieta. Letras maiúsculas iguais na mesma linha indicam semelhança estatística a 5% (SNK). Letras minúsculas iguais na mesma coluna, para mesmo parâmetro, indicam semelhança estatística a 5% (SNK) CV pH = 2,4 %

Conforme Hoover e Stockes (1991) reduções moderadas no pH ruminal para valores até 6,2 causam pouco efeito sobre a digestão de carboidratos fibrosos, sendo no entanto, reduções mais severas ($< 6,0$) passíveis de inibirem a população de microrganismos celulolíticos. Em alguns momentos, os tratamentos com controle e com 5% do CA chegaram a valores muito próximos desse patamar. A Tabela 5 deste estudo mostra que realmente houve comprometimento na taxa de degradação (c) in situ da MS da silagem de cana-de-açúcar.

Entretanto, de forma geral, os valores mantiveram-se dentro do recomendado por Hobson e Stewart (1997), entre seis e sete. Os valores elevados de pH nos tratamentos estudados, possivelmente, é consequência da maior porcentagem de fibra nas dietas, o que deve ter estimulado a ruminação.

Observando-se as médias dos diferentes tempos, percebe-se que logo após o fornecimento da primeira refeição do dia no período da manhã, houve queda de 6,72 para 6,21 na quarta hora no pH ruminal. Os valores se mantiveram baixos até a décima sexta hora, em seguida, no período de 24 horas atingiram valores de 6,59.

Após 24 horas de amostragem do pH ruminal, aparentemente, houve uma reestruturação dos mecanismos tamponantes do rúmen, que eleva o pH após uma queda, entre todos os tratamentos. Granzin e Dryden (2002), trabalhando com uma porcentagem de 47% de FDN, na dieta em MS, obtiveram pH de 6,13. Tal fato ressalta a relação do FDN com pH ruminal. E que quanto mais fibra efetiva, mais rápido é o aumento do pH pelo aumento da produção de saliva, movimentos ruminais e liberação dos gases pela eructação.

Hungate (1966) e Church (1979) admitem que as flutuações no pH do rúmen refletem as variações nas quantidades dos ácidos orgânicos que acumulam no conteúdo ruminal e da quantidade de saliva que é produzida. Dessa maneira, o pH ruminal geralmente atingirá o nível mais baixo de duas a seis horas após a alimentação, dependendo da natureza da dieta, e da rapidez com que é

ingerida. Desse modo, dietas com grandes quantidades de amido ou carboidratos solúveis resultariam em valores de pH baixo, ao passo que em dietas com preponderância de celulose e outros carboidratos que são metabolizados vagarosamente, a queda do pH não seria tão acentuada. Segundo Van Soest (1994), a faixa de pH para que haja atividade microbiana normal no rúmen é de 6,7 + 0,5.

O menor valor médio 6,04 de pH ocorreu 12 horas após alimentação, possivelmente devido à maior taxa de produção de ácidos graxos voláteis, provenientes da fermentação da fração não-fibrosa do alimento (Van Soest, 1994), e reflete o balanço entre as taxas de produção de ácidos graxos voláteis, o influxo de tamponantes por meio da saliva e a presença e/ou liberação de substâncias tampões do alimento.

Resultados superiores foram relatados por Geron (2003) avaliando diferentes fontes protéicas e Mendonça et al. (2004) estudando vacas alimentadas com dietas à base cana-de-açúcar, obtiveram o pH ruminal médio de 6,6 e Wernersbach Filho et al. (2006) avaliaram a influência do tipo de processamento do concentrado e obtiveram pH médio 6,58 em animais produzindo 30 kg de leite por dia. Os valores médios de pH antes e após a alimentação, foram 6,72 e 6,30 respectivamente, ou seja, ficaram dentro da faixa recomendada para um máximo crescimento microbiano. Quando o pH ruminal atinge níveis inferiores a 6,2, ocorre inibição da degradação dos carboidratos estruturais e consequentemente diminui a eficiência de utilização desta energia pelos ruminantes.

3.3 Cinética de passagem da digesta

3.3.1 Cinética de passagem da fase sólida

Os parâmetros encontrados para a cinética ruminal da fase sólida estão apresentados na Tabela 17, e as equações de regressão (ER) e o os respectivos coeficientes de determinação (R^2) estão apresentados na Tabela 18.

Não houve efeito da inclusão de caroço de algodão ($P>0,05$) sobre os parâmetros da cinética do fluxo da fase sólida no trato gastrointestinal estimadas pelo modelo bicomportamental tempo-independente proposto por Grovum e Williams (1973).

Tabela 17 - Parâmetros da cinética de fluxo de partículas no trato gastrointestinal de vacas em lactação, consumindo dietas baseada em silagem de cana-de-açúcar contendo níveis crescentes de caroço de algodão, segundo estimativas obtidas pelo modelo de Grovum e Williams (1973) com os respectivos coeficientes de variação (CV).

Parâmetros ¹	Tratamentos				CV%
	0%	5%	10%	15%	
k ₁	4,2	3,9	3,6	4,2	11,60
k ₂	4,9	5,8	7,3	5,0	11,32
TT	12,4	16,1	16,7	16,6	16,53
TRR	23,1	25,5	28,2	23,6	11,10
TRCC	20,4	17,4	13,7	20,0	12,0
TRT	56,8	59,9	58,6	60,2	6,98

¹k₁ - Taxa de passagem no rúmen (%/h); k₂ - Taxa de passagem no ceco e cólon (%/h); TT - Tempo de trânsito (h); TRR - Tempo de retenção no rúmen (1/k₁, h); TRCC - Tempo de retenção no ceco e cólon proximal (1/k₂, h); TRT - Tempo de retenção total (TT + TRR + TRCC). As médias analisadas não foram significativas para o teste de Tukey ($P>0,05$).

Os valores médios de k₁ e k₂ foram de 4,0 e 5,8 %/h, respectivamente. Os valores de k₁ e k₂ observado neste experimento foram inferiores ao relatado por Aroeira et al. (1995) quando observaram taxa de passagem ruminal de 7,2%/h para o farelo de algodão fornecido para vacas Holandês x Zebu em lactação, e que recebiam cana-de-açúcar adicionada de 1% da mistura 9:1 uréia:sulfato de amônio (base matéria natural), sendo a relação volumoso:concentrado dessa dieta de 77,5:22,5% (base MS).

Os parâmetros biológicos da cinética de fluxo de partículas da silagem de cana-de-açúcar, estimados em função dos níveis de caroço de algodão, a partir dos modelos de Grovum e Williams (1973) apresentaram-se dentro da faixa de valores relatados por Lopes et al. (2003), a saber, de 2,1 a

4,1%/h para k_1 , e de 3,9 a 11,3%/h para k_2 . Esses autores trabalharam com os modelos de Grovum e Williams (1973) ajustados para dados de excreção fecal de vacas Holandês x Zebu em lactação, manejadas em pastagem de capim elefante com 30 a 45 dias de intervalo de descanso e três dias de ocupação dos piquetes, na estação das chuvas.

Tabela 18 – Equações de regressão (ER) para a estimativa da concentração do indicador (Cr-mordente) nas fezes em função dos níveis crescentes de caroço de algodão na dieta, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2).

Tratamentos	Indicador	R^2
	ER*	
0	$Y_{Cr} = 2500.e^{(-0,042(t-12,38))} - 2500.e^{(-0,049(t-12,38))}$	0,47
5%	$Y_{Cr} = 933,5.e^{(-0,039(t-16,99))} - 933,5.e^{(-0,058(t-16,99))}$	0,69
10%	$Y_{Cr} = 466,4.e^{(-0,036(t-16,68))} - 466,4.e^{(-0,073(t-16,68))}$	0,82
15%	$Y_{Cr} = 2000.e^{(-0,042(t-16,63))} - 2000.e^{(-0,050(t-16,63))}$	0,92

*Equações derivada do modelo de Grovum e Williams (1973), onde t representa o tempo em horas.

A taxa de passagem do alimento no rúmen é uma variável de grande importância, pois determina o fluxo da digesta pelo trato digestivo que, no caso de forrageiras tropicais, esses valores, de modo geral, são baixos, principalmente, em razão do alto teor de fibra em sua composição química. A taxa de passagem do alimento no rúmen é importante também na regulação do consumo, pois, afeta a utilização de nutrientes, por estar diretamente relacionada ao efeito de enchimento físico do rúmen, influencia o consumo voluntário de alimentos e, por conseguinte, a produtividade animal (Van Soest, 1994).

Ao trabalharem com vacas leiteiras que receberam dieta baseada em silagens de milho e de alfafa (83% da MS) e suplemento concentrado composto basicamente por milho laminado e farelo de soja, Colucci et al. (1982) relataram taxas de passagem ruminal k_1 e k_2 ruminal, respectivamente, de 6,83 e 15,44 %/h. O valor médio observado para a taxa de passagem no rúmen (k_1) para o tratamento controle foi de 4,2 %/h, inferior ao de 4,96%/h encontrado por Bürger et al. (2000), em bezerros alimentados com feno de *coastcross* e diferentes níveis de concentrado. Por outro lado, a taxa de passagem pós-rúmen (k_2) obtida neste estudo para o tratamento com 10% do CA foi semelhante (7,3%/h) à encontrada por esses autores (7,3%/h).

De acordo com Owens e Hanson (1992), a não-adequação do ajuste dos parâmetros matemáticos aos componentes fisiológicos pode prejudicar o conhecimento da fisiologia de passagem da dieta pelo trato gastrointestinal, a segregação de subcomponentes da digesta e o comportamento do marcador. Yang et al. (1999), analisando o efeito da suplementação enzimática em vacas em lactação consumindo 45% de feno de alfafa, não constataram efeito do suplemento sobre o tempo de retenção ruminal, que apresentou média de 32,45 horas, superior a média observada neste experimento de 25,1 horas.

Segundo Mertens e Ely (1982), as cinéticas de trânsito estariam relacionadas, principalmente, ao nível de consumo, à forma física da dieta, às diferenças na ruminação entre animais, ao tipo de marcador utilizado na determinação da curva de excreção fecal, à relação volumoso:concentrado e aos fatores climáticos. Shingfield et al., (2008), verificaram que à medida que aumentava o teor de óleo vegetal, reduzia ($P<0,05$) o k_1 .

Conforme Lopes et al., (2008) dentre os vários indicadores utilizados nas estimativas de taxa de passagem da fase sólida, foi demonstrado que as fibras complexadas com cromo (Cr), denominadas de cromo-mordentes, foram eficientes na representação do fluxo de partícula no trato gastrointestinal de vacas em lactação.

O tempo de trânsito (TT) e o tempo de retenção total (TRT) obtidos para a silagem de cana-de-açúcar (15,45 e 58,9 horas, respectivamente) foram superiores aos valores de 13,08 h e inferiores 62,34 h, respectivamente, reportados por Bürger et al. (2000), em estudo com dietas contendo feno de *coastcross*. O tempo de retenção no rúmen encontrado neste trabalho para a silagem de cana-de-açúcar foi de 25,1 horas, inferior ao obtido por Soares (2002), de 55 horas, em animais consumindo capim-elefante.

Os valores médios estimados para TRR e TRCC foram de 25,1 e 17,9 h. Ribeiro (2009) obtiveram valores estimados pelo modelo de Grovum e Williams (1973) de 24,4 e 19,8 h para TRR e TRCC, respectivamente, em vacas mestiças holandês x zebu em lactação, recebendo dietas baseadas em capim-elefante suplementado com óleo de soja na MS da dieta.

Segundo Forbes (1995), o TRR é influenciado pela concentração de fibra na dieta. Dietas ricas em fibras elevam o TRR devido à diminuição da taxa de degradação k_1 da fibra. A presença de maiores quantidades de fibra nos intestinos reduz o tempo de retenção pós-ruminal TRCC por estimular os movimentos peristálticos. Campos et al. (2007), estudando a cinética ruminal de seis vacas leiteiras recebendo 4kg/dia de concentrado e pastejando piquetes de capim-elefante, estimaram valores de k_1 semelhante os observado nesse estudo para o tratamento com 5% do CA (3,9%/h) e de TRR, respectivamente iguais a 3,98 %/h e 25,1 h com o mesmo modelo.

Burns et al., (2001) relatam que concentrações de Cr superiores a 1,4 da matéria seca poderiam, eventualmente em decorrência de mudanças na densidade das partículas complexadas, alterar o comportamento cinético, quando comparada àqueles das partículas originais do alimento. Entretanto, na literatura consultada, em estudo visando a estimativa de parâmetros de cinética de fluxo em bovinos, foi relatado o uso de concentrações de Cr no mordente, variando de 1,0 (Moore et al., 1992) até 10,36% (Colucci et al., 1982). Neste experimento as concentrações de cromo na MS dos materiais mordentados situaram-se entre 1,90 e 2,19% da MS.

Neste experimento, o modelo de Grovum e Williams (1973) sugeriu um tempo de retenção no trato gastrointestinal das fibras marcadas com cromo-mordante por um tempo igual a 58,9 horas. Quando se adiciona suplementos lipídicos na dieta de ruminantes, espera-se maior tempo de retenção da digesta no rúmen devido à redução da taxa de degradação da fibra causada pelo comprometimento da ação microbiana e devido à redução da taxa de passagem, aumentando o efeito de preenchimento da dieta. O ajuste do modelo de Grovum e Williams (1973) estão apresentados na (Tabela 18) os dados geraram valores de R^2 bem diversos. A maioria deles apresentou valores abaixo de 92%.

3.3.2 Cinética de passagem da fase líquida

Os parâmetros encontrados para a cinética ruminal da fase líquida estão apresentados na Tabela 19, e as equações de regressão (ER) e o os respectivos coeficientes de determinação (R^2) estão apresentados na Tabela 20.

A adição do caroço de algodão não influenciou ($P>0,05$) nenhum dos parâmetros da cinética de fluidos. Tais resultados estão de acordo com os observados por Clary et al. (1993) que trabalharam com adição de 4% de gordura na dieta de novilhas e com os resultados obtidos por Ribeiro (2009) que avaliou a cinética de fluxo de líquido em vacas mestiças Holândes x Zebu em lactação recebendo dietas baseadas em capim – elefante suplementado com óleo de soja na MS da dieta. Já Klusmeyer et al. (1991) e Bateman e Jenkins (1998) observaram diminuição ($P<0,05$) na taxa de fluxo (Tx fluxo) à medida que se adicionou óleo à dieta.

Tabela 19 - Parâmetros da cinética de fluxo de líquido no trato gastrointestinal de vacas em lactação, consumindo dietas baseada em silagem de cana-de-açúcar contendo níveis crescentes de caroço de algodão, segundo estimativas obtidas pelo modelo de Colucci (1984) com os respectivos coeficientes de variação (CV).

Parâmetros ¹	TRATAMENTOS				CV
	0%	5%	10%	15%	
VR	141,6	151,9	139,4	127,0	17,18
TR	10,54	11,60	11,61	11,26	21,05
TxR	2,28	2,07	2,07	2,13	18,96
Tx Fluxo	13,44	13,09	12,00	11,28	6,09
Tx Passagem	9,49	8,62	8,61	8,88	19,30

¹VR - Volume ruminal (L); TR – Tempo de reciclagem (horas); TxR – Taxa de reciclagem (vezes/dia); Tx Fluxo – Taxa de Fluxo (L/hora); Tx Passagem – Taxa de passagem da fase líquida (%/hora). As médias analisadas não foram significativas para o teste de Tukey ($P>0,05$).

O volume ruminal foi de 151,9 L a 127,0 L para o tratamento com 5% e 15% de inclusão do CA na dieta. Segundo Owens e Goetsch (1988) o volume ruminal quando expresso em porcentagem do peso vivo varia entre 15 e 21%. Neste estudo o volume variou entre 25,7% (0% de CA) e 23,0% (15% de CA). Segundo esses autores, as variações no líquido ruminal podem ser atribuídas aos níveis de concentrado das dietas e à qualidade da forragem atribuída.

A taxa de passagem de líquidos (%/h) manteve-se entre 8,61 e 9,49%/h. Ribeiro (2009) obteve valores médios para a taxa de passagem de 12%/h em vacas em lactação recebendo 4,5% de óleo de soja na dieta. Neste trabalho, as dietas formuladas sem adição do caroço de algodão apresentaram os maiores valores numéricos de taxa de passagem da fase líquida.

A taxa de passagem de líquidos no rúmen pode variar conforme o nível de ingestão, a proporção de concentrado, o indicador utilizado e os locais de amostragem (Bateman e Jenkins, 1998). Assim como proposto pela literatura, Elyas (2007) trabalhando com vacas da raça Holandês manejadas em pastagem de Coastcross fertilizadas e suplementadas com diferentes quantidades (3,0 e 6,0 kg) de concentrado observou aumento ($P < 0,05$) na taxa de passagem de líquidos nos animais que consumiram maior quantidade de concentrado. Segundo o autor, isto se justifica pela maior ingestão de suplemento, aliada à redução da ingestão de MS da forragem.

O tempo de reciclagem (TR) variou de 10,54 a 11,61 h, e a taxa de reciclagem (TxR) foi de 2,07 a 2,28 ciclos/dia. Elyas (2007) observou que o maior ($P < 0,05$) TR estimado para os animais alimentados com baixa quantidade de concentrado ocasionou menor TxR e maior taxa de fluxo quando comparado ao tratamento com maior suplementação.

Os valores de taxa de fluxo (TxFluxo), de 11,28 a 13,44 L/h foram semelhante ao relatado por Ribeiro (2009). Trabalhando com capim-napier, brachiária e colômbia para vacas leiteiras mestiças Holandês x Zebu, Benedetti (1994) também não observou diferença quanto a cinética da fase líquida entre as forrageiras analisadas e encontrou os valores médio para o tempo de reciclagem de 7,25 h, a taxa de reciclagem igual a 3,47 ciclo/dia e a taxa de fluxo de 10,57 L/h.

Tabela 20 – Equações de regressão (ER) para a estimativa da concentração do indicador Co-EDTA em função dos níveis crescentes de caroço de algodão na dieta, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2).

Tratamentos	Indicador	R^2
	ER*	
0	$Y_{Co} = 6,09.e^{(-0,095.t)}$	0,93
5%	$Y_{Co} = 5,67.e^{(-0,086.t)}$	0,90
10%	$Y_{Co} = 6,18.e^{(-0,086.t)}$	0,82
15%	$Y_{Co} = 6,79.e^{(-0,089.t)}$	0,83

*Equações derivada do modelo de Colucci (1984), onde t representa o tempo em horas.

Mota (2006), não observou influência alguma sobre a dinâmica ruminal da fase líquida, os valores observado por ele foram de 9,75 e 8,53 para a TR, de 2,57 e 2,78 para a TxR, de 6,71 e 6,80 para a Tx Fluxo e de 10,72 e 11,82 para a Tx Passagem das dietas com baixa e alta suplementação respectivamente. A TR e Tx Fluxo observadas por Mota (2006) tiveram valores inferiores e TxR e Tx Passagem foram superiores ao relatado no presente experimento.

Os dados obtidos neste estudo mostraram uma tendência da dieta controle sem adição do caroço de algodão maiores valores de taxa de passagem. A dieta formulada com 15% do CA apresentou taxa de passagem 6,3% inferior em relação ao tratamento controle. De forma semelhante, a dieta formulada com 5 e 10% do CA apresentaram taxa de passagem 9,2% inferior ao tratamento sem adição do CA.

O valor médio estimado para a taxa de passagem da fase líquida do tratamento com 15% do CA (8,88%/h) foi inferior ao de 11,7%/h, relatado por Gunter et al. (1990), quando avaliaram a cinética ruminal de bovinos alimentados com feno de gramínea e superior ao de 6,97%/h, obtido por Bürger et al. (2000) em bezerros holandeses alimentados com dietas contendo diferentes níveis de concentrado.

O valor médio da taxa de reciclagem para o tratamento controle foi de 2,28 vezes/dia, próximo ao relatado por Berchielli et al. (1996), de 2 vezes/dia. Bürger et al. (2000), mencionou que, em geral, animais alimentados com volumosos apresentam maiores taxas de passagem da fase líquida que aqueles alimentados com concentrado, provavelmente em virtude da maior produção de saliva. Neste experimento a proporção volumoso:concentrado foi a mesma, e as dietas apresentaram teor de FDN semelhantes, o que corrobora com essa informação pois não houve uma diferença significativa para a taxa de passagem de líquido.

Segundo Colucci et al. (1990) aumentos no consumo de matéria seca estão relacionados a maiores osmolaridade e taxa de passagem, independentemente do nível de concentrado da dieta, principalmente devido a um aumento na salivação, no consumo de água e possivelmente na difusão da água pela parede ruminal. Neste trabalho apesar de não ser observada diferença no consumo de matéria seca, a taxa de passagem da fase líquida foi numericamente superior para o tratamento controle sem adição do caroço de algodão. Desta forma, a inclusão do lipídio em função dos níveis crescentes de caroço de algodão na dieta demonstrou maior influência na taxa de passagem.

Silva (2007) estimou o volume ruminal de vacas em lactação alimentadas com cana-de-açúcar e uréia e suplementadas com concentrado comercial obtidas com o indicador Cobalto – EDTA, sendo que, as estimativas do volume ruminal obtidas com o indicador não diferiu ($P>0,05$), numericamente a estimativa fornecida pelo Cobalto – EDTA foi de 95,67 L. Neste experimento as estimativas obtidas para o volume ruminal utilizando-se o indicador Cobalto – EDTA foram superiores ao reportado por Silva (2007)

3.4 Estimativa de produção fecal através do uso de indicadores em vacas holandês x zebu mantidas em confinamento

Com a impossibilidade de realização da coleta total, para o estudo do consumo das vacas foram realizadas estimativas de produção fecal (kg/dia de MS) com os indicadores externos LIPE® e dióxido de titânio, onde não foi observado, efeito significativo da interação dieta x indicador para este parâmetro.

Na Tabela 21 estão registradas as estimativas médias de produção fecal (kg/dia de MS) obtidas por vacas alimentadas com silagem de cana-de-açúcar e níveis crescentes de caroço de algodão na dieta, segundo os indicadores externos.

Tabela 21- Estimativas médias de produção fecal (kg/d de MS) por vacas mestiças holandês x zebu em lactação confinadas recebendo silagem de cana-de-açúcar e concentrado com níveis de caroço de algodão, obtidas a partir dos indicadores titânio e LIPE®

	Tratamentos				
	0	5%	10%	15%	Média
LIPE®	4,43	4,71	4,77	3,82	4,43^A
Titânio	4,94	4,38	4,76	5,75	4,96^A
Média	4,68^A	4,54^A	4,77^A	4,79^A	

Médias seguidas de letras iguais na mesma linha ou coluna não diferem pelo teste de tukey ($P<0,05$)
Coeficiente de variação = 29,53

O indicador LIPE® estimou uma produção fecal (kg/dia de MS) média de 4,43, independente da dieta oferecida. O indicador externo titânio estimou valores para a produção fecal de 4,96 (kg/dia de MS) valor que foi numericamente superior à produção fecal estimada pelo indicador LIPE®.

A variabilidade nas estimativas médias de produção de MS fecal pode estar relacionada com a variação na qualidade nutricional da porção diária da silagem de cana-de-açúcar oferecida, uma vez que, a cada dia, esta pode ter sido retirada de diferentes locais do silo, tendo principalmente, teores diferentes de umidade em função do local da retirada, mais úmida nas partes mais baixas.

SILVA (2007) comparando o indicador LIPE® e o óxido de cromo na estimativa da produção fecal (kg/dia de MS) por novilhas Holandês x Zebu confinadas recebendo silagem de capim elefante

ou cana-de-açúcar e uréia, com e sem concentrado observou que o indicador óxido de crômico subestimou ($P<0,05$) a produção fecal das novilhas e que as estimativas da produção fecal obtidas com o indicador LIPE[®] diferentes para aquelas obtidas com indicadores internos lignina klason e FDAi.

Ferreira et al. (2009) avaliaram indicadores para estimativa do consumo individual de vacas em lactação alimentadas em grupo recebendo concentrado e silagem de milho, a produção de matéria seca fecal foi determinada pela coleta total de fezes e estimada pelo LIPE[®] os autores inferiram sobre a possibilidade de utilização do LIPE[®] como indicador externo para estimativa da produção de matéria seca fecal em experimentos com animais alimentados em grupo, e que o indicador LIPE[®] estimou valores próximos a coleta total.

O óxido crômico, apesar de apresentar alguns problemas, como recuperação diferente de 100%, variação na recuperação fecal entre animais e concentração nas fezes variável no decorrer do dia, é o indicador externo mais comumente empregado em estudos de digestão por ser de baixo custo e analisado com relativa facilidade (Titgemeyer, 1997). Porém, Titgemeyer et al. (2001) ressaltaram que o cromo não é aprovado pela Food and Drug Administration (FDA) como aditivo alimentar. Assim, o dióxido de titânio (TiO_2) surge como alternativa ao cromo como indicador em estudos de digestão, podendo ser adicionado legalmente ao alimento em quantidades que não excedam a 1,0% do produto final (AAFCO, 1996).

Saliba et al. (2003) compararam as produções fecais estimadas pelo LIPE[®] e obtidas por coleta total em ovinos, coelhos e suínos. Esses autores obtiveram resultados equivalentes entre os métodos, e taxas de recuperação de 94,6% e 102,6% para suínos e 97,9 e 99,3 % para coelhos, ambos submetidos a duas dietas distintas, e 95,9% para ovinos alimentados com feno de Tifton 85.

Na avaliação do bagaço de caju desidratado utilizando os indicadores LIPE[®] e óxido crômico em comparação ao método de coleta total também não foram observadas diferenças significativas quanto à estimativa de produção fecal. Os valores encontrados ficaram bem próximos aos obtidos pela coleta total de fezes. As produções fecais estimadas pelo LIPE[®] e o óxido crômico foram 144,97 e 143,3g/dia de fezes em base da matéria seca, respectivamente.

Na Tabela 22 estão registradas as estimativas de consumo (kg/dia de MS) pelas vacas, obtidas, a partir, da mensuração no cocho (kg de MS oferecida - kg de MS das sobras) e como o auxílio dos indicadores titânio e LIPE[®].

Tabela 22 - Valores médios de consumo (kg/d de MS) por vacas mestiças holandês x zebu em lactação confinadas recebendo silagem de cana-de-açúcar e concentrado com níveis de caroço de algodão, obtidos a partir da mensuração no cocho ou estimado com auxílio dos indicadores titânio e LIPE[®]

	Tratamentos				Média
	0	5%	10%	15%	
Consumo mensurado	12,35	12,23	13,06	10,92	12,14^A
LIPE [®]	12,10	12,49	12,87	10,95	12,10^A
Titânio	13,49	11,60	12,85	16,47	13,60^A
Média	12,64^A	12,11^A	12,93^A	12,78^A	

Médias seguidas de letras iguais na mesma linha ou coluna não diferem pelo teste de Tukey ($P<0,05$)
Coeficiente de variação = 23,46

Neste experimento as estimativas de consumo obtidas com o LIPE[®] e titânio mostraram que estes podem ser indicadores alternativos ao uso do óxido crômico, pois, as estimativas de consumo fornecidas pelos indicadores não diferiram estatisticamente ($P>0,05$) do consumo observado no cocho, em todos os tratamentos avaliados.

Os consumos médios individuais de matéria seca (MS) da dieta controle e com 15% de caroço de algodão foram de 12,35 e 10,92 kg/dia, respectivamente. Independentemente do método para estimativa da produção de matéria seca fecal, as médias dos consumos das dietas foram incluídas nos respectivos intervalos de confiança, podendo-se inferir que, tanto o LIPE[®] como o dióxido de titânio, são adequados para estimativa do consumo individual.

Marcondes et al. (2006), em estudo com novilhas mestiças alimentadas com cana-de-açúcar e concentrado, não verificaram diferença no consumo individual de concentrado estimado por meio do óxido crômico e do dióxido de titânio em comparação ao consumo observado. Os resultados obtidos com o dióxido de titânio confirmam os verificados por Titgemeyer et al. (2001), que demonstraram que esse indicador pode ser utilizado em estudos de consumo em ruminantes, constituindo uma alternativa de indicador para estudos de digestão. Esses resultados permitem inferir ainda que o LIPE® e o dióxido de titânio são adequados para estimar o consumo individual de vacas em lactação e que a escolha depende do preço, da disponibilidade e das condições de análises laboratoriais.

Neste estudo os indicadores utilizados para estimar o consumo individual de vacas alimentadas com silagem de cana-de-açúcar e níveis crescente de caroço de algodão na dieta permitiram estimar com eficiência o consumo individual dos animais, independentemente do grupo de alimentação. Os valores estimados, quando comparados àqueles observados (quantidade média ofertada para cada vaca), foram muito próximos.

A maior variação observada com o uso do dióxido de titânio ocorreu no tratamento com 15% do CA, no qual o consumo foi superestimado em aproximadamente 50,8%. Para o indicador LIPE®, a maior variação no consumo estimado ocorreu nos animais que se alimentavam com a dieta controle, onde o consumo foi subestimado em apenas 2,0%.

Na análise estatística, não houve diferença entre o consumo das dietas estimado pelo dióxido de titânio e LIPE®. Assim o consumo individual das dietas oferecidas refere-se à média dos dois indicadores estudados mais o consumo mensurado no cocho. Na Tabela 23 podem-se observar as estimativas de consumo pelas vacas confinadas, conforme o peso vivo registrado no período experimental.

Tabela 23 - Valores médios de consumo em porcentagem de peso vivo (%PV) por vacas mestiças holandesas x zebu em lactação confinadas recebendo silagem de cana-de-açúcar e concentrado com níveis de caroço de algodão, obtidos a partir da mensuração no cocho ou estimado com auxílio dos indicadores titânio e LIPE®

	Tratamentos				Média
	0	5%	10%	15%	
Consumo mensurado	2,46	2,46	2,68	2,15	2,44^A
LIPE®	2,42	2,51	2,64	2,15	2,43^A
Titânio	2,73	2,34	2,67	3,34	2,77^A
Média	2,54^A	2,44^A	2,66^A	2,55^A	

Médias seguidas de letras iguais na mesma linha ou coluna não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05)
Coeficiente de variação = 25,07

Oliveira et al. (2005) compararam o LIPE® e o óxido crômico usando animais fistulados no esôfago, nas estimativas de excreção fecal e consumo voluntário de bovinos Nelore em pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, comparando ainda diferentes períodos de adaptação para os dois indicadores, (três e sete dias). O consumo estimado de matéria seca foi de 2,12; 2,09; 2,16 e 2,10 (%) do peso vivo para os tratamentos com óxido crômico ou LIPE® para três ou sete dias, respectivamente, não se observando diferenças estatísticas entre os mesmos (P>0,05). Quanto aos períodos de adaptação, três dias foram suficientes para estabilizar a concentração dos indicadores nas fezes dos animais. O LIPE® foi capaz de estimar com sucesso a excreção fecal e o consumo de bovinos de corte criados a pasto.

Vacas leiteiras são animais sociais e formam classes de dominância hierárquica, particularmente no cocho de alimentação, sendo que esta dominância e a competição ocorrem durante os primeiros 30 a 45 minutos após o fornecimento de alimento fresco (Friend e Polan, 1974, Grant e Albright, 1995). Assim, neste experimento a disponibilidade de alimento e o espaço de cocho, não foram limitantes e não influenciaram consumo de matéria seca por parte de vacas submissas.

Segundo Grant e Albright, (1995), a competição por alimento pode se desenvolver quando vacas em lactação são colocadas em grupo e quando o espaço de cocho é insuficiente para que todas se

alimentem ao mesmo tempo. Devries et al.(2004) concluíram que, aumentando o espaço de cocho de 0,5 para 1,0 m/vaca, a agressividade entre os animais diminuiu, permitindo aumento nas atividades de alimentação, principalmente entre os animais submissos. Ressalta-se que não houve limitações quanto a esses aspectos; a alimentação foi fornecida duas vezes ao dia e as sobras foram em torno de 10%.

Na Tabela 24 são apresentadas as médias de digestibilidade aparente dos nutrientes, (%) estimadas pelos indicadores dióxido de titânio e LIPE®.

Tabela 24 - Médias de digestibilidade aparente (%) da matéria seca (MS), energia bruta (EB) e matéria orgânica (MO) por vacas mestiças holandês x zebu em lactação confinadas recebendo silagem de cana-de-açúcar e concentrado com níveis de caroço de algodão, e seus respectivos coeficientes de variação (CV) estimadas pelos indicadores titânio e LIPE®

Níveis do Caroço de Algodão					
	0	5%	10%	15%	Média
Digestibilidade da Matéria Seca (%)					
LIPE®	64,09	61,40	63,50	65,04	63,51 ^A
Titânio	59,31	63,99	63,32	61,76	62,09 ^A
Média	61,70 ^A	62,70 ^A	63,41 ^A	63,40 ^A	
CV = 6,53					
Digestibilidade da Matéria Orgânica (%)					
LIPE®	65,64	63,33	64,74	66,48	65,05 ^A
Titânio	61,10	65,78	64,58	63,38	63,71 ^A
Média	63,37 ^A	64,55 ^A	64,66 ^A	64,93 ^A	
CV = 6,60					
Digestibilidade da Energia Bruta (%)					
LIPE®	65,36	60,51	61,02	64,89	62,95 ^A
Titânio	60,65	62,85	60,66	63,24	61,85 ^A
Média	63,0 ^A	61,68 ^A	60,84 ^A	64,07 ^A	
CV = 4,45					

Médias seguidas de letras iguais na mesma linha ou coluna não diferem pelo teste de tukey (P<0,05)

As digestibilidades aparentes dos nutrientes estimadas utilizando os indicadores LIPE® e dióxido de titânio não foram diferentes significativamente. Lanzetta et al. (2006) também verificaram eficiência do LIPE® como indicador de digestibilidade para eqüinos. Entretanto, quando utilizou o óxido crômico, obtiveram taxa de recuperação do cromo (83%). Esses autores compararam os coeficientes de digestibilidade aparente de dieta completa, e apesar de não explicitar valores de produção de matéria seca fecal, discutem que os resultados de digestibilidade refletiram diretamente as produções fecais estimadas pelos indicadores, portanto, apenas o LIPE® apresentou-se satisfatório.

A digestibilidade é uma função linear da concentração fecal. Uma equação é obtida pela plotagem da digestibilidade *versus* o conteúdo fecal, processo esse aplicado para qualquer constituinte fecal, metabólico, etc. A precisão em estimar a digestibilidade é diminuída pela variabilidade em medidas dos indicadores, mas tais variações não criam uma tendência em aumentar ou diminuir os valores, uma vez que o problema existente é de recuperação (Van Soest, 1994).

4. CONCLUSÕES

O caroço de algodão adicionado a dietas a base de silagem de cana-de-açúcar confeccionada com 1% de uréia promoveu diminuição dos parâmetros de digestibilidade *in situ* da matéria seca (MS) e da fibra em detergente neutro (FDN), dentre os quais, a taxa de degradação (c) e a degradabilidade efetiva (DE). As dietas estudadas baseadas em silagem de cana-de-açúcar e suplementadas com níveis inferiores a 15% do caroço de algodão foram capazes de influenciar a maioria dos parâmetros de fermentação ruminal, a exceção foi observada para proporção molar (%) e concentração ruminal (mMoles/100 ml) do propionato no líquido ruminal das vacas.

A adição de níveis crescentes de caroço de algodão não alterou os parâmetros da cinética de fluxo da fase líquida e sólida. As determinações do consumo através da produção fecal das vacas leiteiras alimentadas com silagem de cana-de-açúcar e níveis crescentes de caroço de algodão estimadas com o auxílio dos indicadores externos LIPE® e dióxido de titânio foram eficazes quando comparados ao consumo observado no cocho, em todas as dietas estudadas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AAFCO. *Official Publication. Association of American Feed Control Officials*, Atlanta, GA. 1996.
- ALLEN, M.S.; MERTENS, D.R. Evaluating constraints on fiber digestion by rumen microbes. *Journal of Nutrition*, London, v. 118, p. 261-270, 1988.
- ANDRADE, J. B.; FERRARI JUNIOR, E.; BRAUN, G. Valor nutritivo da silagem de cana-de-açúcar tratada com uréia e acrescida de rolão-de-milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, n. 9, p. 1169-1174, 2001.
- AOAC International, *Official methods of analysis of AOAC International*. 16.ed. Arlington: AOAC International, 1995, v.1.
- ARIELI, A. Whole cottonseed in dairy cattle feeding: a review. *Animal Feed Science and Technology*, v. 72, n. 1-2, p. 97-110, 1998.
- AROEIRA, L.J.M. et al. Degradabilidade no rúmen e taxa de passagem da cana-de-açúcar mais uréia, do farelo de algodão e do farelo de arroz em novilhos mestiços europeu x zebu. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 552- 564, 1993.
- AROEIRA, L.J.M.; LOPES, F.C.F.; DAYRELL, M.S. et al. Digestibilidade, degradabilidade e taxa de passagem da cana-de-açúcar mais uréia e do farelo de algodão em vacas mestiças Holandês x Zebu em lactação. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, v.24, p.1016-1026, 1995.
- BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. *Método de análise química de plantas* (IAC. Boletim Técnico, n. 78).
- BATEMAN, H.G.; JENKINS, D. Influence of soybean oil in higher fiber diets fed to nonlactating cows on ruminal unsaturated fatty acids and nutrient digestibility. *Journal of Animal Science*, v.81, n.9, p.2451-2458, 1998.
- BENEDETTI, E. *Atributos de três gramíneas tropicais, parâmetros ruminais e produção de leite em vacas mestiças mantidas a pasto*. 1994. 173f. Tese (Doutorado) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, 1994, Belo Horizonte.
- BERCHIELLI, T.T.; RODRIGUEZ, N.M.; GONÇALVES, L.C. Polietilenoglicol e cobalto-EDTA como marcadores da fase líquida ruminal. *Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.48, p.463-471, 1996.
- BERGMAN, E.N. Energy contributions of volatile fatty acids from gastrointestinal tract in various species. *Physiological Reviews*, v.70, n.2, p.567-590. 1990.
- BOIN, C.; TEDESCHI, L. O. Cana-de-açúcar na alimentação de gado de corte. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 5., 1993, Piracicaba. *Anais...*Piracicaba: FEALQ, 1993. p. 107-126.
- BORGES, A. L. C. C. 1999. Controle da ingestão de alimentos. *Cadernos Técnicos da Escola de Veterinária, UFMG*, v. 2, p. 67-69.
- BORGES, I. *Influência da dieta na degradabilidade in situ do caroço de algodão integral, e do bagaço de cana-de-açúcar auto-hidrolisado, na dinâmica da fermentação ruminal e na cinética sangüínea de ovinos*. 130 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) – UFMG, Belo Horizonte, 1997.

BOWMAN, J.G.P.; SOWELL, B.F. Delivery method and supplement consumption by grazing ruminants: a review. *Journal of Animal Science*, v.75, n.2, p.543-550, 1997.

BÜRGER, P.J.; PEREIRA, J.C.; QUEIROZ, A.C. et al. Taxas de passagem e cinética da degradação ruminal em bezerros holandeses alimentados com dietas contendo diferentes níveis de concentrado. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.29, p.225-235, 2000.

BURNS, J.C.; FISHER, D.S.; MOORE, J.E. et al. Preparation of chromium mordanted fiber. In: *Research techniques and numerical methods in grassland and forage science*, USDA - Agricultural Research Service/North Carolina State University, 2001.

CAMPOS, W. E. ; SATURNINO, H. M.; SOUZA, B. M.; BORGES, I. Degradabilidade *in situ* da silagem de quatro genótipos de sorgo com e sem tanino. I - Matéria seca e proteína bruta. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 55, n. 2, p. 209-215, 2003.

CAMPOS, W.E.; BENEDETTI, N.M.; RODRÍGUES SALIBA, E.S.; BORGES, A.L.C.C.; LACHICA, M.; LOPEZ, M. 2007. Cinética ruminal de vacas leiteiras a pasto consumindo diferentes gramíneas tropicais *Arquivo de Zootecnia*, v. 56, p. 829-837.

CARNEIRO, J. C.; OLIVEIRA, E.; SILVA, J. O.; VIANA, A. C.; FERREIRA, J.; BORDONI, C. Avaliação da degradabilidade *in situ* da matéria seca e da fibra em detergente neutro de silagens de milho (*Zea mays*), sorgo (*Sorghum bicolor*) e girassol (*Helianthus annuus*) In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., 2002, Recife. *Anais...* Recife: SBZ, 2002. CD-ROM.

CASTRO NETO, A.G. *Avaliação de silagens de cana-de-açúcar submetidas a diferentes tratamentos*. Belo Horizonte, 2003, 53p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais.

CHIZZOTTI M.L., et al. Consumo, digestibilidade e excreção de uréia e derivados de purinas em vacas de diferentes níveis de produção de leite. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.36, n.1, p.138-146. 2007.

CHURCH, D. C. *Digestive Physiology and Nutrition of Ruminants*. Vol. 1 - Digestive Physiology. 3. ed. Oxford Press Inc., 1979. p.350

CLARY, E.M.; BRANDT, R.T.; HARMON, D.L. et al. 1993. Supplemental fat and ionophores in finishing diets: feedlot performance and ruminal digesta kinetics in steers. *Journal Animal Science*, v.71, p. 3115-3123.

COLUCCI, P. E. *Comparative digestion and digesta kinetics in sheep and cattle*. Guelph:University of Guelph, 1984, 221p. Thesis (Ph.D. Thesis Animal Science) - University of Guelph, 1984.

COLUCCI, P. E.; MACLEOD, G. K.; GROVUM, W. L. et al. Digesta kinetics in sheep and cattle fed diets with different forage to concentrate ratios at high and low intakes. *Journal Dairy Science*, v. 73, n. 8, p. 2143-2156. 1990.

COLUCCI, P.E.; CHASE, L.E.; VAN SOEST, P.J. Feed intake, apparent diet digestibility, and rate of particulate passage in dairy cattle. *Journal Dairy Science*, v.65, p.1445-1456, 1982.

DEVRIES, M.A.; Von KEYSERLINGK, G.; WEARY, D.M. Effect of feeding space on the inter-cow distance, aggression, and feeding behavior of free stall housed lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.87, n.5, p.1432-1438, 2004.

DHANOA, M.S.; SIDDONS, R.C.; FRANCE, J. et al. 1985. A multicompartimental model to describe marker excretion patterns in ruminant feces. *British Journal of Nutrition*, v. 53, p. 663-671.

ELYAS, A.C.W. 2007. *Consumo de matéria seca e produção de leite de vacas “Holandês” manejadas sob pastejo e utilização do modelo Cornell net carbohydrate and protein system*. Tese Doutorado. Universidade Federal de Lavras. Lavras-MG. 147 pp.

EZEQUIEL, J.M.B. et al. Degradabilidade da matéria seca e pH ruminal em bovinos alimentados com cana-de-açúcar in natura, hidrolisada ou hidrolisada fenada. In: REUNIÃO ANUAL DA SBZ, 38., 2001, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: SBZ, 2001.

FERREIRA, M. A.; VALADARES FILHO, S. C.; SILVA, L. F. C.; NASCIMENTO, F. B.; DETMANN, E.; VALADARES, R. F. D. Avaliação de indicadores em estudos com ruminantes: estimativa de consumos de concentrado e de silagem de milho por vacas em lactação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, n.8, p.1574-1580, 2009.

FORBES, J.M. *Voluntary food intake and diet selection in farm animals*. Wallingford: CAB International, 1995. 532p.

FRANCE J.; SIDDONS, R.C.; DHAONA, M.S. et al. Adaptation of compartmental schemes of interpreting isotopedilution data on volatile fatty acids metabolism in the rumen to the nonsteady state and for single dose injection. *Journal of Theoretical Biology*, v.153, n.2, p.247- 254. 1991.

FREITAS, A.W.P.; PEREIRA, J.C.; ROCHA, F.C.; DETMANN, E.; BARBOSA, M.H.P.; RIBEIRO, M.D.; COSTA, M.G. Avaliação da divergência nutricional de genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). *Revista Brasileira de Zootecnia*. v.35, n.1, p. 229-236, 2006.

FRIEND, T.H.; POLAN, C.E. Social rank, feeding behavior, and free stall utilization by dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, v.57, n.4, p.1214-1224, 1974.

GAUSS, C. L. B.; FURLONG, J. Comportamento de larvas infestantes de *Boophilus microplus* em pastagem de *Brachiaria decumbens*. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.32, n.3, p.467-472, 2002.

GERON, L.J.V. *Produção e utilização da silagem de resíduo da filetagem de tilápia na alimentação de ruminantes*. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2003. 88p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual de Maringá, 2003.

GIMENES, A.L.G. et al. Degradabilidade in situ de silagens de milho confeccionadas com inoculante bacteriano e/ou enzimático. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, Maringá, v. 28, n. 1, p. 11- 16, 2006.

GRANT, R.J.; ALBRIGHT, J.L. Feeding behaviour and management factors during the transition period in dairy cattle. *Journal of Animal Science*, v.73, n.9, p.543-550, 1995.

GRANZIN, B.C.; Dryden, G.M. 2002. The effects of level of dietary protein on the milk production and rumen physiology of dairy cows fed a diet based on tropical grass hay. *Tropical Grass.*, 36: 239-247.

GROVUM, W. L.; WILLIAMS, V. J. Rate of passage of digesta in sheep. 4. Passage of marker through the alimentary tract and the biological relevance of rate-constants derived from the changes in concentration of marker in faeces. *British Journal of Nutrition*, v. 30, n. 2, p. 313-329. 1973.

GUNTER, S.A.; KRYSL, L.J.; JUDKINS, M.B. et al. Influence of branched-chain fatty acid supplementation on voluntary intake, site of digestion, ruminal fermentation, digesta kinetics and microbial synthesis in beef heifers consuming grass hay. *Journal of Animal Science*, v.68, p.2885-2892, 1990.

HOBSON, P.N., STEWART, C.S. *The rumen microbial ecosystem*. 1ed. London: Blackie Academic and Professional. 1997. 340p.

HOOVER, W.H.; STOKES, S.R. Balancing carbohydrates and proteins for optimum rumen microbial yield. *Journal of Dairy Science*, v.74, p.3630-3644, 1991.

HORNER, J.L. *et al.* Effects of niacin and whole cottonseed on ruminal fermentation, protein degradability, and nutrient digestibility. *Journal Dairy Science*, Savoy, v.71, p.1239-1247, 1988.

HUNGATE, R.E. *The rumen and its microbes*. London, Academic Press, 1966, 533p.

ÍTAVO, L.C.V.; SANTOS, G.T.; JOBIM, C.C. *et al.* Degradabilidade das silagens de bagaço de laranja e de milho. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37, 2000, Viçosa, MG. *Anais...* Viçosa: SBZ, 2000.

KIMURA, F. T.; MILLER, V. L. Improved determination of chromic oxid in calf feed and feces. *Journal Agriculture Food Chemistry*, London, v. 5, n. 2, p. 216, 1957.

KLUSMEYER, T.H.; LYNCH, G.L.; CLARK, J.H. Effects of calcium salts of fatty acid and proportion of forage in diets on ruminal fermentation and nutrient flow to duodenum of cows. *Journal of Dairy Science*, v.74, n.7, p.2220-2232, 1991.

LANA, R.P. *Nutrição e alimentação animal (mitos e realidades)*. Viçosa: UFV, 2005. 344p.

LANZETTA, V, A, S.; RESENDE, A. S. C.; SALIBA, E. O. S.; Lana, A.M.Q; SAMPAIO, Ivan Barbosa Machado; RODRIGUEZ, Norberto Mário; MOSS, P, B ; ANDRADE, M.G. Comparação entre coleta total, óxido crômico e LIPE, na determinação da digestibilidade dos nutrientes, em eqüinos(1). In: 43 Reunião Anual da SBZ, 2006, João Pessoa. *Anais...* 43ª. Reunião Anual da SBZ. João Pessoa, Paraíba: SBZ, 2006. v. 1. p. 1-3.

LENG, R.A. Factors affecting the utilization of “poor-quality” forages by ruminants particularly under tropical conditions. *Nutrition Reserve Review*, Bethesda v.3, n.3, p.277-303, 1990.

LENG, R.A.; PRESTON, T.R. Sugar cane for cattle production: present constraints, perspectives and research priorities. *Tropical Animal Production*, v.1, p.1-22, 1976.

LICITRA, G.; HERNANDEZ, T.M.; van SOEST, P.J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*, v.57, p.347-358, 1996.

LIMA, M.L.M. *Análise Comparativa da Efetividade da Fibra de volumosos e subprodutos*. 2003. 131f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

LOPES, F.C.F.; OLIVEIRA, J.S.; PACIULLO, D.S.C.; AROEIRA, L.J.M.; DERESZ, F.; MORENZ, M.J.F.; DUQUE, A.C.A.; ELYAS, A.C.W. Modelagem comparativa da cinética da fase sólida do capim-elefante picado, suplementado ou não com concentrados, e fornecido a vacas Holandês x Zebu em lactação. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.60, n.3, p.675-681, 2008.

LOPES, F.C.F.; RODRIGUEZ, N.M.; AROEIRA, L.J.M. *et al.* Modelagem comparativa da cinética de fluxo da fase sólida do capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schumack) consumido sob pastejo por vacas mestiças Holandês x Zebu em lactação. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.55, p.702-709, 2003.

MAENG, W. J.; BALDWIN, R. L. Dynamics of fermentation of purified diet and microbial growth in the rumen. *Journal Dairy Science*, v. 59, n. 4, p. 636-642. 1976.

MAGALHÃES A. L. R., et al. Cana-de-açúcar em substituição à silagem de milho em dietas para vacas em lactação: parâmetros digestivos e ruminais. *Revista Brasileira Zootecnia*, v.35, n.2, p.591-599, 2006.

MARCONDES, M.I.; VALADARES FILHO, S.C.; BRITO, A.F. et al. Uso de diferentes indicadores para estimar a produção de matéria seca fecal e avaliar o consumo individual de concentrado e volumoso em novilhas. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2006. p.1-5.

McDONALD, P.; HENDERSON, A.R.; HERON, S.J.E. *The biochemistry of silage*. 2.ed. Marlow: Chalcomb Publication, 1991. 340p.

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

MELO, A.A.S.; FERREIRA, M.A.; VÉRAS, A.S.C. et al. Carço de algodão como fonte de fibra e proteína em dietas à base de palma forrageira para vacas em lactação: digestibilidade. *Acta Scientiarum Animal Sciences*, v.27, n.3, p.355-362, 2005.

MENDONÇA, S.S., et al. Consumo, digestibilidade aparente, produção e composição do leite e variáveis ruminais em vacas leiteiras alimentadas com dietas à base de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.33, n.2, p.481-492. 2004.

MERTENS, D.R.; ELY, L.O. Relationship of rate and extent of digestion to forage utilization – a dynamic model evaluation. *Journal of Animal Science*, v.54, p.895-905, 1982.

MOORE, J.A.; POND, K.R.; POORE, M.H. et al. Influence of model and marker on digesta kinetic estimates for sheep. *Journal Animal Science*, v.70, p.3528-3540, 1992.

MOTA M.F. *Desempenho, parâmetros ruminais e taxa de passagem em vacas da raça holandesa em pastagem de coastcross*. 2006. 148p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá. 2006.

MOULD, F.L. and ORSKOV, E.R. 1984. Manipulation of rumen fenid pH and influence on cellulose in sacco, dry matter degradation and the rum microflora of sheep offered either hay or concentrate. *Animal Feed Science and Technology*, v.10, p. 1-14.

MYERS, W.D.; LUDDEN, P.A.; NAYIGIHUGU, V. et al. Thecnical Note: a procedure for the preparation and quantitative analysis of samples for titanium dioxide. *Journal of Animal Science*, v.82, n.1, p.179-183, 2004.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL- NRC. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7.ed. Washinton, D.C.: National Academy Press,2001, 381p.

NOCEK, J. E. *In situ* and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: a review. *Journal of Dairy Science*, v. 71, n. 5, p. 2051-2069, 1988.

NUSSIO, L.G.; CAMPOS, F.P.; DIAS, F.N. Importância da qualidade da porção vegetativa no valor alimentício da silagem de milho. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, 2001, Maringá. *Anais...* Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2001. p.127-145.

NUSSIO, L.G.; SCHMIDT, P. Tecnologia de produção e valor alimentício de silagens de cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, 2., 2004, Maringá. *Anais...* Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2004. p.1-33.

OLIVEIRA M.V.M., et al. Parâmetros ruminal, sanguíneo e urinário e digestibilidade de nutrientes em novilhas leiteiras recebendo diferentes níveis de monensina. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.34, n.6, p.2143-2154. 2005.

OLOFSSON, J. Competition for total mixed diets fed ad libitum intake using one or four cows per feeding station. *Journal of Dairy Science*, v.82, n.1, p. 69-79, 1999.

ØRSKOV, E. R.; McDONALD, I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation weighted according to rate of passage. *Journal of Agriculture Science*, v. 92, n. 4, p. 499-503, 1979.

OWENS, F.N.; GOETSCH, A.L. Ruminal fermentation. In: CHURCH, D.C. (Ed.). *The ruminant animal digestive physiology and metabolism*. New Jersey: Prentice Hall, 1988. p.145-171.

OWENS, F.N.; HANSON, C.F. External and internal markers for appraising site and extent of digestion in ruminants. *Journal of Dairy Science*, v.75, p.2605-2617, 1992.

PALMQUIST, D.L.; Digestibility of lint fiber and whole oilseeds by ruminal microorganisms. *Animal Feed Science and Technology*, v.56, n.3-4 p.231-242, 1995.

PEDROSO, A.F. *Aditivos químicos e microbianos como inibidores da produção de etanol em silagens de cana-de-açúcar (Saccharum officinarum L.)*. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2003. 120p. Tese (Doutorado em agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2003.

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

PIRES A.V. *et al.* C.Effects of heat treatment and physical processing of cottonseed on nutrient digestibility and production performance by lactating cows. *Journal Dairy Science*, Savoy, v.80, p.1685-1694. 1997.

PONTES, R. A. M. *Cana-de-açúcar “in natura” ou ensilada com óxido de cálcio e uréia em dietas de ovinos*. 2007. 60 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PRIGGE, E.C.; VARGA, G.A.; VICINI, J.L. et al. Comparison of ytterbium chloride and chromium sesquioxide as fecal indicators. *Journal of Animal Science*, v.53, n.6, p.1629-1633, 1981.

QUEIROZ, O.C.M.; NUSSIO, L.G.; SANTOS, M.C.; et al. Sugarcane silage compared with traditional roughage sources on performance of dairy cows. In: INTERNACIONAL SILAGE CONFERENCE, 14., 2005. Belfast. *Proceedings...* Belfast: Wageningen Academic Publishers, 2005. p. 257.

RIBEIRO, C. G. S. *Níveis crescentes de óleo de soja em dieta baseada em capim-elefante (Pennisetum purpureum Schumack) picado sobre os parâmetros da fermentação e cinética ruminal, composição e perfil de ácidos graxos do leite de vacas mestiças*. 2009. 118 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

RIBEIRO, K.G.; GARCIA, R.; PEREIRA, O.G. et al. 2001. Consumo e digestibilidades aparentes total e parcial, de nutrientes, em bovinos recebendo rações contendo feno de capim tifton 85 de diferentes idades de rebrota. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 30, n. 2, p. 533-540.

SALIBA, E. O. S.; RODRIGUEZ, N. M.; VELOSO, DORILA PILO; MORAIS, S. A. L. Artigo de revisão. Ligninas-Métodos de isolamento e caracterização química. *Ciência Rural*, SANTA MARIA, v. 31, n. 5, p. 1-20, 2001.

SALIBA, E.O.S. *Caracterização química e microscópica das ligninas dos resíduos agrícolas de milho e de soja expostos à degradação ruminal e seu efeito sobre a digestibilidade dos carboidratos estruturais*. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1998. 236p. Tese (Doutorado em Ciência Animal) - Universidade Federal de Minas Gerais, 1998.

SALIBA, E.O.S. Mini Curso sobre o uso de indicadores. In: Teleconferência sobre indicadores em nutrição animal, 1, 2005, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte. Escola de Veterinária/UFG, 2005. p. 23-25.

SALIBA, E.O.S.; RODRIGEZ, N.M.; PILO-VELOSO, D. et al. Estudo comparativo da coleta total com a lignina purificada como indicador de digestibilidade para ovinos em experimento com feno de Tifton 85. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 40., 2003, Santa Maria. *Anais...* Santa Maria: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2003. (CD-ROM).

SALINAS, J. G.; GARCIA, R. *Métodos químicos para el análisis de suelos ácidos y plantas forrajeras*. Cali. Colômbia: Centro Internacional de Agricultura Tropical/Programa de Pastos Tropicales, 1985. 83 p.

SAMPAIO, I. B. M. *Experimental designs and modeling techniques in the study of roughage degradation in rumen and growth of ruminants*. 1988. 214 f. Tese (Doutorado em Fisiologia) – Reading, Univesity of Reading, 1988.

SARTI, L. L.; JOBIM, C. C.; BRANCO, A. F.; JACOBS, F. Degradação ruminal da matéria seca, da proteína bruta e da fração fibra de silagens de milho e de capim-elefante. *Ciência Animal Brasileira*, v. 6, n. 1, p. 1-10, 2005.

SATTER, L.D., ROFFLER, R.E. 1975. Nitrogen requirement and utilization in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 58: 1219-1237.

SCHMIDT, P. *Perdas fermentativas na ensilagem, parâmetros digestivos e desempenho de bovinos de corte alimentados com rações contendo silagens de cana-de-açúcar*. 2006. Tese (Doutorado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

SHINGFIELD, K.J.; AHVENJÄRVI, S.; TOIVONEN, V.; VANHATALO, A.; HUHTANEN, P.; GRIINARI, J.M. Effect of incremental levels of sunflowerseed oil in the diet on ruminal lipid metabolism in lactating cows. *British Journal of Nutrition*, v.99, p.971-983, 2008.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. *Análises de alimentos (métodos químicos e biológicos)*. 3.ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2002. 235p.

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

SNIFFEN, C.J., ROBINSON, P.H. 1987. Microbial growth and flow as influenced by dietary manipulations. *Journal Dairy Science*, v. 70, p.425-441.

SNIFFEN, C.J; O'CONNOR, J.D.; VAN SOEST, P.J. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal Science*, v.70, n.12, p.3562-3577, 1992.

SOARES C.A., et al. Produção de Proteína Microbiana e Parâmetros Ruminais em Vacas Leiteiras Alimentadas com Farelo de Trigo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.34, n.1, p.345-350. 2005.

SOARES, J.P.G. 2002. *Fatores limitantes do consumo de capim-elefante cv. Napier utilizando vacas leiteiras confinadas*. Tese Doutorado. Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, SP. 110 pp.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEMS - SAS. **User's guide**. Version 8. 1.ed. Cary: 2001. 956p.

TEIXEIRA, J. C.; SILVA, E. A.; BRAGA, R. A. N.; MORON, I. R. Cinética da digestão ruminal do caroço de algodão e do grão de milho em diferentes formas físicas em vacas holandesas. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.26, n.4, p.842-845, jul./ago., 2002.

TILLEY, J.M.A.; TERRY, R.A. A two stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Journal British Grassland Society*, v.18, n.2, p.104-111, 1963.

TITGEMEYER, E.C. Design and interpretation of nutrient digestion studies. *Journal of Animal Science*, v.75, n.8, p.2235-2247, 1997.

TITGEMEYER; E.C.; ARMENDARIZ, C. K.; BINDEL, D.J. et al. Evaluation of titanium dioxide as a digestibility marker for cattle. *Journal of Animal Science*. v. 79, p.1059-1063, 2001.

UDÉN, P., COLUCCI, P. E., VAN SOEST, P. J. Investigation of chromium, cerium and cobalt as markers in digesta rate of passage studies. *Journal Science Food Agriculture*, v. 31, n. 6, p. 625-632, 1980.

VALADARES FILHO, S. de C.; MAGALHÃES, K.A.; ROCHA JÚNIOR, V.R. et al. *Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos para Bovinos*. UFV. 2ª ed. 2006, 329p.

VALADARES FILHO, S.C. et al. Degradabilidade in situ da matéria seca e proteína bruta de vários alimentos em vacas em lactação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 19, n. 6, p. 512-522, 1990.

VALVASORI, E.; LUCCHI, C.S.L.; ARCARO, J.R.P. et al. Avaliação da cana-de-açúcar em substituição à silagem de milho para vacas leiteiras. *Brazilian Journal of Veterinarian Research in Animal Science*, v.32, n.4, p.224-228, 1995.

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

VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal Dairy Science*, v.74, n.10, p.3583-3597, 1991.

WERNERSBACH FILHO H.L., et al. Variáveis ruminais, concentração de uréia plasmática e excreções urinárias de nitrogênio em vacas leiteiras alimentadas com concentrado processado de diferentes formas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.35, n.3, p.1236-1241. 2006.

YANG, W.Z.; BEAUCHEMIN, K.A.; RODE, L.M. Effects of an enzyme feed additive on extent of digestion and milk production of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.82, p.391-403, 1999.