**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Aditivos químicos para o tratamento da cana-de-açúcar *in natura* e
ensilada (*Saccharum officinarum* L.)**

Mateus Castilho Santos

**Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Agronomia. Área de concentração:
Ciência Animal e Pastagens**

**Piracicaba
2007**

Mateus Castilho Santos
Engenheiro Agrônomo

**Aditivos químicos para o tratamento da cana-de-açúcar *in natura* e ensilada
(*Saccharum officinarum* L.)**

Orientador:
Prof. Dr. **LUIZ GUSTAVO NUSSIO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Agronomia. Área de concentração: Ciência
Animal e Pastagens

**Piracicaba
2007**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Santos, Mateus Castilho

Aditivos químicos para o tratamento da cana-de-açúcar *in natura* e ensilada
(*Saccharum officinarum* L.) / Mateus Castilho Santos. - - Piracicaba, 2007.
112 p.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.
Bibliografia.

1. Aditivos alimentares para animal 2. Cana-de-açúcar 3. Fermentação 4. Silagem
5. Valor nutritivo I. Título

CDD 636.08552

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

“Quando as dificuldades são terríveis, os desafios se tornam apaixonantes.”

Winston Churchill.

Aos meus pais,

Valter da Silva Santos e Maria Aparecida Castilho Santos

pelo incentivo, amor, carinho e educação durante toda a minha vida.

À minha irmã,

Mariana Castilho Santos

pelo amor, paciência e tolerância

DEDICO

Aos meus avós

pelos exemplos de seriedade, trabalho e esforço.

A todos meus familiares

pelas alegrias, amor e oportunidade de convivência.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (USP/ESALQ), especialmente ao Departamento de Zootecnia.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Prof. Dr. Luiz Gustavo Nussio pela orientação na elaboração e condução do projeto e, principalmente, pelo companheirismo, amizade e exemplo de dedicação profissional.

Ao Prof. Dr. Wilson R. S. Mattos pelo auxílio na condução do projeto e pelo exemplo de figura humana.

Ao Prof. Dr. Gerson Barreto Mourão pelas sugestões e auxílio nas análises estatísticas.

À Dra. Carla M. Bittar pelo constante auxílio nas atividades laboratoriais e pelo acompanhamento na condução do projeto.

Aos colegas de trabalhos Patrick Schmidt, Lucas José Mari, José Leonardo Ribeiro, Daniel de Paula Sousa, Maity Zopollatto, Oscar César Muller Queiroz, Mariele Camargo, Vanessa Pillon, Marta Junqueira, Sérgio Gil de Toledo Filho, Jhones Onorino Sarturi, Jose Guillermo Muñoz Maldonado e Ana Luiza B. Schogor pela fundamental contribuição na condução do projeto e pelo exemplo de profissionalismo.

Aos amigos Fernando M. J. Franco e César Yuzo Kanashiro pela amizade, convívio e auxílio na condução do projeto.

Aos amigos da República Kurva d-rio pela amizade e pelos momentos de descontração.

A todos os funcionários do Departamento de Zootecnia, especialmente, ao Carlos C. Alves e Tânia Aparecida Ferri Armelindo.

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO	9
2 AVALIAÇÃO DE ADITIVOS QUÍMICOS NO PERFIL DA FERMENTAÇÃO, VALOR NUTRITIVO, PERDAS E ESTABILIDADE AERÓBIA DE SILAGENS DE CANA-DE- AÇÚCAR (<i>Saccharum officinarum</i> L.)	11
Resumo	11
Abstract	12
2.1 Introdução	13
2.2 Desenvolvimento	14
2.2.1 Revisão Bibliográfica	14
2.2.1.1 Silagem de cana-de-açúcar: padrão fermentativo e perdas de matéria seca.....	14
2.2.1.2 Valor nutritivo de silagens de cana-de-açúcar	17
2.2.1.3 Aditivos na ensilagem de cana-de-açúcar	19
2.2.1.3.1 Agentes alcalinizantes ou hidrolíticos.....	20
2.2.1.3.2 Aditivos nutrientes	23
2.2.1.4 Estabilidade aeróbia de silagem de cana-de-açúcar	24
2.2.2.1 Tratamentos adotados.....	26
2.2.2.2 Caracterização dos aditivos	27
2.2.2.3 Confeção da silagem	28
2.2.2.4 Abertura dos silos experimentais	28
2.2.2.5 Avaliação das perdas durante o período de estocagem.....	29
2.2.2.5.1 Determinação da produção de efluente.....	29
2.2.2.5.2 Estimativas das perdas gasosas	29
2.2.2.5.3 Determinação da perda total de matéria seca	30
2.2.2.6 Ensaio de estabilidade aeróbia	31
2.2.2.7 Análise estatística	35
2.2.3 Resultados e Discussão	36
2.2.3.1 Caracterização na cana-de-açúcar no momento da ensilagem	36

2.2.3.2 Avaliação das perdas durante o processo de conservação	37
2.2.3.3 Perfil fermentativo das silagens.....	40
2.2.3.4 Valor nutritivo das silagens no momento da abertura	45
2.3 Conclusões.....	64
REFERÊNCIAS.....	66
3 AVALIAÇÃO DE ADITIVOS QUÍMICOS NO VALOR NUTRITIVO, ESTABILIDADE	
AERÓBIA E PERDAS DE MATÉRIA SECA DA CANA-DE-AÇÚCAR <i>IN NATURA</i>	
Resumo	74
Abstract	75
3.1 Introdução	76
3.2 Desenvolvimento	77
3.2.1 Revisão Bibliográfica	77
3.2.1.1 Composição e processo de formação da parede celular.....	77
3.2.1.2 Mecanismo de ação dos agentes alcalinizantes sob as frações da parede celular	80
3.2.1.3 Modificações fisiológicas da cana-de-açúcar após a colheita	81
3.2.1.4 Aspectos nutricionais da cana-de-açúcar.....	82
3.2.2 Material e métodos.....	84
3.2.2.1 Tratamentos adotados e delineamento experimental.....	84
3.2.2.2 Ensaio de estabilidade aeróbia	84
3.2.2.3 Determinação das perdas em aerobiose.....	85
3.2.2.4 Avaliação químico-bromatológica.....	86
3.2.2.5 Análise estatística	88
3.2.3 Resultados e Discussão	88
3.2.3.1 Estabilidade aeróbia da cana-de-açúcar tratada com cal virgem	88
3.2.3.2 Composição químico-bromatológica da cana-de-açúcar <i>in natura</i> tratada com cal virgem	94
3.3 Conclusões.....	106
REFERÊNCIAS.....	108

RESUMO

Aditivos químicos para o tratamento da cana-de-açúcar *in natura* e ensilada (*Saccharum officinarum* L.)

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de aditivos químicos sobre as perdas de matéria seca, composição química, valor nutritivo e estabilidade aeróbia da cana-de-açúcar *in natura* ou ensilada. No primeiro experimento, a cana-de-açúcar foi ensilada em silos laboratoriais. O experimento foi desenvolvido em delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições por tratamento. Os tratamentos avaliados foram: *L. buchneri*, cal virgem e calcário em doses de 1,0 e 1,5% da MV e gesso a 1,0% da MV, diluídos em 40L de água por tonelada de massa verde. Após a abertura dos silos, foram realizadas avaliações de perdas, estabilidade aeróbia, valor nutritivo e composição química. Os tratamentos contendo fontes de CaO ou CaCO₃ apresentaram maior recuperação de matéria seca e menores perdas totais e gasosas. Nesses tratamentos também foram observados menor teor de etanol e maior concentração de ácido láctico e de carboidratos solúveis. Para as variáveis de valor nutritivo, as silagens tratadas com esses aditivos apresentaram alto teor de cinzas, menor teor de fibra, maior coeficiente de digestibilidade e pequena alteração da fração protéica. As silagens de cana-de-açúcar com gesso ou *L. buchneri* apresentaram desempenho semelhante a silagem controle para as variáveis acima mencionadas. No ensaio de estabilidade aeróbia, a silagem aditivada com 1,5% de cal virgem apresentou desempenho superior e semelhante as silagens com *L. buchneri* e gesso. De forma geral, durante a fase anaeróbia as silagens tratadas com fontes de CaO ou CaCO₃ apresentaram desempenho superior. Entretanto, na fase aeróbia, somente o tratamento contendo 1,5% de cal virgem manteve desempenho satisfatório. O segundo experimento avaliou o tratamento em montes da cana-de-açúcar picada *in natura* com doses de cal virgem durante dez dias de exposição aeróbia. O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições por tratamento e em arranjo fatorial 2x4 com medidas repetidas no tempo. O fatorial foi composto por dois modos de aplicação e quatro doses do aditivo (0, 0,5, 1,0 e 1,5% da MV). Durante o ensaio foram realizadas avaliações de estabilidade aeróbia, valor nutritivo e composição química. Para as variáveis de estabilidade aeróbia, a utilização de cal virgem foi efetiva em evitar o aquecimento da massa de forragem e reduzir as perdas de matéria seca. Para a avaliação químico-bromatológica, não foi constatada diferença nos teores de CHO'S entre os tratamentos. O tratamento da cana-de-açúcar com cal virgem elevou o pH e a fração mineral da forragem. Os maiores teores de proteína bruta foram observados para a forragem não aditivada, contudo os valores obtidos para os demais tratamentos estão dentro da amplitude relatada na literatura. Doses de 1,0% e 1,5% do aditivo foram efetivas em evitar a elevação nos teores de FDN e FDA da cana-de-açúcar. A fração hemicelulose sofreu solubilização parcial imediatamente após a aplicação do aditivo. Os maiores coeficientes de DVIVMS e DVIVMO foram observados para as doses altas do aditivo, no modo de aplicação a seco, principalmente nas primeiras horas após o tratamento.

Palavras-chave: Carbonato de cálcio; Carboidratos solúveis; Etanol; Óxido de cálcio

ABSTRACT

Chemical additives for the treatment of green chopped and ensiled sugarcane

The objective of this trial was to evaluate the effects of chemical additives over the dry matter losses, chemical composition, nutritive value and aerobic stability of green chopped and ensiled sugarcane. In the first trial, the sugar cane was ensiled in experimental silos. The trial was carried out in a completely randomized experimental design with four replicates per treatment. The treatments evaluated were: *L. buchneri*, CaO and CaCO₃, 1.0 e 1.5% and Ca(SO₄)₂, 1.0% (wet basis), all of them diluted to 40L of water per ton of fresh forage. After the silos were opened, the following variables were analyzed: losses, aerobic stability, nutritive value and chemical composition. Higher recovery rates and lower dry matter losses and gaseous production were observed for the silages containing CaO or CaCO₃. In these treatments were also observed lower ethanol production and higher lactic acid and water soluble carbohydrates contents. The analysis of nutritive value showed that the utilization of CaO and CaCO₃ increased the ash content, diminished the fibrous portion, improved the organic and dry matter digestibility and resulted in small changes of the crude protein content. The utilization of *L. buchneri* and Ca(SO₄)₂ resulted in silages similar to the control treatment for these variables. In the aerobic stability assay, only the silage containing 1.5% of CaO maintained the best performance. The silages treated with *L. buchneri* or Ca(SO₄)₂ showed similar performance. In summary, the silages treated with CaO or CaCO₃ showed the best performance in the anaerobic phase and in the aerobic assay, only the treatment containing 1.5% of CaO maintained the positive performance across both assay. In the second trial, the green chopped sugar cane was treated with doses of CaO in an aerobic assay during ten days. The trial was carried out as a completely randomized experimental design with four replicates in a factorial design with repeated measures. The factorial was composed by two application methods and by increasing doses of CaO (0, 0.5, 1.0 e 1.5% in FF). The following variables were analyzed during the assay: aerobic stability, nutritive value and chemical composition. During the aerobic assay, the treatment with CaO reduced the heating and the dry matter losses in fresh sugar cane. For the chemical composition and nutritive value, there were no differences between treatments for the water soluble carbohydrates concentration. The utilization of CaO increased the pH and ash content of forages. Higher levels of crude protein were observed for the control forage, however the utilization of CaO did not reduced significantly the crude protein value. Doses of 1.0 and 1.5% of CaO inhibited the NDF and ADF uprising contents in the fresh sugar cane. The hemicellulose portion was solubilized immediately after the addition of CaO. Higher IVDMD and IVOMD coefficients were observed for the forage treated with 1.0% of CaO applied dried, mainly during the period immediately after treatment.

Keywords: Calcium carbonate; Calcium oxide; Ethanol; Water soluble carbohydrates

1 INTRODUÇÃO

A agricultura canavieira é de grande importância para o desenvolvimento sócio-econômico sustentável do agronegócio brasileiro. Atualmente, a produção mundial de cana-de-açúcar é de aproximadamente 1,3 bilhões de toneladas. O Brasil, maior produtor mundial, produziu na última safra cerca de 423 milhões de toneladas, cultivadas em aproximadamente 5,8 milhões de hectares. Dentre todos os Estados, São Paulo se destaca como o maior produtor com área plantada de, aproximadamente, 3,4 milhões de hectares e produção total de 242 milhões de toneladas de cana-de-açúcar.

Cultura dos primórdios da colonização brasileira, a cana-de-açúcar é uma gramínea semi-perene plantada em duas regiões distintas: Centro-Sul e Norte-Nordeste. Originária do sudeste asiático, a cana-de-açúcar encontra condições climáticas favoráveis para se desenvolver no Brasil. Cultivada principalmente para a produção de açúcar e álcool, esta planta encontra na produção animal um destino alternativo para seu uso.

A grande difusão dessa cultura para áreas tradicionais de pecuária tem sido fator de estímulo para o uso dessa planta na alimentação animal. O desenvolvimento tecnológico propiciou o lançamento de cultivares apropriados a produção animal e favoreceu o posicionamento destes materiais aos diversos ambientes de produção. Estes fatores, aliados a aspectos já consagrados entre os produtores, como facilidade de cultivo e viabilidade econômica ajudaram na expansão desse volumoso para os sistemas de produção animal. Levantamentos estatísticos estimam que dez por cento da produção total de cana-de-açúcar seja utilizado na alimentação animal. Assim sendo, aproximadamente 40 milhões de toneladas de matéria verde produzidas seriam destinadas à produção animal.

Nos sistemas tradicionais de produção animal, a cana-de-açúcar é utilizada na forma de capineira. Nestas fazendas, a forragem é colhida fresca e picada e, imediatamente fornecida no cocho juntamente com alguma forma de alimentação concentrada. O corte diário, principalmente em confinamentos de larga escala, tem sido considerado como uma das principais causas de desestímulo por esta técnica devido à grande demanda de máquinas e mão-de-obra. Com o objetivo de contornar este

problema, diversos produtores estão adotando um sistema de produção alternativo, que possibilita a colheita da forragem com menor frequência. O tratamento da cana-de-açúcar em monte visa, com o auxílio de aditivos químicos, reduzir os turnos de colheita na propriedade rural, migrando de um sistema que exige corte diário para um outro que permite maior flexibilidade para essa atividade.

Na prática, esta alternativa tem resolvido em parte os problemas, uma vez que nos últimos anos tem ocorrido crescente interesse pelo uso da cana-de-açúcar na forma ensilada. A concentração da colheita em uma época favorável, ganhos em uniformidade e manejo dos talhões, favorecimento da logística operacional dentro da fazenda, busca por melhor qualidade de vida no campo e a redução da demanda por mão-de-obra podem ser considerados os fatores decisivos para a escolha dessa técnica de ensilagem.

O re-interesse pelo uso da cana-de-açúcar tanto na forma ensilada como *in natura* levou a comunidade científica a dar início a uma série de pesquisas nessa área. Este fato pode ser observado pelo grande número de trabalhos publicados recentemente em revistas e eventos científicos que abordam o tema cana-de-açúcar na alimentação animal. Características intrínsecas da planta como concentração de carboidratos solúveis, composição da fração fibrosa e população de microrganismos endo e epifíticos têm sido os principais desafios da pesquisa para a adequação desse material aos sistemas de produção animal.

Dentro desse contexto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito de aditivos químicos no controle das perdas, padrão fermentativo e valor nutritivo da cana-de-açúcar *in natura* ou ensilada.

2 AVALIAÇÃO DE ADITIVOS QUÍMICOS NO PERFIL DA FERMENTAÇÃO, VALOR NUTRITIVO, PERDAS E ESTABILIDADE AERÓBIA DE SILAGENS DE CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum officinarum* L.)

Resumo

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de aditivos químicos e microbianos nas perdas de matéria seca, perfil fermentativo, valor nutritivo e estabilidade aeróbia da silagem de cana-de-açúcar. O experimento foi desenvolvido em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições por tratamento. Os seguintes aditivos foram utilizados para a confecção das silagens: *L. buchneri*, cal virgem ou calcário em doses de 1,0 e 1,5% da massa verde e gesso a 1,0% da massa verde, diluídos em 40 litros de água por tonelada de forragem. As variáveis analisadas foram: perdas totais e gasosas, produção de efluente, recuperação de matéria seca, composição química, valor nutritivo na fase anaeróbia e durante o pós-abertura e estabilidade aeróbia. As menores perdas fermentativas e gasosas foram observadas para os tratamentos contendo fontes de óxido ou carbonato de cálcio, resultando em maior taxa de recuperação de matéria seca. Da mesma forma, as silagens tratadas com esses aditivos apresentaram maior teor de carboidratos solúveis residuais e de ácido láctico e reduzida fermentação alcoólica. Para as variáveis de valor nutritivo, as silagens tratadas com fontes de óxido ou carbonato de cálcio apresentaram, no momento da abertura, maior teor de cinzas, menor concentração de componentes fibrosos e maiores coeficientes digestibilidade da matéria seca e orgânica. O teor de proteína encontrado para esses tratamentos está dentro da amplitude preconizada para a forragem fresca. A ensilagem da cana-de-açúcar com *L. buchneri* ou gesso apresentaram desempenho semelhante ao tratamento controle para as variáveis acima mencionadas. Para o ensaio de estabilidade aeróbia, o tratamento com 1,5% de cal virgem apresentou desempenho superior e semelhante às silagens tratadas com *L. buchneri* ou gesso. As silagens de cana-de-açúcar aditivadas com diferentes níveis de calcário e com 1,0% de cal virgem resultaram em volumosos susceptíveis ao manejo pós-abertura. De forma geral, a análise conjunta dos dados mostra que as silagens tratadas com fontes de carbonato ou óxido de cálcio apresentaram desempenho superior na fase anaeróbia. Entretanto, para o ensaio de estabilidade aeróbia, somente o tratamento contendo 1,5% de cal virgem foi efetivo em preservar o valor nutritivo, reduzir as perdas de matéria seca e o aquecimento da massa de forragem durante o período pós-abertura.

Palavras-chave: Ácido láctico; Carbonato de cálcio; Carboidratos solúveis; Etanol; Óxido de cálcio

EVALUATION OF CHEMICAL ADDITIVES ON THE FERMENTATION PROFILE, NUTRITIVE VALUE, DRY MATTER LOSSES AND AEROBIC STABILITY OF SUGAR CANE (*Saccharum officinarum* L.) SILAGES

Abstract

The objective of this trial was to evaluate the effects of chemical and microbial additives in the dry matter losses, fermentation profile, nutritive value and aerobic stability of the sugar cane silages. The trial was carried out in a completely randomized experimental design with four replicates per treatment. The following additives were applied on to the fresh forage during the ensiling: *L. buchneri*, lime or limestone, 1.0 and 1.5% (wet basis) each, and gypsum 1.0% (wet basis), all of them diluted in to 40 L of water per ton of fresh forage. The variables analyzed were: total and gaseous dry matter losses, dry matter recovery, fermentation end products, nutritive value in the anaerobic period and during aerobic stability assay. The use of lime or limestone was effective in reducing dry matter losses and gaseous production and had the highest dry matter recovery rate. Both silages had also low ethanol content and, as a result, had greater concentrations of residual water soluble carbohydrates and lactic acid. The addition of lime or limestone at the time of ensiling produced silages with higher nutritive value compared with all other treatments, due to the increase of ash content and dry matter and organic digestibility and also, by reducing the fiber content. The crude protein content range was similar to the values observed in the fresh forage. The treatments with *L. buchneri* or gypsum were ineffective in altering the fermentation process of sugar cane silages and became similar to the control silages. In the aerobic stability assay, the treatments containing 1.5% of lime, *L. buchneri* or gypsum had the best performance. The utilization of different levels of limestone and the 1.0% of lime resulted in unstable sugar cane silages. In summary, the overall analysis pointed out that the treatment containing lime or limestone improved the fermentation and storage process. However, during the feed out, only the treatment containing 1.5% of limestone increased the aerobic stability and maintained the nutritive value of sugar cane silage.

Key words: Calcium carbonate; Calcium oxide; Ethanol; Lactic acid; Water soluble carbohydrates

2.1 Introdução

De forma geral, o uso da cana-de-açúcar tem sido preconizado para os sistemas de produção animal. Características agronômicas como alto potencial de produção, variedades adaptadas aos diversos ambientes de produção, bom perfilhamento e resistência a doenças e pragas têm feito desta planta um ingrediente interessante para os sistemas de produção animal. Aliado aos aspectos agronômicos tem-se, também, características desejáveis do ponto de vista zootécnico como elevada produção de nutrientes digestíveis totais (NDT) por hectare, baixo custo por tonelada de matéria seca, ponto de maturação coincidente com a escassez de forragem e grande amplitude de corte. Todos esses fatores apontam para um cenário favorável. Quando comparada a outras fontes de volumosos, a cana-de-açúcar tem se apresentado como alternativa economicamente viável na maioria das simulações de custo de produção e, mais que isso, tem gerado coeficientes de desempenho animal tão bons quanto qualquer outra fonte de alimento volumoso.

Os sistemas tradicionais de exploração animal utilizavam a cana-de-açúcar na forma de capineira. A alteração do cenário de produção animal fez com que estes sistemas ficassem restritos a fazendas de pequeno e médio porte e sistemas de agricultura familiar. Nesse sentido, para se manter em sistemas de produção animal de grande porte, a cana-de-açúcar teve que encontrar alternativas para o sistema de exploração e, foi justamente, na última década que se observou aumento crescente pelo uso da silagem de cana-de-açúcar na alimentação animal. Ganhos em logística operacional e qualidade de vida no meio rural foram os principais fatores que impulsionaram esta técnica. Além disso, houve grande esforço por parte de pesquisadores e instituições de pesquisas, o que possibilitou o desenvolvimento de estratégias para adequar essa forragem ao processo de ensilagem.

Ao se analisar o histórico sobre pesquisas com silagens de cana-de-açúcar, observa-se o interesse em identificar aditivos capazes de controlar a produção de etanol nesses volumosos. De fato, durante todos esses anos de pesquisa, houve grande concentração de estudos nessa área e avanços significativos foram obtidos. O surgimento de aditivos microbianos, como bactérias heterofermentativas do gênero *Lactobacillus buchneri* capazes de produzir compostos antifúngicos e a utilização de

aditivos químicos como a uréia que, além de aumentar valor nutritivo da silagem, controlam a população de leveduras são alguns exemplos de competência técnica adquirida nessa área.

Apesar de todo esse avanço, ainda existe o interesse pela descoberta de um aditivo ideal. Nesse sentido, novos aditivos que supostamente apresentam controle mais efetivo e à custo de produção reduzido têm estimulado o desenvolvimento de novos trabalhos científicos.

Dentro desse contexto, o objetivo desse trabalho é avaliar os efeitos de aditivos químicos na dinâmica fermentativa, composição bromatológica, perdas e estabilidade aeróbia da silagem de cana-de-açúcar.

2.2 Desenvolvimento

2.2.1 Revisão Bibliográfica

2.2.1.1 Silagem de cana-de-açúcar: padrão fermentativo e perdas de matéria seca

A utilização da cana-de-açúcar na forma de silagem constitui-se em um tema que vem se destacando nos últimos anos, e que desperta o interesse de produtores e pesquisadores em função dos benefícios que essa técnica representa.

Entretanto, ao se ensilar a cana-de-açúcar, os sistemas de produção animal se deparam com problemas inerentes ao processo fermentativo. Características intrínsecas da planta como elevada concentração de carboidratos solúveis e elevada população microbiana de fungos e leveduras são os principais agentes complicadores. A associação desses dois fatores pode resultar em fermentações indesejáveis e problemas de estabilidade pós-abertura do painel do silo.

A não utilização de aditivos implica em um processo de fermentação caracterizado pelo elevado desaparecimento de carboidratos solúveis presente no conteúdo celular das células da cana-de-açúcar e pela alta produção de etanol. Como conseqüências técnicas desse fato têm-se: aumento das perdas de matéria seca, redução do valor nutritivo do alimento e a redução de consumo voluntário pelos animais, como são relatadas na literatura por diversos autores (PRESTON; HIJINOSA;

MARTINEZ, 1976; ALLI; BACKER, 1982; KUNG Jr.; STANLEY, 1982; PEDROSO, 2003; JUNQUEIRA, 2006; SCHMIDT, 2006; QUEIROZ, 2006). Segundo Nussio e Schmidt (2005), a fermentação alcoólica é um processo indesejável, tanto pelo aumento nas perdas de matéria seca, quanto pela posterior rejeição apresentada pelo animal. A ensilagem da cana sem aditivo, mesmo justificada pelo benefício da logística operacional, se comporta como uma fonte pouco interessante de volumoso suplementar, com valor nutritivo muito inferior à cana original, determinando potencial limitado de exploração do desempenho de animais, em especial em rações com grande participação desse volumoso (NUSSIO; SCHMIDT; PEDROSO, 2003). Esses mesmos autores ainda afirmam que, se ensilada sem o uso de aditivos, a silagem de cana-de-açúcar poderá se comportar como uma das fontes mais onerosas de matéria seca (MS) e energia para o rebanho.

Tabela 1 - Perfil fermentativo da cana-de-açúcar ensilada sem aditivos

Teor de MS na ensilagem %	pH abertura	Carboidratos solúveis ensilagem abertura		Etanol % da MS	Ácido Acético	Ácido Lático	Fonte
22,9	3,40	52,3	3,64	8,86	1,04	1,93	Alli e Backer (1982)
26,7	3,47	47,10	1,02	11,6	2,86	1,54	Alli et al.(1983)
22,3	3,52	ND ¹	ND ¹	7,5	1,5	5,62	Kung Jr. e Stanley (1982)
31,5	3,59	ND ¹	ND ¹	17,52	1,4	2,82	Kung Jr. e Stanley (1982)
28,1	3,7	31,42	4,4	1,45	0,46	1,52	Alcántara et al. (1989)

¹ND = variável não determinada.

Na Tabela 1 podem ser observados alguns dos trabalhos com silagem de cana-de-açúcar realizados na década de 80 na América Central e, já nessa época, os pesquisadores alertavam para a elevada produção de etanol. Preston, Hijinosa e Martinez (1976) afirmavam que, quando ensilada sem aditivos, a cana-de-açúcar apresentava fermentação tipicamente alcoólica e perda de valor nutritivo. Alli e Baker (1982) estudando o perfil fermentativo de silagem de cana-de-açúcar em silos experimentais verificaram aumento do teor de etanol a valores próximos de 9% na matéria seca e perdas de MS de aproximadamente 5% durante os primeiros dez dias de conservação. Alli et al. (1983) trabalhando com cana-de-açúcar ensilada sem aditivos em silos laboratoriais verificam redução do teor de carboidratos de 47% para 1,02% da MS durante os primeiros 21 dias de ensilagem. Nesse mesmo período, a

produção de etanol foi de aproximadamente 11% da MS e as perdas de matéria seca atingiram valores próximos de 5%. Kung Jr. e Stanley (1982), trabalhando com silagens de cana sem aditivos e colhidas em diferentes estágios de maturação, observaram valores de etanol variando de 7,5% até 17,5% da MS, para as silagens colhidas aos seis e aos 24 meses de idade, respectivamente. Neste mesmo trabalho, a cana-de-açúcar ensilada aos 24 meses apresentou 29% de perdas de matéria seca. Alcántara et al. (1989), avaliando a dinâmica fermentativa em silagem de cana sem aditivos, observaram redução no teor de carboidratos solúveis de 31,42% para 4,4% após 30 dias de fermentação. De forma geral, os dados apresentados mostram valores adequados de pH, entretanto a elevada tolerância das leveduras ao baixo pH justifica os elevados teores de etanol encontrado nesses trabalhos. Segundo McDonald, Henderson e Heron (1991), estes microrganismos podem sobreviver em pH variando de 3,5 a 6,5, sendo que algumas espécies são capazes de sobreviver sob pH inferior a 2,0.

Atualmente, alguns trabalhos têm sido desenvolvidos e a maioria deles relatam a problemática da fermentação alcoólica e reforçam a idéia do uso de aditivos para a redução das perdas em silagens de cana-de-açúcar (CASTRO NETO 2003; PEDROSO et al., 2005; SOUSA et al., 2005; JUNQUEIRA, 2006; QUEIROZ, 2006). Pedroso et al. (2005) caracterizaram essas silagens por apresentar intensa atividade de leveduras, alto teor de álcool e grandes perdas de matéria seca. Segundo esses autores, após 45 dias de ensilagem, as perdas gasosas e de matéria seca se estabilizaram em 16% e 29% da MS, respectivamente. Neste mesmo período, esses autores observaram redução do teor de carboidratos solúveis de 23 para 6,83 % da MS e teor de etanol de aproximadamente 8% da MS. Castro Neto (2003) também verificaram redução no teor de carboidratos solúveis de 19,7% na forragem original para 2,5% na cana-de-açúcar sem aditivos.

Os trabalhos de pesquisa, até então realizados, mostram efeito positivo de uma grande diversidade de aditivos. Siqueira (2005) encontrou redução das perdas quantitativas em silagens de cana tratadas com NaOH e *L. buchneri*. Pedroso (2003) verificou efeito positivo do benzoato de sódio e do *L. buchneri*. Balieiro Neto et al. (2005b) e Cavali et al. (2006) observaram redução da produção de gases nas silagens tratadas com diferentes doses de cal virgem. Sousa et al. (2005) trabalhando com

aditivos químicos e bacterianos em silagens de cana-de-açúcar em diferentes tempos de abertura, também observaram redução da taxa e da magnitude de perdas durante os períodos de estocagem. Junqueira (2006) trabalhando com uréia na ensilagem de cana verificou redução das perdas gasosas. Ribeiro et al. (2006) encontraram redução nas perdas em silagens de cana aditivadas com NaOH.

Os benefícios alcançados pelo uso de aditivos em silagens de cana-de-açúcar evidenciam a importância de utilizá-los. Entretanto, a tomada de decisão na escolha do aditivo deve levar em consideração critérios técnicos e econômicos. Características como custo, controle das perdas quantitativas e qualitativas durante o período fermentativo e no período pós-abertura, fornecimento de nutrientes para os animais e facilidade de aplicação ou de manipulação são elementos que auxiliam na definição pelo aditivo correto.

2.2.1.2 Valor nutritivo de silagens de cana-de-açúcar

De forma geral, o processo de fermentação propicia o consumo de frações orgânicas solúveis e com isso, favorece a concentração dos demais nutrientes da planta. Dessa forma, observa-se elevação relativa desses componentes nas silagens que foram submetidas ao processo de conservação. A alta concentração de componentes da parede celular na planta *in natura* e a pré-disponibilidade às fermentações indesejáveis são fatores que acentuam esse processo em silagens de cana-de-açúcar. Nesse sentido, o uso de aditivos, além de promover redução das perdas durante os períodos fermentativo e pós-abertura, também é fundamental para minimizar a perda de valor nutritivo nesses volumosos.

Dentro desse contexto, diversos são os trabalhos que avaliaram a alteração do valor nutritivo de silagens de cana. Os primeiros estudos iniciaram na década de 80, principalmente na América Central. Alli et al. (1983), relataram que a intensa fermentação alcoólica presente na silagem da cana-de-açúcar resulta em volumoso com valor nutritivo reduzido. Ao ensilar esta planta sem aditivos, esses autores encontraram elevação dos teores de FDA de 28,3%, no momento da ensilagem, para 38% após 42 dias de fermentação. Alli e Backer (1982) também observaram a mesma tendência para esta variável, verificando elevação de 29,9% para 43,1%, após dez dias

de fermentação. Kung Jr. e Stanley (1982) avaliando o valor nutritivo de silagens de cana colhidas em diferentes estágios de maturação, observaram aumento dos constituintes da parede celular na cana ensilada em relação à cana fresca para todas as idades de corte. Uma vez que, fibra em detergente ácido (FDA), lignina, celulose e hemicelulose são componentes da parede celular, esses autores também observaram incremento dessas frações e atribuíram tal fato à perda de componentes solúveis presente no conteúdo celular da planta. Alcántara et al. (1989), também observaram elevação dos componentes da parede celular nesses alimentos. Em relação à cana fresca, esses autores encontraram na cana ensilada após 30 dias de fermentação, incremento de 17 unidades percentuais da fibra em detergente neutro (FDN) (de 50,25% para 67,48%), de 9 unidades percentuais no FDA (de 34,96% para 44,15%), de 8 unidades percentuais na hemicelulose (de 15,29% para 23,33%) e redução na digestibilidade *in vivo* da matéria seca de 66% na cana fresca para 55% na cana ensilada.

Recentemente, diversos trabalhos também avaliaram o valor nutritivo da cana-de-açúcar ensilada sem aditivos. Seguindo a mesma tendência de trabalhos pioneiros, Coan et al. (2002) encontraram aumento das frações da parede celular em silagens de cana colhidas aos 12 meses de rebrota e submetidas ao processo de conservação durante 55 dias. Pedroso (2005), ao conservar a cana sem aditivos durante 45 dias, observou redução de 15 unidades percentuais na digestibilidade *in vitro* na matéria orgânica (DVIVMS). Como resultado dessa redução da digestibilidade, houve aumento da concentração de FDN e FDA na matéria seca da silagem, apresentando elevação de 21 e 12 unidades percentuais, respectivamente. Segundo este autor, as frações lignina e cinzas da silagem, bem como as de FDN e FDA tornaram-se mais concentradas na matéria seca da silagem em decorrência de perdas de nutrientes na forma de gases e pelo efluente produzido durante o período de conservação.

A avaliação do valor nutritivo de silagens de cana-de-açúcar aditivadas tem mostrado efeitos positivos dos aditivos na preservação dos nutrientes. Siqueira (2005) afirmou que a utilização de NaOH em silagem de cana-de-açúcar minimizou as perdas qualitativas desses alimentos. De acordo com Pedroso et al. (2007) silagens de cana tratadas com NaOH apresentam maiores coeficientes de digestibilidade. Da mesma

forma, os tratamentos com NaOH resultaram em silagens com menores teores de FDN, FDA e lignina. Cavali et al. (2006) avaliando diferentes doses de cal virgem em silagens de cana-de-açúcar observaram, 40 dias após a ensilagem, menores teores de FDN, FDA e hemicelulose e maiores coeficientes de DVIVMS nas silagens tratadas. Balieiro Neto et al. (2005c) observaram que, no momento da abertura, silagens de cana com cal virgem apresentavam menores teores de FDN e FDA e maior digestibilidade em relação às silagens não aditivadas.

Com base no exposto, Pedroso (2003) concluiu que os aditivos são capazes de reduzir as perdas de valor nutritivo na ensilagem da cana-de-açúcar. Segundo esse autor, a tomada de decisão pelo aditivo adequado é fundamental, do contrário existe a possibilidade de se obter efeitos opostos ao desejado, podendo ocorrer perda de valor nutritivo durante o processo de conservação das silagens.

2.2.1.3 Aditivos na ensilagem de cana-de-açúcar

Visando alterar a principal rota fermentativa verificada nas silagens de cana-de-açúcar e reduzir as perdas de matéria seca e de valor nutritivo nesses volumosos, têm-se adotado aditivos que possivelmente inibam a população de leveduras e/ou bloqueiam a via fermentativa de produção de álcoois (SCHMIDT, 2006).

Os diversos aditivos utilizados em silagem de cana-de-açúcar podem ser classificados como aditivos químicos, bacterianos ou enzimáticos. Especificamente, os aditivos químicos podem ser classificados em subgrupos de acordo com o modo de atuação ou função: agentes alcalinizantes ou hidrolíticos, aditivos nutrientes, e aditivos conservantes, que podem ser ácidos ou sais. Quando utilizados no processo de ensilagem, esses produtos interferem na dinâmica fermentativa uma vez que podem afetar diretamente o pH final da silagem, alterar a pressão osmótica do meio e, conseqüentemente, inibir o desenvolvimento de determinados grupos de microrganismos ou ainda, modificar a composição bromatológica do alimento. Alguns deles podem atuar em vários eventos simultaneamente, alterando ainda mais o padrão fermentativo. Além disso, determinados aditivos possuem em sua composição química elementos capazes de alterar o consumo voluntário pelos animais ou adicionar nutrientes às silagens.

2.2.1.3.1 Agentes alcalinizantes ou hidrolíticos

Dentro deste grupo de aditivos, estão os hidróxidos, óxidos básicos e carbonatos. Hidróxido de sódio (NaOH), de potássio (KOH), de amônio (NH₄OH), de cálcio, carbonato de cálcio (CaCO₃) e óxido de cálcio (CaO) são os principais produtos de interesse para a produção animal.

Recentemente, tem-se observado o uso da cal virgem em silagens de cana-de-açúcar. Diante do crescente interesse por esses aditivos e da relativa carência de informações, cabe uma breve caracterização desse aditivo, incluindo a composição do produto, os métodos de obtenção e o modo de ação em silagens.

As rochas moídas, misturas de calcita e dolomita utilizadas na agricultura para a correção de solos ácidos, possuem em sua composição carbonatos de cálcio (CaCO₃) e de magnésio (MgCO₃) que são pouco solúveis em água. Podem ainda conter impurezas como matéria orgânica, silicatos, fosfatos, sulfetos, sulfatos e outros óxidos. O processo de calcinação (aquecimento) dessas rochas tem como produto final o óxido de cálcio (CaO), também conhecido como cal virgem. Este produto é classificado como um óxido básico, pois o elemento que está ligado ao oxigênio é classificado como um metal (óxidos de caráter básico possuem em sua composição elementos da família dos metais alcalinos e alcalinos terrosos ligados ao oxigênio). Assim sendo, a reação desse óxido com a água produz o hidróxido de cálcio [Ca (OH)₂], uma base da família dos metais alcalinos terrosos que apresenta grau de dissociação elevado e solubilidade em água reduzida, porém superior aos produtos que lhe deram origem. O processamento das rochas calcárias para a geração de compostos mais reativos, traz como benefício adicional a obtenção de produtos livres de elementos tóxicos. Dessa forma, esses produtos podem ser utilizados como aditivos na produção animal sem ocasionar risco de intoxicação alimentar. A cal microprocessada utilizada recentemente para o controle da fermentação alcoólica em silagens de cana-de-açúcar é um exemplo dessa classe de aditivos. A adição desse produto durante o processo de ensilagem provoca elevação do pH e aumento da pressão osmótica, alterando a população de microrganismos e modificando assim, o perfil fermentativo dessas silagens.

Analisando-se o histórico do uso de aditivos alcalinizantes em silagens, deve-se ressaltar que na década de 60 diversos estudos foram realizados nos Estados Unidos com fontes de carbonato de cálcio, aplicado exclusivamente ou em combinação com uréia, em silagens de milho (KLOSTERMAN et al., 1960; SIMKINS; BAUMGARDT; NIEDERMEIER, 1965; JOHNSON et al., 1967; ESSIG, 1968; OWENS; MEISKE; GOODRICH, 1969). No Brasil existem poucos trabalhos avaliando o efeito dessa combinação de aditivos em silagens de sorgo (VIEIRA et al., 2001; VIEIRA et al., 2004).

De acordo com Owens, Meiske e Goodrich (1969), o aumento do teor de ácidos orgânicos em silagens tratadas com uréia e calcário e o aumento da conversão alimentar de animais recebendo rações a base desses volumosos têm servido de critério para a recomendação desses aditivos no momento da silagem.

Klosterman et al. (1960) concluíram que o calcário é um dos aditivos mais eficientes em aumentar o teor de ácidos orgânicos nos materiais ensilados. Segundo esses autores, esse aditivo neutraliza parte do ácido produzido, resultando em silagens com maior pH. Aparentemente, essa neutralização parcial dos ácidos permite que a fermentação se prolongue por mais tempo e em taxas mais rápidas, favorecendo assim a produção de maiores quantidades de ácidos durante o processo fermentativo. De acordo com Essig (1968), a adição de 0,5 a 1,0% de calcário em silagens de milho melhora a fermentação e a aceitabilidade das silagens. Segundo esse autor, o carbonato de cálcio estimula a produção de ácidos orgânicos, especialmente o ácido láctico e, ao contrário do esperado, aumenta o pH das silagens.

De fato, a alteração do perfil fermentativo com base no uso desses aditivos foi observada em diversos trabalhos. Entretanto, a resposta animal aparentemente apresenta resultados divergentes. Simkins, Baumgardt e Niedermeier (1965), avaliando silagens de milho tratadas com calcário, observaram elevação significativa nos teores de matéria mineral, ácidos orgânicos totais e pH nas silagens tratadas em relação ao tratamento controle. Entretanto, ao se analisar a produção de leite de vacas recebendo rações com esses dois volumosos, os autores não observaram diferenças significativas em desempenho animal. Essig (1968), fazendo uma compilação de dados de desempenho animal obtidos em 26 experimentos, concluíram que o tratamento da silagem de milho com a combinação de uréia+carbonato de cálcio, aparentemente

resultava em silagens que apresentavam eficiência de utilização 5% maior que silagens não tratadas. Klosterman et al. (1960) não encontraram diferença significativa no ganho de peso de novilhos de corte recebendo silagem de milho sem aditivo ou tratada com fonte de carbonato de cálcio.

A ausência de resposta animal em silagens tratadas com esse aditivo pode ser justificada quando se analisa a composição bromatológica desses alimentos. Klosterman et al. (1960) não encontraram diferenças significativas na digestibilidade das frações matéria orgânica, celulose, fibra bruta e proteína de rações contendo silagens de milho sem aditivos e tratadas com fonte de carbonato de cálcio. Vieira et al. (2001) trabalhando com silagem de diferentes variedades de sorgo também não encontraram alteração significativa das frações fibrosas das silagens no momento da abertura.

Dessa forma, Klosterman et al. (1960) sugeriram aumento do valor nutritivo em silagens de milho com base no aumento da concentração dos ácidos orgânicos produzidos durante o período fermentativo. Uma das formas de se induzir esse aumento seria por meio da utilização de aditivos contendo carbonato de cálcio. Entretanto, esses mesmos autores afirmam que os resultados obtidos não são conclusivos, ou seja, não existe uma forte evidência de que o aumento dos ácidos orgânicos resulte em silagens com elevado valor nutritivo. De fato, segundo Huhtanen et al. (2003) o incremento na produção de leite observado em silagens com maiores níveis de carboidratos solúveis em água justifica o esforço em preservar o máximo desta fração nas silagens. Atualmente, a idéia de se aumentar a concentração de ácidos orgânicos (principalmente o ácido láctico e acético) tem sido preconizada com o objetivo de elevar a estabilidade aeróbia e reduzir as perdas durante o período pós-abertura.

O uso de aditivos, contudo, nem sempre vem acompanhado de melhora no desempenho de animais recebendo silagens tratadas. Se o aditivo for capaz de alterar significativamente o padrão de fermentação das silagens, reduzindo as perdas totais e aumentando a recuperação de matéria seca de forma economicamente viável, sua utilização provavelmente já se torna justificável, mesmo sem promover alterações no desempenho animal.

Atualmente, tem-se observado crescente utilização da cal virgem em silagens de cana-de-açúcar em substituição ao hidróxido de sódio. Os trabalhos até então realizados sugerem silagens com reduzidas perdas de matéria seca e com maior valor nutritivo. Balieiro Neto et al. (2005b) observaram recuperação de matéria seca de 80% para as silagens tratadas com 2% de cal virgem. Oliveira et al. (2004) trabalhando com silagens de cana aditivadas com 0,5% de hidróxido de cálcio na massa verde (MV) também observaram maior recuperação de matéria seca. Cavali et al. (2006) observaram tendência de redução na produção de gases e aumento da recuperação de matéria seca para as silagens tratadas com doses crescentes de CaO. Balieiro Neto et al. (2005c) sugerem hidrólise alcalina promovida pelo uso da cal virgem, levando a solubilização parcial da hemicelulose. Trabalhando com diferentes doses desse aditivo em silagens de cana, esses autores concluíram que a aplicação de 2% do aditivo na MV resultou em silagens com maior digestibilidade e menores teores dos constituintes da parede celular no momento da abertura. Durante o período pós-abertura, essa concentração do aditivo também foi efetiva em manter os teores de FDN e hemicelulose durante nove dias de exposição ao ar.

2.2.1.3.2 Aditivos nutrientes

Classificada por McDonald, Henderson e Heron (1991) como aditivo nutriente, a uréia vem sendo utilizada em muitos experimentos com silagem de cana, com o intuito de corrigir a deficiência de nitrogênio e promover o controle de leveduras pela ação antifúngica da amônia. Segundo Schmidt (2006), após quase três décadas, o mote ensilagem de cana-de-açúcar ressurgiu no Brasil, inicialmente enfocando o uso de uréia como aditivo, devido à facilidade de obtenção e aplicação desse produto. Vários trabalhos têm sido realizados com doses variando de 0,5% a 2,0% da massa verde.

Alli e Backer (1982) descreveram o efeito da uréia sobre a forragem ensilada como sendo uma substância capaz de diminuir perdas matéria seca e dos açúcares solúveis, além de aumentar a estabilidade aeróbia do material. Pedroso (2003) obteve redução da produção de etanol em silagens de cana tratadas com 1,5% de uréia. Nesse mesmo trabalho, o autor observou estabilidade aeróbia nessas silagens de 79 horas, contra apenas 65 horas para o tratamento controle. O aumento da estabilidade e

sua ação antifúngica também foram constatados em experimentos conduzidos por Rotz e Muck (1994). Schmidt (2006) trabalhando com cana-de-açúcar ensilada aos 12 e 15 meses de idade, encontraram redução das perdas de matéria seca e menor produção de gases nas silagens tratadas com 0,5% de uréia na massa verde, em ambas as idades de corte. Lima et al. (2002) e Molina et al. (2002), relataram que a uréia, adicionada entre 0,5 e 1,5% da matéria seca resultou em silagens com bom padrão de fermentação e melhoria nas características bromatológicas, promovendo maior recuperação da matéria seca associada à diminuição nos teores de FDN e FDA.

De acordo com Junqueira (2006), a análise conjunta dos dados sugere que doses entre 0,5 a 1,0% da massa verde são mais efetivas em reduzir perdas fermentativas, uma vez que, em doses superiores, o poder de tamponamento exercido pela uréia torna-se crítico ao processo de conservação, elevando as perdas por deterioração no painel do silo. Além disso, quanto maior a dose utilizada, maiores são os teores nitrogênio não-protéico na fração nitrogênio total.

Segundo Schmidt (2006) as estimativas de recuperações de nitrogênio em silagens de cana-de-açúcar adicionadas de uréia são bastante altas, acima de 90%. Valores previamente estabelecidos por Nussio e Schmidt (2005) indicam recuperações de aproximadamente 70%. De fato, os dados até então obtidos apresentam valores elevados, o que deve ser computado como benefício adicional na escolha desse aditivo.

2.2.1.4 Estabilidade aeróbia de silagem de cana-de-açúcar

Além de contribuir para a redução das perdas de matéria seca e de valor nutritivo durante o processo de conservação, o uso de aditivos tem sido preconizado para aumentar a estabilidade aeróbia das silagens de cana. De fato, esta área de pesquisa ganhou importância na década de 90 em estudos envolvendo silagens de milho que, apesar de apresentarem um bom padrão fermentativo durante o período de conservação, não eram capazes de gerar desempenho animal compatíveis. O termo estabilidade aeróbia foi proposto por Keady e O'Kiely (1996), como sendo o número de horas que a silagem se mantém estável antes de atingir mais de 2 °C em relação à

temperatura ambiente, ou pode também ser obtida segundo O'Kiely (1999), com base na temperatura acumulada em cinco ou dez dias após a abertura.

McDonald, Henderson e Heron (1991) já afirmavam que existia uma considerável variação entre silagens quanto a resistência a deterioração aeróbia. Características intrínsecas dos materiais ensilados determinam essa resistência. Segundo estes autores, silagens ricas em carboidratos solúveis são propensas à deterioração aeróbia. Driehuis, Oude Elferink e Spoelstra (1999) ressaltaram que o processo de deterioração aeróbia é iniciado por leveduras ácido tolerantes. Segundo McDonald, Henderson e Heron (1991), em condição aeróbia, esses microrganismos crescem rapidamente, obtendo energia por meio da via glicolítica e do ciclo do ácido tricarboxílico tendo como resultado final, completa oxidação dos açúcares. Ainda segundo esses autores, nessas mesmas condições, esses microrganismos são capazes de utilizar diversos ácidos orgânicos, incluindo o lactato, citrato, malato, succinato, entre outros. Assim como para os açúcares, a degradação do ácido láctico em dióxido de carbono e água resulta em excessiva produção de calor e perda de nutrientes (KLEINSCHMIT; SCHMIDT; KUNG Jr., 2005). Além disso, a degradação desse ácido favorece a elevação do pH da silagem e permite o crescimento de microrganismos oportunistas como bactérias e mofo (McDONALD; HENDERSON; HERON, 1991). Além de representar prejuízo econômico devido à perda de nutrientes, o fornecimento de silagem deteriorada provoca redução de consumo e decréscimo da produção pelos animais (WHITLOCK et al., 2000).

Dentro desse contexto, torna-se necessário a busca por aditivos que favoreçam a estabilidade aeróbia de silagens de cana-de-açúcar. Essas forragens quando submetidas a um adequado padrão fermentativo, são caracterizadas por elevada concentração de carboidratos solúveis residuais e por alta população de leveduras ácido-tolerantes, o que as torna susceptíveis ao manejo pós-abertura dos silos. De acordo Woolford (1990) e McDonald, Henderson e Heron (1991) silagens que apresentam contagem de leveduras maiores que 10^5 ufc/g de matéria seca são propensas à deterioração aeróbia. Na silagem de cana-de-açúcar, Alli et al. (1983) encontraram intensa atividade desses microrganismos, com contagem de aproximadamente 10^6 ufc/g de forragem. Mesmo que os tratamentos adotados na

ensilagem tenham favorecido a preservação dentro do silo, após a sua abertura, esses efeitos podem ter sido anulados pela longa exposição aeróbia ou por não serem efetivos em manter a silagem em boas condições, sem aquecimento significativo (JUNQUEIRA, 2006). Pitt e Muck (1993) determinaram que as perdas de matéria seca durante o pós-abertura do silo também são influenciadas pela taxa de retirada da forragem. Dessa forma, quanto menores forem as taxas de retiradas diárias maiores serão as perdas por deterioração devido ao maior tempo de exposição aeróbia.

Seguindo essa tendência, diversos trabalhos envolvendo o entendimento do processo fermentativo em cana-de-açúcar também passaram a abordar o efeito dos aditivos na estabilidade aeróbia dessas silagens (PEDROSO, 2003; SIQUEIRA, 2005; JUNQUEIRA, 2006). Junqueira (2006) observou redução das perdas de matéria seca pós-abertura para as silagens de cana tratadas com uréia. Pedroso (2003) observou elevação significativa da estabilidade aeróbia da silagem de cana tratada com *Lactobacillus buchneri* e benzoato de sódio e verificou que silagens tratadas com doses baixas de hidróxido de sódio apresentaram estabilidade 85% maior que das silagens controle, se mantendo estáveis durante cinco dias de exposição ao ar. Siqueira (2005) concluiu que a inoculação com *Lactobacillus buchneri*, a inclusão de benzoato de sódio e a associação desses dois aditivos também foram efetivas em elevar a estabilidade aeróbia das silagens. Balieiro Neto et al. (2005a) observaram manutenção da temperatura e do pH e aumento da estabilidade aeróbia e da recuperação de matéria seca pós-abertura de silagens de cana-de-açúcar tratadas com diferentes doses de cal virgem.

2.2.2 Material e Métodos

2.2.2.1 Tratamentos adotados

O presente estudo foi desenvolvido no Departamento de Zootecnia, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (USP/ESALQ) em Piracicaba – SP.

A variedade de cana-de-açúcar utilizada para a realização do experimento foi a RB72-454, colhida com aproximadamente 15 meses de idade. O material foi picado em equipamento estacionário regulado para corte com tamanho de partícula de

aproximadamente 1 cm. Após ter sido picada, a forragem foi imediatamente submetida aos seguintes tratamentos:

- 1 - Controle;
- 2 - *L. buchneri* (2 g/t de massa verde de Lalsilcana[®]);
- 3 - Cal virgem (1,0% da massa verde);
- 4 - Cal virgem (1,5% da massa verde);
- 5 - Calcário (1,0% da massa verde);
- 6 - Calcário (1,5% da massa verde);
- 7 - Gesso agrícola (1,0% da massa verde);

Ambos os aditivos químicos foram diluídos em solução aquosa com volume de aproximadamente 40 litros por tonelada de cana fresca. Os tratamentos controle e com *L. buchneri* também receberam o mesmo volume de água acima mencionado. O tratamento contendo o aditivo microbiano foi utilizado com o objetivo de se ter um controle positivo, com base no histórico de utilização desse produto servindo, assim, como referência para a avaliação de desempenho dos demais tratamentos adotados.

2.2.2.2 Caracterização dos aditivos

Com o objetivo de caracterizar os aditivos utilizados nesse experimento, os mesmos foram submetidos à análise química no Laboratório de Fertilizantes, Corretivos e Resíduos Orgânicos do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, da USP/ESALQ. A Tabela 2 mostra a composição química dos aditivos utilizados. Para o gesso agrícola, a análise determinou 18,45% de enxofre e 23,20% de cálcio, respectivamente.

Tabela 2 - Composição química dos aditivos utilizados

Elemento	Cal virgem (CaO)	Calcário (CaCO ₃)
Óxido de cálcio, %	94,08	50,40
Óxido de magnésio, %	0,0	2,02
Carbonato de cálcio, %	168,40	90,22
Carbonato de magnésio, %	0,0	5,01
Poder de neutralização, %	172,0	94,50
Sílica e insolúveis, %	0,62	6,00

2.2.2.3 Confecção da silagem

Após o tratamento, a forragem foi imediatamente ensilada em baldes plásticos previamente pesados. Foram utilizados vinte e oito baldes plásticos (silos experimentais) com capacidade de 20 litros. Cada balde era composto de uma tampa adaptada com válvula tipo “Bunsen”, que permitia a saída de gases e impossibilitava a entrada de ar, e cerca de 2 kg de areia posicionados no fundo do silo, com a função de absorver o efluente produzido durante o processo. A fim de evitar contaminação da forragem, foi colocado sobre a areia uma tela fina de plástico e um pano de queijo.

A silagem foi compactada de forma que a densidade atingisse aproximadamente 500 kg de MV/m³ garantindo assim, condições semelhantes de porosidade para os diferentes tratamentos. Após o enchimento, os silos experimentais foram fechados com as mencionadas tampas, vedados com o auxílio de uma fita adesiva e mantidos em ambiente protegido, sob temperatura ambiente, por um período de 90 dias.

2.2.2.4 Abertura dos silos experimentais

Decorrido os 90 dias de armazenamento, os silos experimentais foram abertos e submetidos às avaliações previstas. Primeiramente, com o objetivo de quantificar perdas durante o período de estocagem, foi realizada a pesagem individual dos baldes. Após pesagem, uma alíquota de forragem foi coletada da parte central dos baldes para a determinação de valor nutritivo e do perfil fermentativo das silagens. Finalizada a

etapa de pesagem e amostragem, deu-se início a montagem do ensaio de estabilidade aeróbia. A seguir segue descrição detalhada dessas avaliações.

2.2.2.5 Avaliação das perdas durante o período de estocagem

Durante a abertura, os baldes foram pesados objetivando-se avaliar o efeito dos tratamentos quanto as perdas de matéria seca total, produção de gases e produção de efluente. Para que fosse possível a determinação das perdas, o conjunto vazio (balde + areia + tampa + tela + pano de queijo) foi pesado antes da ensilagem e, imediatamente, após a abertura. Seguindo o mesmo procedimento, esse conjunto, contendo a forragem, também foi pesado nesses mesmos dois momentos.

2.2.2.5.1 Determinação da produção de efluente

O cálculo da produção de efluente foi realizado mediante diferença de peso do balde vazio, antes da ensilagem e posteriormente ao período da abertura. Com o objetivo de se ter uma medida relativa, a massa fresca de forragem inicialmente ensilada foi utilizada de base para a expressão da produção de efluente. Dessa forma, de acordo com a equação 1 modificada por Schmidt (2006) determinou-se a produção de efluente na massa de forragem, expressa em kg / t de MV:

$$PE = \frac{(Pab - Pen) \times 1000}{(MVen)} \quad (1)$$

Onde:

PE = produção de efluente (kg/t de MV);

Pab = peso do conjunto vazio (balde+areia+tampa+pano) no momento da abertura (kg);

Pen = peso do conjunto vazio (balde+areia+tampa+pano) no momento da ensilagem (kg);

MVen = quantidade de massa verde inicialmente ensilada (kg);

2.2.2.5.2 Estimativas das perdas gasosas

As perdas gasosas foram calculadas pela diferença de peso entre a quantidade de matéria seca inicial e final, descontando-se o peso do balde vazio no momento da

ensilagem em ambos os casos. Essa variável foi expressa em relação à quantidade de matéria seca inicialmente ensilada. Dessa forma, pela equação 2 modificada por Schmidt (2006), obtiveram-se as perdas gasosas, expressa em % da MS:

$$PG = \frac{[(PCen - Pen) \times MSen] - [(PCab - Pen) \times MSab] \times 100}{[(PCen - Pen) \times MSen]} \quad (2)$$

Onde:

PG = perda por gases (% da MS);

PCen = peso do balde cheio no momento da ensilagem (kg);

Pen = peso do conjunto vazio (balde+areia+tampa+pano) no momento da ensilagem (kg);

MSen = teor de matéria seca da forragem na ensilagem (%);

PCab = peso do balde cheio no momento da abertura (kg);

MSab = teor de matéria seca da forragem na abertura (%);

2.2.2.5.3 Determinação da perda total de matéria seca

As perdas totais de matéria seca foram calculadas pela diferença de peso entre a massa seca da forragem inicialmente ensilada e àquela recuperada no momento da abertura. Para a obtenção da massa seca inicial foi descontado o peso do balde vazio no momento da ensilagem. Seguindo o mesmo procedimento, a massa seca recuperada na abertura foi obtida descontando-se o peso do balde vazio nesse mesmo momento incluindo, neste caso, toda a massa de efluente produzido durante o período de armazenamento. Com base na equação 3 modificada por Schmidt (2006), foram estimadas as perdas totais de matéria seca, expressas em %:

$$PMS = \frac{[(PCen - Pen) \times MSen] - [(PCab - Pab) \times MSab] \times 100}{[(PCen - Pen) \times MSen]} \quad (3)$$

Onde:

PMS = perda total de matéria seca (%);

PCen = peso do balde cheio no momento da ensilagem (kg);

Pen = peso do conjunto vazio (balde+areia+pano+tela) no momento da ensilagem (kg);

MSen = teor de matéria seca da forragem na ensilagem (%);

PCab = peso do balde cheio na abertura (kg);

Pab = peso do conjunto vazio (balde+areia+pano+tela) no momento da abertura (kg);

MSab = teor de matéria seca da forragem na abertura (%);

O valor de perda total gerado pela equação 3 permitiu ainda determinar a recuperação final de matéria seca. Definida como função inversa da perda total, a recuperação de matéria seca pode ser obtida com base na diferença entre a massa seca inicialmente ensilada (neste caso 100%) e a perda total ocorrida durante o processo de conservação, expressa em %.

2.2.2.6 Ensaio de estabilidade aeróbia

Imediatamente após a abertura dos silos experimentais, amostras de aproximadamente 4 kg de forragem foram coletadas para a avaliação da estabilidade aeróbia. O material foi acondicionado em novos baldes plásticos permanecendo em ambiente aeróbio com temperatura controlada durante o período de dez dias. No centro geométrico dos baldes foram posicionados sensores de temperatura associados à sistema informatizado de aquisição de dados (Dickson®, Addison, USA) programados para a tomada de temperatura em intervalos constantes de uma hora.

Durante o período de estabilidade aeróbia foram realizadas pesagens dos baldes no quinto e décimo dia, objetivando-se determinar as perdas de matéria seca no período pós-abertura ocorridas nos diferentes tratamentos. Juntamente com as pesagens dos baldes, foram realizadas coleta de amostras para posterior análises laboratoriais.

Para a determinação da estabilidade aeróbia utilizando-se dos dados de temperatura, foram estudadas as seguintes variáveis: horas para o aumento em 2 °C da temperatura do balde em relação à temperatura ambiente, temperatura máxima e dias para a ocorrência de temperatura máxima. Com base no conjunto de dados gerados pelos sensores eletrônicos foi possível obter o gráfico da temperatura ambiente e os

gráficos das temperaturas das unidades experimentais ao longo de todo o período do ensaio. Dessa forma, com o conjunto de dados obtidos, foi possível determinar o acúmulo total de temperatura em cada balde. Esta variável foi obtida por meio da diferença entre a temperatura do balde e a do ambiente registrada nos intervalos de tempo determinados e, para fins de comparação entre os tratamentos, foi calculada na primeira metade do ensaio (do primeiro ao quinto dia) e no período total.

2.2.2.7 Avaliação químico-bromatológica

2.2.2.7.1 Amostras secas em estufas

As amostras de cana-de-açúcar coletadas no momento da ensilagem, após a abertura dos silos e durante o ensaio de estabilidade, foram secas em estufas a 60 °C por 72 horas de acordo com Silva (1981) e, posteriormente moídas em moinho do tipo Wiley provido de peneira com perfurações de 1 mm.

A determinação da composição bromatológica foi realizada utilizando-se o método de espectroscopia de reflectância de infravermelho proximal (NIRS) (BERZAGHI; COZZI; ANDRIGHETTO, 1997; COZZOLINO; ACOSTA; GARCIA, 2001), visando à redução no número de amostras a serem analisadas pelo método convencional. O material moído foi escaneado para obtenção dos espectros NIRS. O equipamento utilizado foi o espectrômetro modelo NIRS 5000 (NIRSystems®, Silver Spring, MD, USA) acoplado a um microcomputador equipado com *software* WinISI II versão 6.2 (Intrasoft International, PA). As amostras foram escaneadas nesse equipamento obtendo leituras compreendidas entre os comprimentos de onda de 700 a 2100 nm. Esses espectros foram armazenados em curvas log (1/R, onde R é o valor da reflectância), em intervalo de 2 nm. Utilizaram-se os métodos de seleção de amostras existentes no *software* do equipamento e foram descartadas as amostras distantes mais de 3 H (distância padronizada de Mahalanobis) da média, e essas foram consideradas como *outliers*. Adotou-se a distância mínima de 0,6 H entre amostras para seleção daquelas em que seriam efetuadas as análises bromatológicas convencionais, ou seja, onde o valor *outlier* (H) é usado para eliminar amostras com distâncias espectrais muito afastadas da média da população (SHENK; WESTERNHAUS, 1991; MATHISON et al., 1999).

O procedimento SELECT usa uma distância H padronizada entre pares de amostras para definir vizinhanças e baseia-se na suposição de que somente uma amostra seja requerida para representar todas as amostras contidas naquele grupo de vizinhança. Dessa forma, quanto mais heterogêneo for o grupo de amostras escaneadas maior deverá ser o número de amostras selecionadas para abranger toda amplitude espectral (MATHISON et al., 1999). As amostras selecionadas pelo NIRS foram submetidas a análises convencionais no laboratório de bromatologia do Departamento de Zootecnia da USP/ESALQ.

O teor de matéria seca da amostra moída foi determinado em estufa a 105 °C durante 24 horas (AOAC, 1990). A matéria-mineral foi obtida após incineração de amostras em forno tipo mufla a 550 °C, durante três horas (AOAC, 1990).

O teor de proteína bruta foi determinado por condutividade térmica utilizando-se o equipamento LECO®, modelo FP-528 (Leco Corporation, Michigan, USA).

Os teores de fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e de fibra insolúvel em detergente ácido (FDA) foram obtidos através do método sequencial proposto pela ANKOM Fiber Analyser (ANKOM® Technology Corporation, Fairport, NY), descrito por Holden (1999).

A análise da digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) também foi realizada seguindo o protocolo proposto pela ANKOM Fiber Analyser (ANKOM® Technology Corporation, Fairport, NY) e descrito por Holden (1999).

Finalizada a análise química convencional, os valores foram inseridos no banco de dados do NIRS e permitiram ao *software* do programa estimar o valor das demais amostras por meio de equações de predição criadas com base em métodos estatísticos contidos no próprio programa.

2.2.2.7.2 Amostras de forragem frescas

As amostras úmidas coletadas no momento da ensilagem, após a abertura dos silos e durante o ensaio de estabilidade foram utilizadas para a confecção de um extrato aquoso seguindo o protocolo proposto por Kung Jr. (1996). De acordo com esse protocolo, uma amostra de aproximadamente 25 g de silagem deve ser adicionada a um volume de 225 mL de água deionizada e, posteriormente, processada em

liquidificador industrial durante um minuto, para a obtenção do referido extrato. A determinação do pH nesse extrato foi realizada por meio de um potenciômetro digital (DIGMED® - DM20). Após a mensuração do pH, o extrato remanescente foi imediatamente filtrado em papel Whatman® 54, recebeu 3 gotas de ácido sulfúrico 50% e foi então centrifugado durante 15 minutos e a 10.000 rpm. Após a centrifugação, foi obtido um novo extrato que foi acondicionado em tubos tipo Eppendorff com capacidade de 1,5 mL e, posteriormente, congelados a -20 °C para futura determinação das concentrações de açúcares solúveis, ácidos orgânicos e etanol.

O teor de etanol foi determinado diretamente por meio de leitura em um auto-analisador YSI 2700 Select® (Biochemistry Analyser, Yellow Spring, OH, EUA) calibrado com soluções padronizadas de etanol (2g/L). Após leitura, o equipamento forneceu o valor da concentração de etanol, em g/L.

Para análise da concentração de carboidratos solúveis foi utilizado o método colorimétrico adaptado de Dubois et al. (1956) com leitura em comprimento de onda de 490 nm. A adaptação foi realizada em relação ao aumento na diluição das amostras, uma vez que silagens de cana-de-açúcar apresentam teores elevados de carboidratos solúveis.

A determinação da concentração de ácido láctico foi realizada por meio da adaptação do método espectrofotométrico (565 nm) de Pryce (1969). A adequação da curva padrão 10 vezes maior que a sugerida foi necessária, já que a alíquota de amostra a ser utilizada foi muito reduzida.

O poder tampão foi determinado nas amostras de cana-de-açúcar no momento da ensilagem. Para o cálculo, o pH dos extratos obtidos a partir dessas amostras foi inicialmente ajustado para valores próximos de 3,0 com base na adição de solução de ácido clorídrico, 0,1 N. Posteriormente, com o auxílio de solução de hidróxido de sódio 0,1 N, esse pH foi elevado para valores ao redor de 4,0. Após isso, foi determinado o volume gasto da solução de hidróxido de sódio para elevar os valores de pH a 6,0. De acordo com Playne e McDonald (1966), o poder tampão pode ser expresso como o equivalente em miligrama da base necessário para elevar o pH do extrato de 4,0 para 6,0 por 100 g de matéria seca.

De posse dos valores de teor de matéria seca, poder tampão e carboidratos solúveis das amostras no momento da ensilagem foi possível calcular a capacidade de fermentação das silagens tratadas com os diferentes aditivos químicos. Segundo Weissbach e Honig 1996 apud Oude Elferink et al. (2000), o coeficiente de fermentação (CF) é diretamente proporcional aos teores de matéria seca e de carboidratos solúveis e inversamente proporcional ao poder tampão das silagens, e pode ser calculada de acordo com a equação 4:

$$CF = MS + 8 \times \left(\frac{CS}{PT} \right) \quad (4)$$

Onde:

CF = coeficiente de fermentação (%);

MS = teor de matéria seca (%);

CS = teor de carboidratos solúveis (% MS);

PT = poder tampão (emg/100g MS);

2.2.2.7 Análise estatística

O delineamento estatístico utilizado foi o inteiramente casualizado com quatro repetições para cada tratamento. Para o ensaio de estabilidade aeróbia, foram coletadas amostras ao longo do tempo caracterizando, dessa forma, um experimento com medidas repetidas.

As variáveis obtidas no momento da abertura foram analisadas com base no procedimento GLM do programa estatístico SAS®, versão 8 para Windows® (SAS, 1999). No ensaio de estabilidade aeróbia o procedimento MIXED do programa estatístico SAS®, versão 8 para Windows® (SAS, 1999) foi utilizado para se verificar efeitos de tratamento, de tempo e da interação desses fatores.

Em ambos os casos, o teste de Tukey com nível de significância de 5% foi utilizado para efeito de comparação de médias entre tratamentos.

2.2.3 Resultados e Discussão

2.2.3.1 Caracterização na cana-de-açúcar no momento da ensilagem

Na Tabela 3 pode ser observada a composição químico-bromatológica da cana-de-açúcar no momento da ensilagem para os diferentes tratamentos impostos neste experimento. Os teores de matéria seca, FDN e FDA encontrados estão de acordo com os valores relatados na literatura. Andrade et al. (2002), trabalhando com diversas variedades de cana-de-açúcar utilizadas na alimentação de ruminantes, observaram teores de MS variando entre 24 e 37%, de FDN entre 36 e 56% e FDA entre 21 e 36%. Da mesma forma, os teores de proteína bruta estão dentro da amplitude de 1,80 a 4,70% da MS relatada por Faria (1993).

Tabela 3 - Composição químico-bromatológica dos tratamentos contendo cana-de-açúcar no momento da ensilagem

Variável ¹	Controle	<i>L. buchneri</i>	CaO 1,0%	CaO 1,5%	Calcário 1,0%	Calcário 1,5%	Gesso 1,0%
MS, %	35,39	32,76	34,55	34,61	33,33	33,87	32,98
Cinzas, % MS	2,25	1,08	4,45	5,73	3,24	4,84	3,56
PB, % MS	2,85	2,75	2,61	2,57	2,62	3,05	2,90
FDN, % MS	52,93	48,11	50,75	51,76	51,39	54,27	49,17
Hemi, % MS	20,62	17,53	20,37	21,04	22,15	21,72	18,85
FDA, % MS	32,31	30,58	30,38	30,72	29,24	32,55	30,32
CHO'S, % MS	20,45	21,00	20,56	28,83	18,27	16,97	27,17
DVIVMS, % MS	59,96	62,28	65,92	67,98	61,88	59,69	63,44
DVIVMO, % MO	59,09	61,41	63,7	65,72	60,12	57,18	60,98
pH	3,98	3,5	8,74	8,6	4,74	5,28	3,52
PT, n°.e.mg/100 MS	10,04	14,15	27,60	28,76	17,88	23,66	10,94
CF	51,69	44,63	40,51	42,63	41,51	39,58	52,85

As doses dos aditivos estão expressas com base na matéria verde;

L. buchneri = 2 g do produto comercial/ ton de MV;

¹ Hemi = hemicelulose; CHO'S = carboidratos solúveis; PT = poder tampão; CF = capacidade de fermentação;

Os parâmetros de digestibilidade observados na Tabela 3 estão dentro da faixa de variação de 54 a 64% preconizada por Boin e Tedeschi (1993). Neste caso, porém, a ação hidrolítica do óxido de cálcio resultou em coeficientes de digestibilidade uma ou duas unidades percentuais superiores para as forragens tratadas com este aditivo. Os altos teores de cinzas e de poder tampão observado nas forragens tratadas com

agentes químicos mostram o efeito do aditivo em modificar a ação tamponante e a fração mineral em forragens. Siqueira (2005) quantificou, no momento da ensilagem, poder tampão de 24,4 e.mg de HCL/100g de MS para a cana-de-açúcar ensilada queimada e com 1,0% de NaOH. Da mesma forma, a natureza alcalina do óxido e carbonato de cálcio resultou em forragens com valores de pH superiores. Ainda segundo a Tabela 3, os dados de carboidratos solúveis apresentam valores próximos ao relatado por Queiroz (2006) que, trabalhando com cana-de-açúcar tratada com aditivos químicos e microbianos, obteve teores de aproximadamente 23% de CHO'S no momento da ensilagem, para a variedade RB 72-454 (a mesma utilizada neste experimento). A capacidade fermentativa calculada para os diferentes tratamentos apresenta valores superiores aos indicados em literatura não se caracterizando, portanto, como um fator limitante para um adequado padrão de fermentação. De acordo com Weissbach e Honig 1996 apud Oude Elferink et al. (2000) forragens com teores insuficientes de carboidratos fermentescíveis ou com baixa porcentagem de matéria seca apresentam baixo coeficiente de fermentação (<35). Por outro lado, forragens com coeficiente de fermentação superior a 35 possuem quantidade suficiente de substrato para o processo fermentativo. De fato, a capacidade fermentativa apresentada pela cana-de-açúcar é bem superior ao limite mínimo proposto por esses autores.

2.2.3.2 Avaliação das perdas durante o processo de conservação

As perdas fermentativas em silagens de cana-de-açúcar podem apresentar valores elevados em decorrência da alta concentração de açúcares solúveis e de microrganismos indesejáveis.

Diante desse fato, a Tabela 4 mostra que aditivos químicos contendo fontes de carbonato ou óxido de cálcio foram efetivos em reduzir as perdas totais e a produção de gases nesses materiais, resultando em silagens com maiores recuperações de MS no momento da abertura. O tratamento com 1,5% de cal virgem aparentemente foi o mais efetivo em reduzir as perdas totais. Ainda segundo a Tabela 4, silagens tratadas com *L. buchneri* ou gesso apresentaram produção de gases, perdas totais e recuperação de matéria seca similares ao tratamento controle. Os valores apresentados na Tabela 4 para esses tratamentos estão de acordo com Pedroso et al. (2005) que, conservando a

cana-de-açúcar sem aditivo por 90 dias, obteram perdas totais de MS de aproximadamente 31,0%.

Tabela 4 - Perdas e produção de efluente das silagens de cana-de-açúcar tratadas com aditivos químicos e microbianos

Tratamentos	Perdas totais (% MS)	Perdas gasosas (% MS)	Prod. Efluente (kg/ton MV)	Recuperação de MS (%)
Controle	34,31 ^a	32,11 ^a	31,26 ^{abcd}	65,69 ^c
<i>L. buchneri</i>	35,78 ^a	32,83 ^a	41,89 ^a	64,22 ^c
Cal virgem 1,0%	16,90 ^{bc}	15,12 ^b	20,55 ^{cd}	83,11 ^{ab}
Cal virgem 1,5%	15,90 ^c	14,16 ^b	19,68 ^d	84,11 ^a
Calcário 1,0%	20,00 ^{bc}	17,19 ^b	32,82 ^{ab}	80,01 ^{ab}
Calcário 1,5%	21,00 ^b	18,47 ^b	30,07 ^{bcd}	79,00 ^b
Gesso 1,0%	34,10 ^a	31,82 ^a	31,78 ^{abc}	65,90 ^c
C.V. (%)	7,98	9,18	16,13	2,67

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05);

As doses dos aditivos estão expressas com base na matéria verde;

L. buchneri = 2 g do produto comercial/ ton de MV;

Na literatura podem ser encontrados alguns trabalhos mostrando o efeito de agentes alcalinizantes na redução das perdas em silagens de cana-de-açúcar. Balieiro Neto (2005b), avaliando o efeito de doses de cal virgem em silagens de cana-de-açúcar, observaram perdas totais e recuperação de matéria seca de 20 e 80% respectivamente, para as forragens tratadas com 2% de cal virgem. Seguindo a mesma tendência, Oliveira et al. (2004) encontraram recuperações de matéria seca de 77% para as silagens de cana-de-açúcar aditivadas com 0,5% de cal hidratada contra 72,1% para o tratamento controle. Siqueira (2005) observou produção de gases de 6,0% da MS nas silagens obtidas de cana queimada e tratadas com 1,0% de hidróxido de sódio na matéria verde. Pedroso et al. (2007) encontraram redução das perdas totais e da produção de gases nas silagens tratadas com hidróxido de sódio nas doses de 1 a 3% da MV. De acordo com os autores, o tratamento com a maior dose de NaOH apresentou produção de gases de aproximadamente 5,0% da MS. A menor produção de gases encontrada nas silagens tratadas com NaOH pode ser justificada devido ao

caráter mais básico desse produto quando comparado ao óxido e carbonato de cálcio e, possível, maior efeito osmótico.

Apesar dos benefícios obtidos em silagens de cana-de-açúcar, Owens, Meiske e Goodrich (1969) não encontraram o mesmo comportamento em silagens de milho. Avaliando o efeito da adição de calcário na ensilagem de milho, estes autores observaram aumento das perdas totais de matéria seca (2,58% na silagem tratada contra 0,20% na silagem controle) e aumento da produção de gases (6,65% na silagem aditivada vs 4,70% da MS na silagem sem aditivo). Possivelmente, a extensão da fermentação seja a principal causa da elevação das perdas nessas silagens.

Entretanto, a análise conjunta dos dados de literatura e os resultados obtidos no presente estudo mostram que o tratamento de silagens de cana-de-açúcar com agentes alcalinizantes diminui as perdas totais e eleva a recuperação de MS. Provavelmente, as diferenças observadas na população microbiana e no perfil fermentativo dessas silagens, fazem com que a extensão da fermentação promovida pelo uso do agente alcalinizante apresente resultados antagônicos, estimulando as perdas gasosas em silagens de milho e, no caso da ensilagem de cana-de-açúcar diminuindo a fermentação alcoólica e reduzindo a produção de gases e perdas totais.

De fato, a alteração do pH e da fração mineral observadas nas forragens tratadas com fontes de óxido ou carbonato de cálcio (Tabela 3) sugere redução da atividade de água desses materiais, proporcionando ambiente desfavorável para o desenvolvimento de leveduras. Como resultado final, essas silagens apresentaram menores perdas durante o período de fermentação e maior recuperação de MS no momento da abertura. Além disso, a redução significativa da produção de gases observada na Tabela 4 para esses tratamentos, explica as menores perdas totais encontradas e pode ser considerada como indicativo da baixa atividade de microrganismos espoliadores.

De acordo com a Tabela 4, a utilização de aditivos químicos e microbianos não foi capaz de reduzir de forma significativa a produção de efluente em relação ao tratamento controle. Os valores apresentados para os diferentes tratamentos podem ser considerados baixos e estão de acordo com a literatura. Schmidt (2006), trabalhando com cana-de-açúcar colhida aos 18 meses de idade e ensilada sem aditivo e com uréia,

encontrou produção de efluente oscilando entre 35,6 e 42,5 kg/ton de MV. A baixa capacidade desses aditivos em alterar o teor de matéria seca das forragens tratadas explica a ausência de efeito observada para essa variável.

2.2.3.3 Perfil fermentativo das silagens

Na Tabela 5 são mostrados os dados referente ao perfil fermentativo das silagens de cana-de-açúcar.

Tabela 5 - Dinâmica fermentativa da silagem de cana-de-açúcar tratada com aditivos químicos e microbianos

Tratamentos	pH	CHO'S solúveis -----	Etanol % da MS -----	Ácido láctico -----
Controle	3,46 ^d	2,98 ^b	4,78 ^a	2,00 ^{abc}
<i>L. buchneri</i>	3,45 ^d	3,66 ^b	5,97 ^a	2,33 ^{abc}
Cal virgem 1,0%	4,09 ^b	6,50 ^{ab}	0,38 ^b	3,66 ^a
Cal virgem 1,5%	4,46 ^a	8,06 ^{ab}	0,37 ^b	3,40 ^{ab}
Calcário 1,0%	3,70 ^c	9,28 ^a	1,38 ^b	3,50 ^{ab}
Calcário 1,5%	3,83 ^c	8,36 ^{ab}	1,68 ^b	1,66 ^{bc}
Gesso 1,0%	3,43 ^d	3,68 ^b	4,60 ^a	0,46 ^c
C.V. (%)	2,1	37,3	29,9	33,5

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05);

As doses dos aditivos estão expressas com base na matéria verde;

L. buchneri = 2 g do produto comercial/ ton de MV;

De acordo com a Tabela 5, a maior dose de cal virgem resultou em silagem com elevado pH no momento da abertura. Os tratamentos com diferentes doses de calcário apresentaram valores estatisticamente semelhantes, porém inferiores ao observado para as silagens tratadas com 1,0% de cal virgem. Os tratamentos controle, *L. buchneri* e gesso resultaram em silagens mais ácidas, com valores de pH significativamente semelhantes entre si. A reduzida ação tamponante e alcalinizante do gesso agrícola poderia explicar, ao menos em parte, o baixo pH encontrado para esse tratamento.

Ao se analisar a relação entre pH e ácido láctico na Tabela 5, depreende-se que silagens com menor pH apresentaram menores concentrações de ácido láctico. Ainda segundo a tabela, o tratamento da cana-de-açúcar com cal virgem e calcário a 1,0%

resultou em silagens com altos valores de pH e maiores concentrações de ácido láctico no momento da abertura. O inesperado sinergismo existente entre esses parâmetros, que contraria a tendência das fermentações clássicas, pode ser justificado analisando-se os dados de poder tampão mostrados na Tabela 3. A dissociação dos átomos presentes nos aditivos químicos geram cargas aniônicas capazes de neutralizar os íons hidrogênio oriundos dos ácidos orgânicos, principalmente o ácido láctico. Dessa forma, silagens com altos teores de ácido láctico apresentam maiores valores de pH devido à ação tamponante dos elementos formadores dos aditivos químicos, os quais neutralizam parte do ácido produzido. Além disso, o caráter básico do óxido e carbonato de cálcio eleva o pH da forragem fresca fazendo com que essas silagens apresentem maior pH mesmo em concentrações semelhantes de ácido láctico. Por outro lado, o tamponamento dos ácidos produzidos pela fermentação serve de estímulo para a maior intensidade de conversão dos açúcares solúveis em ácido láctico, aumentando a concentração desse produto final e, com isso, evitando a produção de etanol (Tabela 5).

A significativa correlação positiva entre pH e concentração de ácido láctico ($R=0,52$) observada nas silagens tratadas com agentes alcalinizantes (Tabela 5) tem sido relatada na literatura por diversos autores.

Klosterman et al. (1960) concluíram que o carbonato de cálcio é um dos aditivos mais eficientes em aumentar o teor de ácidos orgânicos nos materiais ensilados. Segundo esses autores, esse aditivo neutraliza parte do ácido produzido, resultando em silagens com maior pH e com fermentações mais extensas. Owen, Meiske e Goodrich (1969) trabalhando com 1,0% de calcário em silagem de milho, encontraram valores de pH de 4,3 para as silagens aditivadas contra 3,9 para as silagens controle. Estes autores encontraram 7,91 % de ácido láctico na silagem tratada com calcário contra valores de aproximadamente 4,0% para a silagem controle. Segundo Klosterman et al. (1960), o tratamento da silagem de milho com 1,0% de calcário resultou em pH final de 4,3 contra 3,8 para a silagem controle. A utilização desse aditivo também elevou a concentração de ácido láctico na matéria seca (8,13% na silagem aditivada vs 6,38% no tratamento controle). Vieira et al. (2004), trabalhando com silagens de sorgo tratadas com a combinação uréia e carbonato de cálcio, observaram que a mistura dos aditivos elevou de forma significativa o pH final e as concentrações dos ácidos acético e láctico.

Segundo estes autores, provavelmente ocorreu um somatório de efeito tamponante dos sais de amônio e cálcio. Alcântara et al. (1989), trabalhando com a adição de hidróxido de sódio à silagem de cana-de-açúcar, observaram elevação significativa da concentração de ácido láctico; o tratamento com NaOH resultou em silagens com 2,91% de ácido láctico na matéria seca contra 1,52% para as silagens controle. Para a variável pH, esses autores não obtiveram diferença significativa. Castrillón, Shimada e Calderón (1978) adicionando NaOH à silagem de cana-de-açúcar observaram maior pH e teor de ácido láctico superior para as silagens tratadas, no momento da abertura.

Os altos valores de pH obtidos para as silagens tratadas com fonte de óxido de cálcio estão de acordo com os observados na literatura. Balieiro Neto et al. (2005b), trabalhando com diferentes doses de cal virgem em silagem de cana-de-açúcar, observaram elevação significativa dos valores de pH final (4,44 para as silagens com 1,0% de CaO contra 3,66 para o tratamento controle). Cavali et al. (2006), ao adicionar 1,0 e 1,5% de cal virgem a silagem de cana-de-açúcar, observaram valores de 4,3 e 4,8, respectivamente. De acordo com Pedroso et al. (2007), silagens de cana-de-açúcar tratadas com agentes alcalinizantes geralmente apresentam pH superior ao nível máximo considerado adequado à estabilização de forragens ensiladas.

A inesperada correlação positiva existente na relação ácido láctico e pH final das silagens tratadas com agentes alcalinizantes, aliado a relativa resistência das leveduras em se desenvolver em ambientes ácidos, fazem do pH uma variável pouco efetiva em prever a qualidade das silagens de cana-de-açúcar. Este fato pode ser observado na Tabela 4, que mostra menores perdas de MS e produção de gases para as silagens tratadas com fontes de óxido ou carbonato de cálcio. O mesmo comportamento pode ser observado para os dados de recuperação de carboidratos solúveis e produção de etanol. De acordo com a Tabela 5, as silagens tratadas com fontes de óxido ou carbonato de cálcio apresentaram alta recuperação de carboidratos solúveis residuais. Quando comparadas ao tratamento controle, essas silagens apresentaram diminuição significativa na produção de etanol. Certamente, o tratamento da cana-de-açúcar com agentes alcalinizantes sugere efeito inibidor do aditivo em relação ao crescimento de leveduras, pois as silagens tratadas com estes produtos apresentaram diminuição da

fermentação alcoólica, elevada concentração de carboidrato solúvel e menor produção de gases e perdas totais, mesmo apresentando valores de pH relativamente altos.

A redução da produção de álcool e maior recuperação de carboidratos solúveis por meio do uso de aditivos químicos já foi reportada na literatura por diversos pesquisadores. De acordo com Junqueira (2006), a utilização de 2,0% de uréia na massa verde da cana-de-açúcar resultou em teor de etanol de 2,6% da MS e recuperação de carboidratos solúveis de 5,82% da MS. Alcântara et al. (1989) trabalhando com silagem de cana-de-açúcar tratada com 3,0 % de hidróxido de sódio na base seca, observaram concentrações significativamente menores de etanol (0,22 vs 1,45% da MS para o tratamento controle) e valor superior de carboidratos solúveis (6,5% vs 4,4%). Castrillón, Shimada e Calderón (1978) trabalhando com NaOH em silagem de cana-de-açúcar encontraram reduções significativas na concentração de etanol; no tratamento controle, a silagem apresentou 5% de etanol; a adição de 4% de NaOH na MS reduziu esse valor para 0,9%. Pedroso et al. (2007), utilizando as dosagens de 1, 2, e 3,0% de NaOH na massa verde da cana-de-açúcar, verificaram redução no teor de etanol, de 3,06% na silagem controle para 2,4% da MS, na média das silagens tratadas com esse produto.

A redução da fermentação alcoólica e o aumento da recuperação de carboidratos solúveis obtidas em silagens de cana aditivadas com uréia são fortes indicadores da ação inibidora do aditivo sobre a população de fungos e leveduras (ALLI et al.,1983). Contudo, a intensa redução no teor de etanol com a utilização de agentes alcalinizantes poderia sugerir maior efeito desses produtos na atividade de leveduras.

O inadequado perfil fermentativo observado nas silagens controle e tratadas com *L. buchneri* ou gesso pode ser justificado pela elevada tolerância das leveduras ao ambiente ácido. Segundo McDonald, Henderson e Heron (1991), esses microrganismos não são inibidos pelo baixo pH encontrado nas silagens, podendo sobreviver em pH variando de 3,5 a 6,5, sendo que algumas espécies são capazes de se desenvolver sob pH inferior a 2,0. Diante desse fato, a significativa redução do pH para esses tratamentos observado na Tabela 5 aparentemente se mostrou ineficiente para o controle das leveduras. Além disso, o alto consumo de carboidratos solúveis e o significativo aumento da produção de etanol nessas silagens são constatações da

intensa atividade desses microrganismos espoliadores, resultando nas maiores perdas totais e gasosas relatadas na Tabela 4. O alto teor de açúcares solúveis na cana-de-açúcar favorece a proliferação de leveduras, resultando na elevada produção de etanol e CO₂ e intensa perda de energia.

Pedroso et al. (2005), trabalhando com silagem de cana-de-açúcar sem aditivos, observaram desaparecimento de 74% de carboidratos solúveis durante 90 dias de fermentação. De acordo com os dados a Tabela 3 e 5, a média dos tratamentos controle, *L. buchneri* e gesso agrícola apresentaram desaparecimento de carboidratos solúveis de aproximadamente 84% da MS durante os mesmos 90 dias de fermentação. Andrade e Ferrari Júnior (2003) e Pedroso et al. (2005), ensilando cana-de-açúcar sem aditivos, encontraram concentrações de etanol de 5,75 e 6,81% da MS, respectivamente, valores semelhantes aos obtidos nesse trabalho para os tratamentos controle, *L. buchneri* e gesso.

Segundo McDonald, Henderson e Heron (1991), a produção de etanol representa perdas de 48,9% de MS dos substratos, sendo essa perda composta principalmente por carboidratos solúveis. Os dados observados neste trabalho ratificam essa informação: os tratamentos controle, *L. buchneri* e gesso agrícola apresentaram elevação significativa nos teores de etanol (Tabela 5) e, dessa forma, resultaram nas silagens com maiores perdas de MS (Tabela 4). De fato, a utilização de fonte de sulfato de cálcio e do aditivo microbiano *L. buchneri* apresentou, no presente estudo, desempenho semelhante ao tratamento controle para as variáveis até então analisadas. O desempenho insatisfatório das silagens aditivadas com gesso é coincidente com a expectativa original, uma vez que esse tratamento foi adotado como controle negativo. Entretanto, a adição de *L. buchneri* foi explorada como tratamento controle positivo com base em seu histórico de resultados favoráveis (PEDROSO, 2003; SIQUEIRA, 2005; SCHMIDT, 2006) e os resultados obtidos nesse estudo contrariam essa tendência, mostrando-se semelhante às silagens não aditivadas. Não há evidências aparente que justifique tal comportamento, embora o tratamento controle tenha apresentado perfil de fermentação superior ao esperado.

2.2.3.4 Valor nutritivo das silagens no momento da abertura

Os dados referentes ao valor nutritivo das silagens de cana-de-açúcar tratadas com aditivos químicos e microbianos são apresentados na Tabela 6. Conforme esperado, a utilização de aditivos químicos aumentou significativamente os teores de cinza das silagens em relação ao tratamento controle e à silagem tratada com aditivo microbiano. Os maiores teores foram obtidos para os tratamentos com as diferentes doses de cal virgem e para o tratamento contendo a maior dose de calcário.

Tabela 6 - Valor nutritivo das silagens de cana-de-açúcar no momento da abertura dos silos experimentais

Tratamento	Cinzas	PB	FDN	FDA	HEMI	DVIVMS	DVIVMO
	----- % da MS -----						% da MO
Controle	1,75 ^d	3,98 ^a	67,10 ^a	43,78 ^a	23,32 ^a	48,74 ^d	47,96 ^d
<i>L. buchneri</i>	2,13 ^d	3,88 ^a	65,12 ^a	42,25 ^a	22,88 ^a	49,06 ^d	48,30 ^d
Cal virgem 1,0%	6,09 ^{ab}	2,67 ^{cd}	52,56 ^{de}	35,40 ^c	17,16 ^c	70,45 ^b	67,47 ^b
Cal virgem 1,5%	7,29 ^a	2,51 ^d	54,83 ^{cd}	35,07 ^c	19,76 ^b	74,21 ^a	72,34 ^a
Calcário 1,0%	4,71 ^c	3,08 ^b	55,84 ^c	35,41 ^c	20,43 ^b	58,60 ^c	54,83 ^c
Calcário 1,5%	6,04 ^{ab}	2,87 ^{bc}	51,58 ^e	34,94 ^c	16,64 ^c	61,76 ^c	57,34 ^c
Gesso 1,0%	5,29 ^{bc}	3,85 ^a	61,83 ^b	39,10 ^b	22,73 ^a	52,06 ^d	50,33 ^d
C.V. (%)	12,4	3,7	2,4	3,4	4,9	2,4	2,5

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de

Tukey ($P < 0,05$);

As doses dos aditivos estão expressas com base na matéria verde;

L. buchneri = 2 g do produto comercial/ ton de MV;

O aumento fração mineral em silagens tratadas com aditivos químicos é relatado na literatura por diversos autores. Simkins, Baumgardt e Niedermeier (1965) tratando a silagem de milho com 0,5% de calcário na MV, observaram teor de matéria mineral de 6,9% na silagem tratada contra 5,2% da MS para o tratamento controle. Alcántara et al. (1989), utilizando 3,0% de hidróxido de sódio na MS da silagem de cana-de-açúcar observaram elevações significativas nos teores de cinzas (7,03% contra 4,60% da MS para a silagem sem aditivo). A utilização de doses baixas de calcário e hidróxido de sódio nos trabalhos de Simkins, Baumgardt e Niedermeier (1965) e Alcántara et al. (1989), resultaram em teores de cinzas próximos aos observados na Tabela 6 para as silagens tratadas com aditivos químicos. Pedroso (2007), ensilando cana-de-açúcar

com 2,0 e 3,0% de NaOH na MV, encontraram elevação significativa na matéria mineral com valores de 11,0 e 11,2% da MS, respectivamente. Provavelmente, os altos teores de cinzas observados por esse autor se devem as maiores doses de NaOH utilizadas.

No momento da abertura, a concentração de proteína bruta foi significativamente maior para os tratamentos controle, *L. buchneri* e gesso e, de acordo com os valores encontrados na forragem fresca (Tabela 3), esses tratamentos apresentaram aumento dessa fração ao longo do período de conservação. Ao se analisar os dados de perdas e padrão fermentativo, essas silagens apresentaram desempenho insatisfatório. Possivelmente, o desaparecimento de outras frações orgânicas solúveis e o ambiente favorável para a atividade de microrganismos espoliadores favoreceu o aumento da concentração da fração protéica dessas forragens. Em relação ao tratamento controle, a utilização de fontes de óxido ou carbonato de cálcio resultou em silagens com menores porcentagens de proteína bruta. Entretanto, comparando-se os teores da forragem fresca (Tabelas 3) com os da silagem no momento da abertura (Tabela 6), observa-se pequena variação dessa fração para esses tratamentos. Aparentemente, o processo fermentativo da cana-de-açúcar apresenta pouco efeito na degradação da proteína, uma vez que houve pequena alteração dessa fração ao longo do tempo e os valores obtidos para as silagens no momento da abertura (Tabela 6) estão dentro da amplitude preconizada por Faria (1993) para a forragem fresca (1,80 a 4,70% da MS).

Resultados referentes aos teores das frações fibrosas estão apresentados na Tabela 6 e, são similares aos obtidos na literatura. No momento da abertura, os maiores valores de FDN e FDA foram observados para os tratamentos controle e *L. buchneri*, seguidos pela silagem tratada com fonte de sulfato de cálcio. Para a fração hemicelulose, não foi verificado efeito entre esses tratamentos. Queiroz (2006) trabalhando com aditivos microbianos em silagens de cana-de-açúcar observou elevado teor de fibra nas silagens controle e tratada com dose comercial de *L. buchneri*. Segundo esse autor, a silagem controle apresentou teores de FDN e FDA de 73,7% e 45,61%, respectivamente e o tratamento com *L. buchneri* resultou em valores semelhantes, com 75,56% de FDN e 45,55% de FDA. Para a silagem de cana-de-açúcar colhida crua e sem aditivos, Siqueira (2005) constatou teores de FDN e FDA de 75,1% e 48,7% de FDA, respectivamente. Ao ensilar essa mesma forragem com *L.*

buchneri, esse autor obteve valores de 66,7% e 45,6% para as variáveis FDN e FDA, respectivamente. Segundo Rotz e Muck (1994), a perda de carboidratos solúveis por respiração e fermentações indesejáveis provoca aumento da participação percentual da fração fibrosa na forragem.

De acordo com a Tabela 6, a utilização de fontes de óxido ou carbonato de cálcio foi efetiva em reduzir a concentração de componentes da parede celular nas silagens aditivadas em relação ao tratamento controle. No momento da abertura dos silos, diminuições significativas foram observadas para as variáveis FDN e hemicelulose nas silagens tratadas com 1,0% de cal virgem e com 1,5% de calcário. Segundo Klopfenstein (1978), o tratamento de resíduos fibrosos com agentes alcalinizantes resultou em solubilização parcial da hemicelulose e pouca alteração da fração celulósica.

Entretanto, a solubilização promovida pelo uso do carbonato de cálcio explica, em parte, os baixos teores dos componentes fibrosos encontrado nas silagens de cana-de-açúcar. Quando se analisa a utilização desse aditivo em silagens de milho e sorgo, observa-se pouca alteração dos teores de fibra. Segundo Vieira et al. (2004), o tratamento da planta de sorgo com calcário resulta em silagens com composição bromatológica semelhante à silagem controle. Simkins, Baumgardt e Niedermeier (1965), avaliando o valor nutritivo de silagens de milho sem aditivos e com 0,5% de calcário na MV, não observaram alteração significativa dos teores de matéria seca, proteína bruta, extrato etéreo, fibra bruta e extrativo não-nitrogenado entre as silagens.

De acordo com dados de literatura, o tratamento de materiais fibrosos com fontes de óxido ou hidróxido é efetivo em reduzir os componentes da parede celular. A maior solubilidade do óxido em relação ao carbonato sugere maior ação desse aditivo. Cavali et al. (2006), observaram efeito dos diferentes doses de cal virgem nas frações da parede celular da cana-de-açúcar. Segundo esses autores, doses de 1,73 e 1,49% de CaO resultaram em silagens com teores mínimos de FDN e FDA (38,6 e 22,5%, respectivamente). Balieiro Neto et al. (2005c) observaram menores teores de FDN e FDA na silagem de cana-de-açúcar tratada com 2,0% de cal virgem (49,47 e 36,52%, respectivamente), valores semelhantes aos obtidos nesse trabalho para os tratamentos contendo óxido ou carbonato de cálcio.

A análise comparativa da fração fibrosa da forragem fresca (Tabela 3) e da silagem (Tabela 6) mostra que durante o período de fermentação a silagem de cana-de-açúcar sem aditivo apresentou acréscimo de 14, 11 e 2,7 unidades percentuais nas variáveis FDN, FDA e hemicelulose, respectivamente. Para essa mesma silagem, Pedroso (2007) encontraram acréscimo de 9,2 e 6,6 unidades percentuais para as variáveis FDN e FDA, respectivamente. O tratamento com agentes alcalinizantes alterou esse comportamento. As silagens aditivadas com fontes de óxido ou carbonato de cálcio apresentaram incremento médio de apenas 1,7 unidades percentuais para a FDN e de 4,5 unidades percentuais para a FDA. No caso da hemicelulose, houve solubilização dessa fração ao longo dos 90 dias de conservação. Balieiro Neto et al. (2005c) também encontraram significativa solubilização da hemicelulose na silagem de cana-de-açúcar aditivada com 2,0% de cal virgem. Pedroso (2003) obteve, para a silagem de cana-de-açúcar aditivada com 2,0% de NaOH, acréscimo dos teores de FDN e FDA de 1,6 e 1,8 unidades percentuais, respectivamente. Segundo Schmidt (2006), a redução de 4,1 unidades percentuais nos teores de FDN na silagem de cana aditivada com uréia em relação à silagem controle ocorreu devido a menor perda de matéria seca encontrada na silagem tratada, o que determinou o menor aumento relativo dessa variável. De acordo com Rotz e Muck (1994), silagens bem manejadas apresentam aumento nas concentrações de FDN e FDA, variando de 1 a 6% em relação aos teores originalmente presentes na forragem.

Os dados referentes à digestibilidade da matéria seca e matéria orgânica podem ser obtidos na Tabela 6. De forma geral, o mesmo comportamento foi observado para as duas variáveis em todos os tratamentos. A ensilagem da cana-de-açúcar com *L. buchneri* ou gesso agrícola resultou em silagens com coeficientes de digestibilidade menores e semelhantes ao tratamento controle. Siqueira (2005), ao ensilar a cana-de-açúcar crua e tratada com *L. buchneri*, encontrou coeficiente de digestibilidade da MS de aproximadamente 50%, valor muito próximo ao observado na Tabela 6 para os tratamentos controle e *L. buchneri*.

A utilização de fontes de óxido ou carbonato de cálcio elevou significativamente a digestibilidade da silagem de cana-de-açúcar em relação ao tratamento controle. Os maiores coeficientes foram observados para as silagens com 1,5% de cal virgem,

seguido do tratamento com 1,0% do mesmo aditivo. Balieiro Neto et al. (2005c) observaram que o tratamento da variedade de cana-de-açúcar 86-2480 com 2,0% de cal virgem, resultou em silagens com 79,23% de digestibilidade *in vitro* da matéria seca. Cavali et al. (2006), trabalhando com diferentes níveis de CaO, estimaram valores máximos de digestibilidade *in vitro* da matéria seca de 81,2% para a silagem de cana-de-açúcar aditivada com 1,8% de cal virgem. Pedroso et al. (2007) relataram valores máximos de 67,3% de DVIVMS para a silagem de cana tratada com 3,0% de NaOH.

Os dados apresentados na Tabela 6 mostram aumento na digestibilidade da silagem de cana-de-açúcar aditivada com calcário em relação a silagem controle. Os reduzidos teores de FDN, FDA e hemicelulose observados nos tratamentos contendo carbonato de cálcio (Tabela 6) possivelmente justificam os altos coeficientes de digestibilidade. Entretanto, alguns trabalhos de literatura não observaram efeito desse aditivo para outros volumosos. Essig (1968) não observou diferença significativa na digestibilidade das frações matéria orgânica, celulose, proteína bruta e extrato etéreo em silagens milho sem aditivo e tratadas com 1,0% de calcário na MV. Klosterman et al. (1960) trabalhando com o mesmo volumoso, observaram valores de digestibilidade da matéria orgânica de 67,1% e 67,4%, para a silagem controle e tratada com 1,0% de calcário, respectivamente. Da mesma forma, Vieira et al. (2004) não encontraram elevação significativa da digestibilidade *in vitro* da MS da silagem de sorgo tratada com 0,5% de carbonato de cálcio na MV (57,52% no tratamento controle versus 61,21% na silagem tratada).

Quando comparado à silagem controle, a utilização de fontes de óxido ou carbonato de cálcio no momento da ensilagem reduziu as perdas totais e gasosas e inibiu a fermentação alcoólica. Dessa forma, o favorecimento do perfil fermentativo, a redução das perdas durante o armazenamento e a solubilização parcial da hemicelulose contribuíram para a menor participação da fração fibrosa na matéria seca e resultou em silagens com maiores coeficientes de digestibilidade. De acordo com Landell et al. (2002), quanto maior o teor de FDN da cana-de-açúcar e menor a digestibilidade dessa fração, menor o consumo desse volumoso. Dessa forma, a utilização de agentes alcalinizantes no momento da ensilagem se apresenta como estratégia interessante para a obtenção de silagens com potencial para aumento do

valor alimentar das silagens. Apesar disso, a literatura disponível apresenta poucas informações sobre o desempenho de animais recebendo silagens de cana aditivadas com agentes alcalinos. Até o presente momento, os dados parciais reportados por Mari¹ (informação verbal) não demonstraram benefício de desempenho de animais alimentados com silagens contendo esses aditivos.

2.2.3.5 Estabilidade aeróbia das silagens

Após a silagem ser exposta ao ar, ocorrem picos de aumento de temperatura devido à ação de fungos e leveduras. Os principais substratos utilizados no processo de respiração desses organismos são os carboidratos solúveis e o ácido lático, substâncias comumente encontradas em elevadas concentrações em silagens de cana-de-açúcar. Dessa forma, a atividade microbiana resulta em elevação do pH, aquecimento da massa de forragem, alteração do valor nutritivo e perdas de matéria seca durante o período do pós-abertura.

Na Tabela 7 é apresentada a análise descritiva para todas as variáveis analisadas durante o ensaio de estabilidade aeróbia. De acordo com a tabela, todos os parâmetros foram afetados, mostrando que tanto o fator tratamento quanto o fator tempo e as interações entre eles modificaram de forma significativa o valor nutritivo e a composição química das silagens durante o período de exposição aeróbia.

¹ Mari, L. J. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Tabela 7 - Análise descritiva para os parâmetros químico-bromatológicos estudados durante o período do pós-abertura

Variável ¹	Efeitos		
	Tratamento	Tempo	Tratamento x Tempo
CHO'S	*	*	*
pH	*	*	*
Cinzas	*	**	**
PB	*	*	*
FDN	*	*	*
FDA	*	*	*
HEMI	*	*	*
DVIVMS	*	*	*
DVIVMO	*	*	*

¹ CHO'S = carboidratos solúveis; Hemi = hemicelulose;

* (P < 0,01) ; ** (P < 0,05) ;

Tabela 8 - Evolução temporal dos valores de pH e carboidratos solúveis durante o ensaio de estabilidade aeróbia

Tratamento	Tempo (dias)			EPM	Equação de Regressão ¹
	0	5	10		
	pH				
Controle	3,45 ^D	3,88 ^B	4,23 ^B	0,17	Y=3,4493+0,07817*T
<i>L. buchneri</i>	3,45 ^D	3,87 ^B	4,24 ^B	0,15	Y=3,447+0,07863*T
Cal virgem 1,0%	4,09 ^{Bc}	5,50 ^{Bb}	8,70 ^{Aa}	0,15	Y=4,0925+0,1038*T+0,03565*T ²
Cal virgem 1,5%	4,46 ^A	4,65 ^B	4,52 ^B	0,15	Y=4,45
Calcário 1,0%	3,70 ^{Cb}	7,90 ^{Aa}	7,80 ^{Aa}	0,15	Y=3,6975+1,2717*T-0,08615*T ²
Calcário 1,5%	3,83 ^{Cb}	8,02 ^{Aa}	8,16 ^{Aa}	0,15	Y=3,83+1,242*T-0,0809*T ²
Gesso 1,0%	3,43 ^{Db}	4,17 ^{Bab}	4,53 ^{Ba}	0,15	Y=3,4263+0,1089*T
EPM	0,02	0,12	0,09		
	Carboidratos solúveis (% da MS)				
Controle	2,98 ^A	8,60 ^C	3,02 ^D	0,82	Y=2,9767+2,2443*T-0,2239*T ²
<i>L. buchneri</i>	3,66 ^A	8,17 ^C	3,36 ^D	0,71	Y=3,6625+1,8313*T-0,1862*T ²
Cal virgem 1,0%	6,50 ^{Ab}	13,55 ^{ABCa}	14,81 ^{Aa}	0,71	Y=6,495+1,9895*T-0,1158*T ²
Cal virgem 1,5%	8,06 ^A	12,58 ^{ABC}	11,46 ^{AB}	0,71	Y=8,055+1,468*T-0,1128*T ²
Calcário 1,0%	9,28 ^{Ab}	15,05 ^{ABa}	9,27 ^{ABCa}	0,71	Y=9,28+2,3105*T-0,2312*T ²
Calcário 1,5%	8,36 ^{Ab}	16,48 ^{Aa}	7,48 ^{BCDb}	0,71	Y=8,3575+3,3373*T-0,3426*T ²
Gesso 1,0%	3,68 ^{Ab}	10,62 ^{BCa}	5,41 ^{CDb}	0,71	Y=3,6825+2,6018*T-0,243*T ²
EPM	0,42	0,42	0,42		

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey (P<0,05);

As doses dos aditivos estão expressas com base na matéria verde;

L. buchneri = 2 g do produto comercial/ ton de MV;

¹ (P<0,01); T: tempo em dias;

Uma das formas de se mensurar a estabilidade aeróbia de silagens é por meio do monitoramento do pH durante o período pós-abertura. De acordo com a Tabela 8, as

silagens de cana-de-açúcar controle, aditivada com *L. buchneri* ou com cal virgem a 1,5% apresentaram pH constante durante dez dias de exposição aeróbia, resultando em silagens mais estáveis e com baixa atividade de microrganismos aeróbios. Balieiro Neto et al. (2005a) também não observaram alteração significativa do pH pós-abertura para as silagens de cana-de-açúcar tratadas com 1,0 e 2,0% de CaO, com valores oscilando entre 4,42 e 6,51. Siqueira (2005) encontrou pequena variação de pH para silagens de cana-de-açúcar tratadas com benzoato de sódio ou *L. buchneri*. Junqueira (2006) verificou que a silagem de cana-de-açúcar aditivada com 2,0% de uréia manteve o pH estável por aproximadamente 190 horas de exposição aeróbia. Ainda segundo a Tabela 8, todos os demais tratamentos apresentaram tendência de elevação dessa variável ao longo do tempo, sendo constatados aumentos significativos para os tratamentos com diferentes doses de calcário no quinto dia de exposição aeróbia e para o tratamento com 1,0% de cal virgem no décimo dia. Essa tendência de aumento de pH é, possivelmente, resultante do consumo de ácidos orgânicos, principalmente de láctico, por microrganismos aeróbios, originando silagens propensas ao aquecimento e à deterioração durante o período pós-abertura.

Durante o período de exposição aeróbia, silagens instáveis apresentam elevado desaparecimento de frações orgânicas solúveis. Na Tabela 8 são apresentados os dados referente aos teores de carboidratos solúveis ao longo da fase aeróbia. As equações de regressão mostram tendência de aumento dessa variável para todos os tratamentos, com posterior queda na fase final do ensaio. Entretanto, a comparação das médias ao longo dos tempos mostra aumento significativo apenas para as silagens contendo fonte de óxido de cálcio a 1,0%, carbonato de cálcio nas diferentes doses ou gesso agrícola. De forma geral, a manutenção dos açúcares solúveis da planta em aerobiose é um forte indicativo da eficiência dos aditivos na inibição de microrganismos indesejáveis. Nesse contexto, os aditivos químicos contendo fontes de óxido ou carbonato de cálcio merecem destaque especial, pois, além de evitar fermentações indesejáveis durante a fase anaeróbica, esses agentes também foram efetivos em preservar as elevadas concentrações de açúcares solúveis no período pós-abertura.

Figura 1 - Acúmulo de temperatura durante cinco dias de exposição no ensaio de estabilidade aeróbia em silagens

Como mencionado anteriormente, o monitoramento da temperatura da massa de silagem durante o período de exposição ao ar permite mensurar, de forma indireta, a intensidade da atividade de microrganismos espoliadores. Dessa forma, na Figura 1 são apresentados os dados referentes ao acúmulo de temperatura na primeira metade do ensaio de estabilidade aeróbia. Como pode ser observado, a utilização de doses de cal virgem reduziu de forma significativa o aquecimento da massa de silagem nesse período. De forma contrária, os tratamentos contendo carbonato de cálcio apresentaram aumento significativo para essa variável, não se mostrando efetivo em evitar o aquecimento do painel do silo. Pedroso (2003) observou acúmulo de temperatura para a silagem controle e para a tratada com 3,0% de NaOH de 36 e 19°C, respectivamente, durante os primeiros cinco dias de exposição aeróbia. Nesse mesmo intervalo de tempo, Junqueira (2006) observou acúmulo de 30,25 e 25,88 °C, para as silagens de cana sem aditivo e tratada com 2,0% de uréia, respectivamente. As diferenças na frequência de aquisição de dados durante o ensaio de estabilidade aeróbia possivelmente justifica os diferentes valores obtidos por Pedroso (2003) e Junqueira (2006). Junqueira (2006) também observou que a silagem de cana tratada com 2,0% de uréia apresentou elevação de duas unidades percentuais do pH após 192 horas do início do ensaio de estabilidade aeróbia. A estabilidade do pH durante oito dias de exposição ao ar contribuiu para o baixo acúmulo de temperatura verificado para esse

tratamento durante os primeiros cinco dias do pós-abertura. Os dados apresentados na Tabela 8 mostram que as silagens aditivadas com fontes de carbonato de cálcio apresentaram elevação significativa do pH no quinto dia de exposição aeróbia. Esse comportamento explica o alto aquecimento da massa de forragem verificado na primeira fase do ensaio para as silagens contendo carbonato de cálcio.

Figura 2 - Acúmulo de temperatura observado durante dez dias de exposição no ensaio de estabilidade aeróbia em silagens

Ao se analisar os dez dias de exposição aeróbia (Figura 2), constata-se que somente a adição de 1,5% de cal virgem evitou o aquecimento da massa de forragem, apresentando reduzido acúmulo de temperatura. O baixo acúmulo térmico observado na Figura 2 e a manutenção do pH apresentada na Tabela 8 para o tratamento contendo 1,5% de cal virgem mostra desempenho favorável para essa dose do aditivo. A adição de 1,0% de cal virgem não foi efetiva em evitar o aquecimento da silagem, apresentando somatório de temperatura significativamente maior em relação à silagem aditivada com 1,5% de cal virgem. De acordo com a Tabela 8, o tratamento contendo a dose de 1,0% de cal virgem apresentou aumento significativo do pH no décimo dia de observação sendo, portanto, um indicativo do desenvolvimento de microrganismos indesejáveis e do consumo de ácidos orgânicos. O resultado final dessas alterações biológicas foi o aquecimento do painel do silo verificado na fase final do ensaio de

estabilidade aeróbia. A utilização de calcário novamente apresentou elevado somatório de temperatura e também manteve os altos valores de pH observados a partir do quinto dia de exposição aeróbia (Tabela 8). Em dez dias de ensaio de estabilidade aeróbia, Queiroz (2006) observou acúmulo de 45,92 °C para a silagem de cana-de-açúcar aditivada com 1,0% de uréia. Junqueira (2006), ao tratar a silagem de cana-de-açúcar com 2,0% de uréia, observou acúmulo superior nesse mesmo período, com valores de aproximadamente 100 °C.

Nas Figuras 3 e 4 são apresentados os dados referentes à estabilidade aeróbia e temperatura máxima das silagens de cana-de-açúcar. A perda de estabilidade na primeira metade do ensaio e a alta temperatura máxima observada para os tratamentos contendo calcário são indicativos da ação de microrganismos indesejáveis. Como observado anteriormente, a primeira fase do ensaio de estabilidade aeróbia foi crítica para esses tratamentos, pois, resultaram em elevação significativa do pH (Tabela 8) e maior acúmulo de temperatura (Figura 1). A silagem tratada com 1,0% de cal virgem apresentou comportamento semelhante aos tratamentos contendo diferentes doses de calcário, porém a perda de estabilidade e os picos de temperatura ocorreram na fase final do período do pós-abertura, justamente no período em que ocorreu elevação do pH (Tabela 8) e maior acúmulo de temperatura (Figura 2).

Figura 3 - Estabilidade aeróbia das silagens de cana-de-açúcar submetidas aos diferentes tratamentos

Figura 4 - Temperatura máxima observada durante o ensaio de estabilidade aeróbia

Contrariamente, as Figuras 3 e 4 mostram que a silagem de cana-de-açúcar tratada com 1,5% de cal virgem se manteve estável durante todo o período de exposição aeróbia e também apresentou pico de temperatura significativamente menor. O desempenho superior para esse tratamento é, possivelmente, resultante da manutenção do pH durante todo o período do pós-abertura (Tabela 8) e dos baixos acúmulos de temperatura observados nas Figuras 1 e 2. Os dados de Balieiro Neto et al. (2005a) também mostram desempenho favorável para as altas doses de cal virgem. Estes autores encontraram estabilidade de 204 horas e temperatura máxima de 26,7 °C para a silagem de cana-de-açúcar tratada com 2,0% de CaO e exposta ao ar por nove dias. Junqueira (2006) encontrou estabilidade aeróbia de 114 horas e temperatura máxima de 39°C, para a silagem de cana-de-açúcar aditivada com 2,0% de uréia. Queiroz obteve 43 horas de estabilidade e temperatura máxima de 38,05 °C para a silagem de cana tratada com 1,0% de uréia. Kung Jr. et al. (2000), avaliando a estabilidade aeróbia de silagem de milho tratada com 0,3% de hidróxido de amônio na massa verde, encontraram aumento significativo da estabilidade aeróbia (82 horas) e pico de temperatura reduzido, de cerca de 26°C. Novamente, os valores de temperatura

máxima e estabilidade aeróbia reforçam o desempenho favorável observado para o tratamento contendo 1,5% de óxido de cálcio.

Figura 5 - Perdas de matéria seca mensuradas durante os primeiros cinco dias de exposição ao ar das silagens de cana-de-açúcar

O bom padrão fermentativo obtido pelas silagens tratadas com fonte de carbonato de cálcio na fase anaeróbia não foi mantido durante o período do pós-abertura. Além de apresentar aquecimento significativo, as forragens tratadas com esse aditivo também tiveram as maiores perdas de matéria seca durante o período inicial do ensaio de estabilidade aeróbia, como pode ser observado na Figura 5. Possivelmente, a elevação do pH observada no quinto dia de exposição ao ar (Tabela 8) é um indicativo da degradação de ácido lático e poderia justificar o aquecimento e o desaparecimento da matéria seca para esses tratamentos.

De acordo com a Figura 5, as silagens de cana-de-açúcar tratadas com *L. buchneri*, cal virgem ou gesso apresentaram menores perdas de matéria seca no período pós-abertura, não diferindo estatisticamente do tratamento controle. O desempenho favorável encontrado para os tratamentos controle, *L. buchneri* ou gesso poderia ser explicado quando se avaliam os dados de perdas apresentados na Tabela 4 e o perfil fermentativo dessas silagens (Tabela 5). Na fase anaeróbia, esses tratamentos apresentaram elevado desaparecimento de matéria seca e perdas

gasosas, além de teor alto de etanol. Dessa forma, a reduzida disponibilidade de substrato não teria sido capaz de estimular o desenvolvimento de microrganismos aeróbios durante o período pós-abertura, o que resultaria em silagens com deterioração aeróbia reduzida e aquecimento moderado da massa de forragem nesse período. Contrariamente, o tratamento da silagem de cana-de-açúcar com fonte de óxido de cálcio, principalmente sob doses elevadas, sugere efeito inibidor do agente químico no desenvolvimento de microrganismos aeróbios. Possivelmente, a presença do aditivo foi efetiva manter o pH constante ao longo de todo o ensaio de estabilidade aeróbia e reduzir significativamente o aquecimento da massa de forragem durante a primeira fase do ensaio. Dessa forma, a alta concentração de açúcares solúveis recuperada no momento da abertura para esses tratamentos foi preservada durante o período de exposição aeróbia, o que resultou em silagens com perdas reduzidas de matéria seca. Siqueira (2005) observou recuperação de matéria seca de 94% durante os primeiros cinco dias de exposição aeróbia da cana-de-açúcar ensilada crua e tratada com 1,0% de NaOH.

Figura 6 - Perdas totais de matéria seca observada durante os dez dias do ensaio de estabilidade aeróbia das silagens de cana-de-açúcar

De acordo com a Figura 6, não foi observada diferença estatística para a variável perda de matéria seca total, com valor médio de 16,8% para todos os tratamentos. Junqueira (2006) determinou perdas de 13,85% de matéria seca para a silagem

controle e exposta ao ar durante dez dias, valor próximo ao observado neste trabalho para o mesmo tratamento. Ainda segundo Junqueira (2006), a adição de uréia a 2,0% no momento da ensilagem, resultou em redução significativa das perdas pós-abertura, atingindo 10,60% da MS, semelhante ao obtido para o tratamento com cal virgem a 1,5%. Queiroz (2006) adicionando 1,0% de uréia à silagem de cana, observou perdas de 11,49% durante dez dias de exposição ao ar.

De forma geral, dentre os tratamentos avaliados na fase anaeróbica, somente a utilização de cal virgem apresentou-se efetivamente duradoura durante o período pós-abertura. Na primeira metade do ensaio em aerobiose, ambas as doses foram efetivas em evitar a deterioração da massa de silagem. Apesar de não terem sido observadas diferenças significativas nas perdas totais de matéria seca, a análise das variáveis de estabilidade aeróbia e acúmulo total de temperatura mostra que somente o tratamento contendo 1,5% de óxido de cálcio manteve a silagem estável ao longo dos dez dias de exposição aeróbia.

2.2.3.6 Valor nutritivo da silagem de cana-de-açúcar durante o período pós-abertura

Durante o período pós-abertura alterações bromatológicas também ocorrem nas silagens exposta ao ar. Como visto anteriormente, o desenvolvimento de microrganismos sobre a massa de forragem promove desaparecimento de frações orgânicas solúveis favorecendo o aumento na concentração de componentes fibrosos na composição centesimal de alimentos fermentados. Dessa forma, a resistência da silagem a deterioração aeróbia promovida pelo uso de aditivos determina a magnitude das alterações no valor nutritivo.

Na Tabela 9 são apresentados os dados referentes às frações mineral e protéica das silagens durante o período pós-abertura. De acordo com a tabela, não houve alteração significativa do teor médio de cinzas ao longo do ensaio de estabilidade aeróbia para todos os tratamentos. De forma geral, silagens estáveis e que apresentaram pequena alteração nos teores de carboidratos solúveis (Tabela 8) também tenderam a apresentar teores de cinzas constantes ao longo do período pós-abertura. A análise isolada dos tempos de amostragem mostra que na silagem controle

e naquela tratada com aditivo microbiano apresentaram teor médio de cinzas significativamente inferior aos demais tratamentos, confirmando a hipótese de que aditivos químicos aumentam o teor de cinzas dos alimentos. Dessa forma, a grande amplitude de 1,33 a 7,94% observada na fração mineral (Tabela 9) pode ser atribuída, ao menos em parte, às variações na composição dos aditivos utilizados. Junqueira (2006) encontrou, em silagens de cana tratadas com *L. buchneri* e diferentes doses de uréia, oscilação média nos teores de cinzas de 3,70%, no início da exposição aeróbia, à 4,45% no final dos dez dias de avaliação.

Tabela 9 - Evolução temporal dos teores de proteína bruta e cinzas durante o ensaio de estabilidade aeróbia

Tratamento	Tempo (dias)			EPM	Equação de Regressão ¹
	0	5	10		
CINZAS (% da MS)					
Controle	1,75 ^D	1,57 ^C	1,33 ^C	0,15	Y=1,7593
<i>L. buchneri</i>	2,13 ^D	2,07 ^C	1,82 ^C	0,13	Y=2,1657
Cal virgem 1,0%	6,09 ^{AB}	7,09 ^A	6,30 ^{AB}	0,13	Y=6,0875+0,3777*T-0,03565*T ²
Cal virgem 1,5%	7,29 ^A	7,94 ^A	6,65 ^{AB}	0,13	Y=7,285+0,3242*T-0,0388*T ²
Calcário 1,0%	4,71 ^C	5,15 ^B	5,37 ^B	0,13	Y=4,7474
Calcário 1,5%	6,04 ^{AB}	6,88 ^A	6,98 ^A	0,13	Y=6,181+0,094*T
Gesso 1,0%	5,29 ^{BC}	5,38 ^B	5,72 ^{AB}	0,13	Y=5,2384
EPM	0,09	0,10	0,10		
PROTEÍNA BRUTA (% da MS)					
Controle	3,98 ^{Ab}	4,24 ^{Ab}	4,66 ^{ABa}	0,08	Y=3,9588+0,0686*T
<i>L. buchneri</i>	3,88 ^{Ac}	4,22 ^{Ab}	4,60 ^{ABa}	0,07	Y=3,8752+0,07175*T
Cal virgem 1,0%	2,67 ^{BCc}	3,10 ^{Cb}	3,70 ^{Da}	0,07	Y=2,6457+0,1027*T
Cal virgem 1,5%	2,51 ^{Cb}	2,62 ^{Cb}	3,14 ^{Ea}	0,07	Y=2,5125-0,01975*T+0,0082*T ²
Calcário 1,0%	3,08 ^{Bb}	3,93 ^{ABa}	4,23 ^{BCa}	0,07	Y=3,0775+0,2235*T-0,0108*T ²
Calcário 1,5%	2,87 ^{BCb}	3,69 ^{Bb}	4,09 ^{CDa}	0,07	Y=2,865+0,2073*T-0,00845*T ²
Gesso 1,0%	3,85 ^{Ac}	4,31 ^{Ab}	4,77 ^{Aa}	0,07	Y=3,8466+0,09225*T
EPM	0,03	0,03	0,03		

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey (P<0,05);

As doses dos aditivos estão expressas com base na matéria verde;

L. buchneri = 2 g do produto comercial/ ton de MV;

¹ (P<0,01); T: tempo em dias;

Ainda, de acordo com a Tabela 9, o teor de proteína bruta apresentou tendência de aumento para todos os tratamentos. As silagens de cana sem aditivo, tratada com *L. buchneri* ou com gesso agrícola apresentaram os maiores teores nos tempos analisados. Segundo Junqueira (2006), o tratamento da silagem de cana-de-açúcar

com *L. buchneri* apresentou, no primeiro dia do ensaio de estabilidade aeróbia teor de PB de 1,70% e, aumentou gradativamente até atingir 2,34% no décimo dia de estabilidade aeróbia. Assim como na fase anaeróbia, a fração protéica da silagem de cana-de-açúcar também parece ser pouco afetada por fermentações indesejáveis durante o período pós-abertura. Com isso, o aumento no teor de PB poderia ser atribuído ao desaparecimento de outras frações solúveis da matéria seca das silagens.

A análise das equações da Tabela 10 mostra tendência de aumento das variáveis FDN e hemicelulose para todos os tratamentos, exceto para a silagem de cana-de-açúcar tratada com 1,5% de cal virgem, que apresentou manutenção da fração FDN e redução dos teores de hemicelulose principalmente na fase final do período de exposição ao ar. Balieiro Neto et al. (2005c) trabalhando com cana-de-açúcar ensilada com 2,0% de cal virgem e exposta ao ar por nove dias, não observaram variação significativa da FDN e hemicelulose, com valores médios de 51% e 14,3%, respectivamente. Junqueira (2006) observou que a silagem de cana tratada com 2,0% de uréia apresentou teor de FDN relativamente estável ao longo dos dez dias de ensaio de estabilidade aeróbia, apresentando aumento progressivo de 55 para 57% de FDN. Siqueira (2005) observou no quinto dia do ensaio de estabilidade aeróbia, teor de 53,4% de FDN para a cana-de-açúcar ensilada após a queima e com 1,0% de NaOH. Dessa forma, os dados encontrados na Tabela 10 e os observados nos trabalhos de Balieiro Neto et al. (2005c), Junqueira (2006) e Siqueira (2005) permitem inferir que, na avaliação pós-abertura, a adição de doses de 1,5% e 2,0% de cal virgem à silagem de cana-de-açúcar resulta em valores de FDN e hemicelulose semelhantes ao tratamento com 1% de NaOH e teores de FDN inferiores ao tratamento contendo 2,0% uréia.

Tabela 10 - Evolução temporal das frações fibrosas durante o ensaio de estabilidade aeróbia

Tratamento	Tempo (dias)			EPM	Equação de Regressão ¹
	0	5	10		
FDN (% da MS)					
Controle	67,10 ^{Ab}	70,95 ^{Aab}	78,70 ^{Aa}	1,03	Y=66,9879+1,0344*T
<i>L. buchneri</i>	65,12 ^{ABc}	70,79 ^{Ab}	78,81 ^{Aa}	0,92	Y=65,0411+1,2986*T
CaO 1,0%	52,56 ^{Cb}	56,17 ^{Bab}	63,33 ^{Ba}	0,92	Y=52,4318+0,9721*T
CaO 1,5%	54,83 ^C	53,82 ^B	49,63 ^C	0,92	Y=54,9383-0,4255*T
Calcário 1,0%	55,84 ^{Cb}	69,19 ^{Aa}	74,87 ^{Aa}	0,92	Y=55,835+3,4387*T-0,1535*T ²
Calcário 1,5%	51,58 ^{Cb}	65,97 ^{Aa}	71,95 ^{ABa}	0,92	Y=51,58+3,717*T-0,168*T ²
Gesso 1,0%	61,83 ^{Bc}	67,54 ^{Ab}	76,22 ^{Aa}	0,92	Y=61,724+1,3507*T
EPM	0,30	0,47	0,73		
FDA (% da MS)					
Controle	43,78 ^{Ab}	45,85 ^{Aab}	49,94 ^{ABa}	0,82	Y=43,7995+0,568*T
<i>L. buchneri</i>	42,25 ^{Ab}	45,59 ^{Ab}	52,23 ^{Aa}	0,73	Y=42,2956+0,9219*T
CaO 1,0%	35,40 ^C	36,65 ^{BC}	40,09 ^{CD}	0,73	Y=35,4319+0,4183*T
CaO 1,5%	35,07 ^C	34,27 ^C	33,49 ^D	0,73	Y=35,0704
Calcário 1,0%	35,41 ^{Cc}	41,99 ^{ABb}	44,99 ^{BCa}	0,73	Y=35,3553+1,0414*T
Calcário 1,5%	34,94 ^{Cb}	40,46 ^{ABa}	43,38 ^{BCa}	0,73	Y=34,8996+0,9047*T
Gesso 1,0%	39,10 ^{Bc}	43,88 ^{Ab}	50,31 ^{ABa}	0,73	Y=39,1266+1,0821*T
EPM	0,20	0,39	0,51		
HEMICELULOSE (% da MS)					
Controle	23,32 ^{Ab}	25,24 ^{ABb}	28,88 ^{ABa}	0,37	Y=23,0419+0,5458*T
<i>L. buchneri</i>	22,88 ^{Ab}	25,20 ^{ABab}	26,57 ^{Ba}	0,33	Y=23,0652+0,3697*T
CaO 1,0%	17,16 ^{Cb}	19,52 ^{Cb}	23,24 ^{Ca}	0,33	Y=16,8868+0,6082*T
CaO 1,5%	19,76 ^{BCa}	19,55 ^{Ca}	16,14 ^{Db}	0,33	Y=19,7575+0,2802*T-0,0643*T ²
Calcário 1,0%	20,43 ^{ABb}	27,20 ^{Aa}	29,88 ^{Aa}	0,33	Y=20,4275+1,764*T-0,0819*T ²
Calcário 1,5%	16,64 ^{Cb}	25,51 ^{ABa}	28,57 ^{ABa}	0,33	Y=16,4625+2,3522*T-0,1159*T ²
Gesso 1,0%	22,73 ^{ABb}	23,66 ^{Bab}	25,91 ^{BCa}	0,33	Y=22,4623+0,3187*T
EPM	0,22	0,22	0,22		

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($P<0,05$);

As doses dos aditivos estão expressas com base na matéria verde;

L. buchneri = 2 g do produto comercial/ ton de MV;

¹ ($P<0,01$); T: tempo em dias;

Na Tabela 10 também podem ser observados os teores de FDA. Assim como para as frações FDN e hemicelulose, os teores de FDA apresentaram aumentos significativos ao longo do ensaio de estabilidade aeróbia para todas as silagens, exceto para os tratamentos contendo cal virgem. Novamente, a adição de fonte de óxido de cálcio, especialmente na maior dose, pareceu conferir estabilidade às frações FDN e FDA da silagem de cana-de-açúcar, com tendência de desaparecimento da fração hemicelulose na fase final do ensaio. Além disso, em todos os tempos analisados, a silagem de cana-de-açúcar aditivada com 1,5% de CaO apresentou baixos teores de FDN, FDA e hemicelulose.

A tendência de desaparecimento de compostos orgânicos durante a exposição ao ar também provocou alterações na digestibilidade das silagens. Como pode ser observado na Tabela 11, de forma geral todos os tratamentos apresentaram silagens menos digestíveis com o passar do tempo, resultado de aumento da participação da fração fibrosa na composição centesimal da matéria seca.

Tabela 11 - Evolução temporal da digestibilidade da silagem de cana-de-açúcar durante o ensaio de estabilidade aeróbia

Tratamento	Tempo (dias)			EPM	Equação de Regressão ¹
	0	5	10		
DVIVMS (% da MS)					
Controle	48,74 ^{Ca}	45,47 ^{Dab}	42,50 ^{Db}	0,84	Y=48,7109-0,6199*T
<i>L. buchneri</i>	49,06 ^{Ca}	45,28 ^{Db}	43,10 ^{Db}	0,78	Y=48,8595-0,5963*T
CaO 1,0%	70,45 ^A	67,54 ^B	66,68 ^B	0,78	Y=70,1925-0,3778*T
CaO 1,5%	74,21 ^A	72,97 ^A	75,62 ^A	0,78	Y=74,21-0,6363*T+0,0777*T ²
Calcário 1,0%	58,60 ^{Ba}	52,63 ^{Cb}	51,47 ^{Cb}	0,78	Y=58,6-1,6748*T+0,0962*T ²
Calcário 1,5%	61,76 ^{Ba}	54,38 ^{Cb}	52,20 ^{Cb}	0,78	Y=61,7625-1,9983*T+0,1042*T ²
Gesso 1,0%	52,06 ^{Ca}	49,21 ^{CDab}	47,28 ^{CDb}	0,78	Y=51,94-0,4777*T
EPM	0,37	0,38	0,38		
DVIVMO (% da MS)					
Controle	47,96 ^{Da}	45,71 ^{Ea}	40,77 ^{Db}	0,81	Y=48,1766-0,7126*T
<i>L. buchneri</i>	48,30 ^{Da}	45,41 ^{Ea}	40,80 ^{Db}	0,75	Y=48,4864-0,7502*T
CaO 1,0%	67,47 ^{Aa}	65,50 ^{Ba}	60,56 ^{Bb}	0,75	Y=67,7879-0,691*T
CaO 1,5%	72,34 ^A	72,12 ^A	73,34 ^A	0,75	Y=72,1804
Calcário 1,0%	54,83 ^{BCa}	52,00 ^{CDab}	48,87 ^{Cb}	0,75	Y=54,8662-0,5968*T
Calcário 1,5%	57,34 ^{Ba}	54,16 ^{Cab}	50,84 ^{Cb}	0,75	Y=57,3585-0,6508*T
Gesso 1,0%	50,33 ^{CDa}	46,97 ^{DEa}	42,40 ^{Db}	0,75	Y=50,4613-0,793*T
EPM	0,38	0,38	0,38		

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($P<0,05$);

As doses dos aditivos estão expressas com base na matéria verde;

L. buchneri = 2 g do produto comercial/ ton de MV;

¹ ($P<0,01$); T: tempo em dias;

A manutenção da digestibilidade da matéria seca para a silagem aditivada com 1,0% de cal virgem pode ser explicada pela estabilidade da fração FDA observada para esse tratamento na Tabela 10. Da mesma forma, os teores estáveis de FDN e FDA e a solubilização parcial da hemicelulose observadas na Tabela 10 para o tratamento contendo 1,5% de cal virgem favoreceram a manutenção da digestibilidade da matéria seca e orgânica ao longo do ensaio. Na Tabela 11 também são constatados elevados coeficientes de digestibilidade para a maior dose de cal virgem em todos os tempos de avaliação. Os valores encontrados na Tabela 11 estão dentro da amplitude encontrada

no trabalho de Balieiro Neto et al. (2005c) que, ao adicionar diferentes doses de cal virgem a silagem de cana-de-açúcar, observaram pequena alteração na digestibilidade da matéria seca no período pós-abertura para as silagens tratadas com 1,0 e 2,0%, obtendo valores médios de 71,6 e 79,36%, respectivamente, ao longo de nove dias de exposição aeróbia. Diante do exposto, segue-se que o tratamento da silagem de cana-de-açúcar com doses de cal virgem de 1,5% e, talvez superiores, resulte em silagens mais digestíveis no momento da abertura do silo. Além disso, a adição de altas concentrações do aditivo também é efetiva em manter os elevados coeficientes de digestibilidade ao longo do período de exposição ao ar indicando uma possível ação antifúngica e hidrolítica do agente químico, tanto no período de fermentação quanto durante o pós-abertura.

Possivelmente, a manutenção do pH, o baixo pico e acúmulo de temperatura observado em aerobiose e a maior estabilidade pós-abertura da silagem tratada com cal virgem à 1,5% são indicativos da baixa atividade de microrganismos espoliadores e da significativa diminuição das perdas de matéria seca observadas na primeira metade do ensaio de estabilidade para esse tratamento. Além disso, o desempenho favorável das variáveis de estabilidade aeróbia também se refletiu em pequena alteração de valor nutritivo para esse tratamento. Aparentemente, os indicadores de estabilidade aeróbia também parecem ser efetivos em prever o valor nutritivo da silagem de cana-de-açúcar durante o período de exposição aeróbia.

De forma geral, a utilização de altas doses de cal virgem em silagem de cana-de-açúcar, além de promover manutenção de parâmetros químico-bromatológicos durante o pós-abertura, também parece ser efetiva em evitar a deterioração aeróbia da silagem e pode ser utilizada como ferramenta para manter a estabilidade de painéis de silo susceptíveis ao aquecimento.

2.3 Conclusões

De forma geral, a adição de fontes de óxido ou carbonato de cálcio favoreceu o processo de ensilagem da cana-de-açúcar. Durante o período de conservação, a utilização desses aditivos promoveu redução das perdas totais e gasosas, inibição da fermentação alcoólica e maior recuperação de carboidratos e, resultou em silagem com

valor nutritivo se assemelhando a forragem fresca. Entretanto, para a fase aeróbia somente o tratamento com 1,5% de cal virgem foi efetivo em preservar o valor nutritivo da silagem e reduzir as perdas de matéria seca. Além disso, esse tratamento também evitou o aquecimento da massa de forragem.

Para fins práticos, a utilização de doses de cal virgem ou calcário entre 1,0% e 1,5% pode ser utilizada como ferramenta para melhorar o valor nutritivo da silagem de cana-de-açúcar.

Apesar de resultados positivos no controle de perdas, na inibição da fermentação alcoólica e na estabilidade aeróbia em silagens de cana-de-açúcar, a pesquisa ainda vem buscando respostas quanto ao efeito desses aditivos no metabolismo e na nutrição de ruminantes. Dessa forma, o estudo dessas variáveis permitiria o entendimento das possíveis variações de desempenho de animais recebendo volumosos tratados com esses aditivos químicos.

Os tratamentos com *L. buchneri* ou gesso foram pouco efetivos em alterar a fermentação alcoólica e reduzir as perdas em silagem de cana-de-açúcar. De forma geral, esses tratamentos resultaram em volumosos com elevadas perdas de matéria e com valor nutritivo significativamente inferior ao da forragem fresca. O desempenho satisfatório desses tratamentos durante o ensaio de estabilidade aeróbia, entretanto, resultou do desaparecimento mais intenso de frações orgânicas solúveis ao longo do processo de fermentação, fato que justifica o menor aquecimento dessas silagens após a abertura dos silos.

REFERÊNCIAS

- ALCÁNTARA, E.; AGUILERA, A.; ELLIOT, R.; SHIMADA, A. Fermentation and utilization by lambs of sugarcane harvested fresh and ensiled with and without NaOH. 4. Ruminal kinetics. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 23, p.323-331, 1989.
- ALLI, I.; BAKER, B.E. Studies on the fermentation of chopped sugarcane. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 7, p. 411-417, 1982.
- ALLI, I.; FAIRBAIRN, R.; BAKER, B.E.; GARCIA, G. The effects of ammonia on the fermentation of chopped sugarcane. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 9, p. 291-299, 1983.
- ANDRADE, J.B.; FERRARI JUNIOR, E. Composição química da silagem de cana-de-açúcar tratada com uréia e diferentes doses de hidróxido de sódio. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 40., 2003. Santa Maria, **Anais...** Santa Maria: SBZ, 2003. 1 CD-ROM.
- ANDRADE, J.B.; FERRARI JUNIOR, E.; POSSENTI, R.A.; OTSUK, I.P.; ZIMBACK, L.; LANDELL, M.G.A. Produção e composição de cultivares de cana-de-açúcar. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., 2002. Recife, **Anais...** Recife: SBZ, 2002. 1 CD-ROM.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 15th ed. Arlington, 1990. v.1. 1117p.
- BALIEIRO NETO, G.; SIQUEIRA, G.R.; NOGUEIRA, J.R.; REIS, R.A.; SILVA, D.N.; ROTH, A.P.T.P. ROTH, M.T.P. Pós-abertura de silagem de cana-de-açúcar cv. IAC86/2480 (*Saccharum officinarum* L.) com doses de óxido de cálcio. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 42., 2005a, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBZ, 2005a. 1 CD-ROM.
- BALIEIRO NETO, G.; SIQUEIRA, G.R.; NOGUEIRA, J.R.; REIS, R.A.; SILVA, D.N.; ROTH, A.P.T.P.; ROTH, M.T.P. Perdas na ensilagem da cana-de-açúcar cv. IAC86/2480 (*Saccharum officinarum* L.) com doses de óxido de cálcio. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 42., 2005b, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBZ, 2005b. 1 CD-ROM.

BALIEIRO NETO, G.; SIQUEIRA, G.R.; NOGUEIRA, J.R.; REIS, R.A.; SILVA, D.N.; ROTH, M.T.P.; ROTH, A.P.T.P. Valor nutritivo da silagem de cana-de-açúcar cv. IAC 86/2480 (*Saccharum officinarum* L.) com doses de óxido de cálcio antes e depois da ensilagem e com 3, 6 e 9 dias após abertura do silo. In: REUNION DE LA ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE PRODUCCIÓN ANIMAL, 19., 2005c. Tampico. **Anais...** Tampico: ALPA, 2005c. 1 CD-ROM.

BERZAGHI, P.; COZZI, G.; ANDRIGHETTO, I. The use of near infrared analysis for *in situ* studies. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v.80, n.12, p.3263-3270, 1997.

BOIN, C.; TEDESCHI, L.O. Cana-de-açúcar na alimentação de gado de corte. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 5., 1993, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1993. p.107-126.

CASTRILLÓN, M.V.; SHIMADA, A.S.; CALDERÓN, F.M. Manipulacion de la fermentacion en ensilajes de caña de azucar y su valor alimenticio para borregos. **Técnica Pecuária en México**, Palo Alto, v. 35, p. 48-55, 1978.

CASTRO NETO, A.G. **Avaliação de silagens de cana-de-açúcar submetidas a diferentes tratamentos**. 2003. 101 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

CAVALI, J.; PEREIRA, O.G.; SOUSA, L.O.; PENTEADO, D.C.S.; CARVALHO, I.P.C.; SANTOS, E.M.; CEZÁRIO, A. Silagem de cana-de-açúcar tratada com óxido de cálcio: composição bromatológica e perdas. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBZ, 2006. 1 CD-ROM.

COAN, R.M.; SILVEIRA, R.N.; BERNARDES, T.F.; REIS, R.A.; MORENO, T.T.B.; MOREIRA, A.L. Composição química da cana-de-açúcar crua ou queimada ensilada com aditivo. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., Recife, 2002. **Anais...** Recife : SBZ, 2002. 1 CD-ROM.

COZZOLINO, D.; ACOSTA, Y.; GARCIA, J. Application of near infrared reflectancy spectroscopy (NIRS) to forage evaluation in Uruguay. In: INTERNATIONAL GRASSLANDS CONGRESS, 19., São Pedro, 2001. **Proceedings...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 370.

DRIEHUIS, F.; OUDE ELFERINK, S.J.W.H.; SPOELSTRA, S.F. Anaerobic lactic acid degradation during ensilage of whole crop maize inoculated with *Lactobacillus buchneri* inhibits yeast growth and improves aerobic stability. **Journal of Applied Microbiology**, Oxford, v. 87, p. 583-594, 1999.

DUBOIS, M.; GILLES, K.A.; HAMILTON, J.K.; REBERS, P.A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 28, p. 350, 1956.

ESSIG, H.W. Urea-limestone-treated silage for beef cattle. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 27, n.3, p. 730-738, 1968.

FARIA, V.P. O uso da cana-de-açúcar para bovinos no Brasil. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 5., 1993, Piracicaba. **Anais...**Piracicaba: FEALQ, 1993. p. 1-16.

HOLDEN, L.A. Comparison of methods of *in vitro* dry matter digestibility for ten feeds. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v.82, n.8, p.1791-1794, 1999.

HUHTANEN, P.; NOUSIAINEN, J.I.; KHALILI, H.; JAAKKOLA, S.; HEIKKILÄ, T. Relationships between silage fermentation characteristics and milk production parameters: analyses of literature data. **Livestock Production Science**, Shannon, v.81, p.57-73, 2003.

JOHNSON, R.R.; McCLURE, K.E.; KLOSTERMAN, E.W.; JOHNSON, L.J. Corn plant maturity. III. Distribution of nitrogen in corn silage treated with limestone, urea and diammonium phosphate. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 26, n.1, p. 394-399, 1967.

JUNQUEIRA, M.C. **Aditivos químicos e inoculantes microbianos em silagens de cana-de-açúcar: perdas na conservação, estabilidade aeróbia e o desempenho de animais**. 2006. 98p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

KEADY, J.W.T; O’KIELY, P. An evolution of effects of rates of the nitrogen fertilization of the grassland on silage fermentation, in silo losses, effluent production and stability. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 51, p.350-362, 1996.

KLEINSCHMIT, D.H.; SCHMIDT, R.J.; KUNG Jr., L. The effects of various antifungal additives on the fermentation and aerobic stability of corn silage. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v.88, n.6, p. 2130-2139, 2005.

KLOPFENSTEIN, T.J. Chemical treatment of crops residues. **Journal of Animal Science**, Albany, v.46, n.2, p.841-848, 1978.

KLOSTERMAN, E..W.; JOHNSON, R.R.; SCOTT, H.W.; MOXON, A.L.; STAVERN, J.V. Whole plant and ground ear corn silages, their acid content, feeding value and digestibility. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 19, n.2, p. 522-532, 1960.

KUNG Jr., L. **Preparation of silage water extracts for chemical analysis** (Standard operating procedure, 001 2.03.96) Newark: Ed. University of Delaware – Ruminat Nutrition Lab. – Worriow 309, 1996.

KUNG Jr., L.; STANLEY, R.W. Effect of stage of maturity on the nutritive value of whole-plant sugarcane preserved as silage. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 54, p. 689-696, 1982.

KUNG Jr., L; ROBINSON, J.R.; RANJIT, N.K.; CHEN, J.H.; GOLT, C.M.; PESEK, J.D. Microbial populations, fermentation end-products and aerobic stability of corn silage treated with ammonia or a propionic acid-based preservative. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v. 83, n.7, p. 1479-1486, 2000.

LANDELL, M.G.A.; CAMPANA, M.P.; RODRIGUES, A.A.; CRUZ, G.M.; BATISTA, L.A.R.; FIGUEIREDO, P.; SILVA, M.A.; BIDOIA, M.A.P.; ROSSETTO, R.; MARTINS, A.L.M.; GALLO, P.B.; KANTHACK, R.A.D.; CAVICHIOLI, J.C.; VASCONCELOS, A.C.M.; XAVIER, M.A. A variedade IAC86-2480 como nova opção de cana-de-açúcar para fins forrageiros: manejo de produção e uso na alimentação animal. **Boletim Técnico IAC**, Campinas, n.193, p.36, 2002.

LIMA, J.A.; EVANGELISTA, A.R.; ABREU, J.G.; SIQUEIRA, G.R.; SANTANA, R.A.V. Silagem de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) enriquecida com uréia ou farelo de soja. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., 2002, Recife. **Anais...** Recife: SBZ, 2002. 1 CD-ROM.

MATHISON, G.W.; HSU, H.; SOOFI-SIAWASH, R. et al. Prediction of composition and ruminal degradability characteristics of barley straw by near infrared reflectance spectroscopy. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v.19, p.519-523, 1999.

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

MOLINA, L.R.; FERREIRA, D.A.; GONÇALVES, L.C.; CASTRO NETO, A.G.; RODRIGUES, N.M. Padrão de fermentação da silagem de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) submetida a diferentes tratamentos. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., 2002, Recife. **Anais...** Recife: SBZ, 2002. 1 CD-ROM.

NUSSIO, L.G.; SCHMIDT, P. Silagens de cana-de-açúcar para bovinos leiteiros: aspectos agrônômicos e nutricionais. In: SANTOS, F.A.P.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. IN: VISÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DA PRODUÇÃO LEITEIRA, 2005. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2005. p. 193-218.

NUSSIO, L.G.; SCHMIDT, P.; PEDROSO, A.F. Silagem de cana-de-açúcar. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; SILVA, S.C; FARIA, V.P. In: PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTAGENS, 2003. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2003. p. 187-205.

O'KIELY, P. **Maximizing output of beef within cost efficient, environmentally compatible forage conservation systems**. Dunsany: Grange Research Centre, 1999. 64p. (Beef Production Series, 10).

OLIVEIRA, M.W.; MENDES, L.C.; MARQUES, W.P.; ROZANE, D.E.; SILVEIRA, L.C.I.; ALBINO, G.D. Adição de hidróxido de cálcio à silagem de cana. In: CONGRESSO NACIONAL DE ZOOTECNIA, 9., 2004, Brasília. **Anais...** Brasília: ZOOTEC, 2004. 1 CD-ROM.

OUDE ELFERINK, S.J.W.H.; DRIEHUIS, F.; GOTTSCHAL, J.C.; SPOELSTRA, S.F. Silage fermentation processes and their manipulation. In: FAO ELETRONIC CONFERENCE ON TROPICAL SILAGE, 1999, Rome. Silage making in the tropics with emphasis on smallholders. **Proceedings...** Rome: FAO, 2000. p.17-30.

OWENS, F.N.; MEISKE, J.C.; GOODRICH, R.D. Effects of calcium sources and urea on corn silage fermentation. **Journal of Dairy Science**, Urbana, v. 52, n.11, p. 1817-1822, 1969.

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

PEDROSO, A.F.; NUSSIO, L.G.; LOURES, D.R.S.; PAZIANI, S.F.; IGARASI, M.S.; COELHO, R.M.; HORII, J.; RODRIGUES, A.A. Efeito do tratamento com aditivos químicos e inoculantes bacterianos nas perdas e na qualidade de silagens de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Brasília, v.36, n.3, no prelo, 2007.

PEDROSO, A.F.; NUSSIO, L.G.; PAZIANI, S.F.; LOURES, D.R.S.; IGARASI, M.S.; COELHO, R.M.; PACKER, I.H.; HORII, J.; GOMES, L.H. Dinâmica da fermentação e da microflora epífita em silagem de cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 62, n.5, p. 427-432, 2005.

PEDROSO, A.F.; NUSSIO, L.G.; PAZIANI, S.F.; LOURES, D.R.S.; IGARASI, M.S.; MARI, L.J.; COELHO, R.M.; RIBEIRO, J.L.; ZOPOLLATTO, M.; HORII, J. Bacterial inoculants and chemical additives to improve fermentation in sugar cane (*Saccharum officinarum* L.) silage. In: INTERNATIONAL SILAGE CONFERENCE, 13., 2002 Auchincruive. **Anais...** Auchincruive: SAC, 2002. p. 66.

PITT, R.E.; MUCK, R.E. A diffusion model of aerobic deterioration at the exposed face of bunker silos. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Sacramento, v.55, p.11-26, 1993.

PLAYNE, M.J.; McDONALD, P. The buffering constituents of herbage and of silage. **Journal of the Science of Food and Agricultural**, London, v.17, p. 264-268, 1966.

PRESTON, T. R.; HINOJOSA, C.; MARTINEZ, L. Ensiling of sugar cane with ammonia molasses and mineral acids. **Tropical Animal Production**, Santo Domingo, v. 1, p. 120-126, 1976.

PRYCE, J.D. A modification of Barker-Summerson method for the determination of lactic acid. **Analyst**, Cambridge, v.94, p.1151-1152, 1969.

QUEIROZ, O.C.M. **Associação de aditivos microbianos na ensilagem e o desempenho de vacas em lactação recebendo silagem de cana-de-açúcar comparada a volumosos tradicionais.** 2006. 99p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

RIBEIRO, L.S.O.; PIRES, A.J.V.; FERREIRA, A.R.; BONOMO, P.; PINHO, B.D.; CARVALHO, G.G.P.; SILVA, F.P.; AGUIAR, L.V.; NETO, U.M. Perdas em silagem de cana-de-açúcar tratadas com uréia e, ou hidróxido de sódio. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBZ, 2006. 1 CD-ROM.

ROTZ, C.A.; MUCK, R.E. Changes in forage quality during harvest and storage. In: FAHEY JUNIOR, J.C.; COLLINS, M.; MERTENS, D.R.; MOSER, L.E. **Forage quality, evaluation and utilization.** Madison: ASA; CSSA; SSSA, 1994. p. 828-868.

SAS INSTITUTE. **SAS user's guide:** Statistics. Cary, 1999. 965p

SHENK, J.S.; WESTERHAUS, M.O. Population definition, sample selection, and calibration procedures for near infrared reflectance spectroscopy. **Crop Science**, Madison, v.31, p.469-474, 1991.

SCHMIDT, P. **Perdas fermentativas na ensilagem, parâmetros digestivos e desempenho de bovinos de corte alimentados com rações contendo silagens de cana-de-açúcar.** 2006. 228p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

SILVA, D.J. **Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos).** Viçosa: UFV, Impr. Univ., 1981. 166p.

SIMKINS, K.L.; BAUMGARDT, B.R.; NIEDERMEIER, R.P. Feeding value of calcium carbonated-treated corn silage for dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Urbana, v.48, p. 1315-1318, 1965.

SIQUEIRA, G.R. **Cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) ensilada com aditivos químicos e microbianos.** 2005. 92 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2005.

SOUSA, D. de P.; MATTOS, W.R.S.; NUSSIO, L.G.; MARI, L.J.; SANTOS, M.C.; ZOPOLLATTO, M.; SCHMIDT, P.; RIBEIRO, J.L.; QUEIROZ, O.C.M.; JUNQUEIRA, M.C.; CAMARGO, M.S.; TOLEDO FILHO, S.G. de; FIGUEIRÓ, R.N. Avaliação das perdas por efluentes e gases em silagens de cana-de-açúcar aditivadas com inoculantes químicos e bacterianos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 42., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBZ, 2005. 1 CD-ROM.

VIEIRA, F.A.P.; VALLE, C.A.; BORGES, I.; GONÇALVES, L.C.; RODRIGUES, J.A.S.; COELHO, S.G.; BORGES, A.L.C.C.; FARIA, M.B. Qualidade de silagens de sorgo com aditivos 1. Frações fibrosas e digestibilidade *in vitro* da matéria seca. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBZ, 2001. 1 CD-ROM.

VIEIRA, F.A.P.; BORGES, I.; STEHLING, C.A.V.; GONÇALVES, L.C.; COELHO, S.G.; FERREIRA, M.I.C.; RODRIGUES, J.A.S. Qualidade de silagens de sorgo com aditivos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 56, n. 6, p. 764-772, 2004.

WHITLOCK, L. A.; WISTUBA T.J.; SEIFERS M. K; POPE R. V.; BOLSEN K. K. Effect of level of surface-spoiled silage on the nutritive value of corn silage diets. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v.83 (Suppl. 1) p.110, 2000.

WOOLFORD, M.K. A Review. The detrimental effects of air on silage. **Journal of Applied Bacteriology**, Oxford, v. 68, n. 1, p. 101-116, 1990.

3 AVALIAÇÃO DE ADITIVOS QUÍMICOS NO VALOR NUTRITIVO, ESTABILIDADE AERÓBIA E PERDAS DE MATÉRIA SECA DA CANA-DE-AÇÚCAR *IN NATURA*

Resumo

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de doses de cal virgem sobre as variáveis de valor nutritivo, estabilidade aeróbia e perdas da cana-de-açúcar *in natura*. O experimento foi desenvolvido em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições por tratamento e em arranjo fatorial 2x4 com medidas repetidas no tempo. Os fatores se constituíram de modo de aplicação (à seco ou diluído em água) e doses do aditivo (0,0, 0,5, 1,0 e 1,5% da MV). A cana-de-açúcar permaneceu exposta ao ar durante dez dias. As variáveis analisadas nesse período foram: perdas de MS durante cinco ou dez dias, estabilidade aeróbia e composição químico-bromatológica. Para os dados de estabilidade aeróbia, a utilização de cal virgem reduziu as perdas de MS total e na primeira metade do período experimental, evitou o aquecimento da massa de forragem e reduziu os picos de temperaturas. Os teores de carboidratos solúveis apresentaram valores semelhantes para todos os tratamentos. O aumento das doses de cal virgem promoveu elevação significativa nos teores de cinzas e pH. Foi observado maior teor de PB para a forragem sem aditivo. Contudo, os menores teores de PB apresentados pelas forragens tratadas estão de acordo com dados de literatura. Para as variáveis FDN e FDA não foi constatada diferença significativa entre os tratamentos, principalmente nas primeiras horas de exposição aeróbia. Entretanto, imediatamente após o tratamento hidrolítico, a utilização do aditivo provocou solubilização parcial da hemicelulose com posterior tendência de estabilização desses teores. Para as variáveis de DVIVMS e DVIVMO foi constatado efeito positivo, principalmente na maior dose do aditivo e no modo de aplicação à seco. De forma geral, o tratamento da cana-de-açúcar com cal virgem foi efetivo, apenas, em evitar a rápida deterioração da massa de forragem, no período imediatamente após a adição do aditivo apresentando efeito positivo somente sobre a digestibilidade e o teor de hemicelulose. Apesar disso, mesmo na maior dose do aditivo aplicado, o desaparecimento dos carboidratos solúveis e o aquecimento da massa de forragem indicaram que o tratamento hidrolítico não foi efetivo em inibir definitivamente a atividade metabólica da planta durante a exposição aeróbia

Palavras-chave: Carboidratos solúveis; Óxido de cálcio; pH

EVALUATION OF CHEMICAL ADDITIVES ON THE NUTRITIVE VALUE, AEROBIC STABILITY AND DRY MATTER LOSSES OF FRESH SUGAR CANE

Abstract

The objective of this trial was to evaluate the effects of increasing levels of lime over the nutritive value, aerobic stability and losses in fresh sugar cane. The trial was carried out in a completely randomized experimental design with four replicates per treatments and in a 2x4 factorial design with repeated measures. The factors were: application methods (dry or diluted in water) and lime doses (0.0, 0.5, 1.0, 1.5% of FF). The fresh sugar cane was exposed to air in an aerobic stability assay during ten days. During this period, the following variables were analyzed: total and partial dry matter losses, aerobic stability, chemical composition and nutritive value. In the aerobic stability assay, the utilization of lime reduced the total and partial dry matter losses, the temperature peak and the accumulated heating in the forage. The increasing levels of lime resulted in higher pH and ash content. The control forage had higher levels of CP, however in the treated forage the lowest PB content are in agreement with the literature. The utilization of lime did not alter the NDF and ADF contents, mainly in the initial period. However, immediately after the addition of 1.5% of lime to the fresh forage was observed some solubilization of hemicellulose. Additionally, the application of 1.5% of dried lime also increased the IVDMD and IVOMD in this period. In summary, the utilization of lime only maintained the stability of fresh sugar cane immediately after the application and was effective in alter the digestibility and the hemicellulose fraction. The disappearance of soluble carbohydrates followed by continuous forage heating, even under the high lime dose indicated that treatments were not enough effective to inhibit the metabolic activity during the aerobic exposure.

Keywords: Calcium oxide; ph; Water soluble carbohydrates

3.1 Introdução

A cana-de-açúcar é considerada uma cultura de uso tradicional em fazendas de produção animal. Levantamentos estatísticos realizados na década de 40 estimavam que naquela época 37% das fazendas produtoras de leite utilizavam a cana-de-açúcar como fonte de volumoso suplementar. Recentemente, com a evolução tecnológica ocorrida na agricultura, observou-se aumento ainda maior na utilização dessa forragem como fonte de volumoso suplementar para ruminantes. Fatores como o desenvolvimento de cultivares com maior produtividade e adaptação a alimentação animal, a flexibilidade de utilização e colheita, os ganhos adquiridos em técnicas de formulações de rações a base desse volumoso e os resultados obtidos em termos de desempenho animal e rentabilidade financeira têm sido considerados fundamentais para a propagação dessa cultura nas fazendas de produção animal.

Tradicionalmente, o uso da cana-de-açúcar baseia-se no corte diário e fornecimento imediato da forragem fresca no cocho para posterior consumo dos animais. Atualmente, esse sistema tem possibilitado alternativas de manejo com base na utilização de aditivos químicos imediatamente após a colheita da forragem no campo e posterior armazenamento desse material tratado em ambiente protegido. De certa forma, o motivo para tal adequação pode ser analisado sob diferentes pontos de vista.

Primeiramente, a adição do aditivo químico sugere a redução da frequência de corte sem perda de capacidade de colheita, alcançando benefícios em termos de qualidade de vida no campo e facilitação das atividades dentro da propriedade rural. Essa menor frequência de corte permite ainda redução da demanda por mão-de-obra sem, contudo, necessidade de investimentos em equipamentos. Em fazendas de pequeno porte, onde os gastos com equipamentos de colheita mecanizada podem dificultar a viabilidade econômica em virtude da necessidade de alto investimento inicial, o aumento da capacidade de colheita pode ser alcançado com o uso dessa técnica. Aliado a esses fatores, o baixo custo de aquisição do aditivo e a concentração da colheita são benefícios adicionais que também devem ser considerados, embora a manipulação da forragem tratada ainda se constitua em demanda logística adicional.

Um outro fator relevante está relacionado com o efeito do aditivo na fração fibrosa da cana-de-açúcar. A ação hidrolítica desses agentes sob componentes da

parede celular pode resultar em alimento com menor teor de FDN e com maior digestibilidade da matéria seca. Dessa forma, o uso dessa técnica poderia proporcionar ganhos adicionais em termos de valor nutritivo da cana-de-açúcar, possibilitando maior consumo e desempenho animal.

De fato, os benefícios promovidos são amplamente conhecidos e divulgados entre os produtores rurais. Entretanto, a ausência de resultados de pesquisas é o principal desafio para uma recomendação segura dessa técnica. A escassez relativa de dados que realmente definem o tempo máximo de exposição aeróbia, a dose ideal do aditivo a ser utilizada, a alteração da composição fibrosa e a quantificação das perdas ocorridas durante o processo são os principais fatores a serem estudados e que, certamente, poderiam contribuir para recomendação mais segura, com base em critérios técnicos.

Dentro desse contexto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da adição de fonte de óxido de cálcio no controle das perdas de matéria seca, estabilidade aeróbia e na alteração da fração fibrosa da cana-de-açúcar *in natura* e exposta ao ambiente aeróbio em diferentes intervalos de tempos.

3.2 Desenvolvimento

3.2.1 Revisão Bibliográfica

3.2.1.1 Composição e processo de formação da parede celular

Para que se torne possível o entendimento do mecanismo de ação do aditivo em relação à atuação nos componentes da fração fibrosa, é necessário uma breve descrição do processo de formação da parede celular, incluindo aqui os polímeros formados e as interações entre eles.

Segundo Taiz e Zeiger (2004), as células vegetais, diferentemente das animais, são delimitadas por uma parede relativamente delgada, mas mecanicamente forte. Essa parede consiste de uma mistura complexa de polissacarídeos, proteínas estruturais e outros polímeros fenólicos secretados pela célula, os quais estão química e fisicamente ligados entre si.

O processo de formação da parede celular pode ser caracterizado como um evento de ordem cronológica. A primeira camada formada é a lamela média que, geralmente, está presente na junção das paredes de células vizinhas. A lamela média é depositada durante a divisão celular e sua composição difere do restante da parede, pois ela é rica em pectina e contém diferentes tipos de proteínas. Em seguida, durante o período de crescimento da célula vegetal, ocorre a formação da parede celular primária, uma estrutura considerada não-especializada e semelhante quanto à arquitetura molecular, em todos os tipos celulares. Depois de cessado o crescimento celular, em algumas células especializadas como as epidérmicas e vasculares, inicia-se o processo de formação da parede celular secundária. Esta, por sua vez, apresenta estrutura e composição especializadas refletindo, assim, o estado diferenciado da célula (TAIZ; ZEIGER, 2004).

No modelo de formação da parede celular primária de gramíneas, a celulose se apresenta sob uma forma cristalina, organizada em microfibrilas compostas de cadeias lineares de glicose unidas por ligações glicosídicas β -(1 $\rightarrow$ 4) implantadas em uma matriz hidratada, constituída de hemicelulose, pectina e uma pequena quantidade de proteína estrutural (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Assim como a celulose, a hemicelulose também possui estrutura básica de resíduos de glicose unidas por meio de ligações β -(1 $\rightarrow$ 4). Contudo, diferentemente da celulose, esse polissacarídeo contém cadeias laterais curtas de outros glucanos que impedem a formação de uma microfibrila cristalina. Em decorrência desta característica organizacional, a hemicelulose faz parte do aglomerado amorfo da parede celular, facilitando assim o ataque químico-enzimático da matriz. Pelo fato de possuírem cadeias ramificadas e não lineares, as hemiceluloses são capazes de se ligarem à superfície da celulose, reunindo as microfibrilas em uma rede (TAIZ; ZEIGER, 2004). De acordo com Brett e Waldron (1996), os glucanos da hemicelulose se ligam fortemente entre si e com as microfibrilas de celulose por meio de pontes de hidrogênio.

Como as hemiceluloses, as pectinas constituem um grupo heterogêneo de polissacarídeos, sendo caracterizados como os carboidratos mais solúveis presentes na parede celular. Da mesma forma que o amido, a pectina apresenta ligações α -(1 $\rightarrow$ 4) entre os resíduos do ácido galacturônico, resultando na formação de moléculas muito

grandes e que contem regiões altamente ramificadas e hidratadas. Além de serem conectadas por meio de interações iônicas com íons cálcio, as pectinas podem estar unidas entre si por diferentes ligações covalentes, incluindo ligações éster entre resíduos fenólicos, como o ácido ferúlico (BRETT; WALDRON, 1996).

De acordo com Brett e Waldron (1996), na etapa final do processo de formação da parede celular ocorre a deposição de lignina na parede secundária. Esse processo inicia-se quando a célula vegetal cessa seu crescimento e passa do metabolismo primário para o secundário. Durante o metabolismo secundário, a ocorrência de alterações metabólicas favorece a expressão de genes que codificam a produção de enzimas relacionadas com o processo de formação de compostos fenólicos.

Em conjunto, essas enzimas são capazes de transformar aminoácidos aromáticos (fenilalanina e tirosina) produzidos na via do ácido chiquímico, em compostos precursores de lignina. Estes compostos se reúnem entre si por ligações tipo éter para a formação do complexo de lignina. Em gramíneas, também ocorre a formação de ligações cruzadas entre lignina e carboidratos. Nesses polímeros, a lignina está ligada ao ácido ferúlico pelas ligações éter e, este por sua vez, pode se ligar à pectina ou à hemicelulose por meio de ligações tipo éster (JUNG, 1996).

Ao contrário de polímeros como o amido ou a celulose, as unidades de lignina não parecem estar ligadas de um modo simples e repetitivo (TAIZ; ZEIGER, 2004). No polímero, há com frequência múltiplas ligações C-C e C-O-C em cada unidade de álcool, resultando em uma estrutura complexa, rígida e de baixa solubilidade. Dessa forma, a presença de lignina altera as propriedades da parede celular transformando a matriz hidrofílica e hidratada em um ambiente hidrofóbico. De acordo com Brett e Waldron (1996), a parede primária é hidrofílica e apresenta canais contínuos de água ao longo de sua extensão. O processo de formação da lignina altera esse ambiente hidratado, transformando-o em uma rede hidrofóbica composta de diversas subunidades de fenilpropanóides. Além disso, de acordo com Jung (1996), as ligações cruzadas entre a lignina e os polissacarídeos colocam a lignina em contato próximo com esses carboidratos, limitando a digestão da parede celular por dificultar o acesso das enzimas microbianas aos seus substratos.

3.2.1.2 Mecanismo de ação dos agentes alcalinizantes sob as frações da parede celular

Com o objetivo de aumentar o valor nutritivo de forragens com alto teor de fibra, diversos tratamentos tem sido propostos para alterar a composição da parede celular e, dessa forma, aumentar a disponibilidade de carboidratos para a degradação microbiana ou, até mesmo, para a utilização direta pelo animal. Segundo Berger et al. (1994) o objetivo do tratamento de forragens é aumentar o consumo de alimentos com alto teor de fibra, com base na melhora na taxa ou extensão de digestão e na disponibilidade de nutrientes. Segundo Reis e Rodrigues (1994) diversas substâncias químicas podem ser utilizadas para melhorar a digestibilidade de alimentos fibrosos. Dentre os aditivos mais utilizados estão os hidróxidos de sódio, de cálcio, de potássio e de amônia (REIS; RODRIGUES, 1994).

De acordo com Van Soest (1994), algumas ligações que ocorrem durante a formação da parede celular são susceptíveis a ação de agentes alcalinizantes. O aumento da disponibilidade de nutrientes pode ser feito por meio da quebra das ligações entre lignina e os carboidratos da parede celular ou ainda, pela hidrólise dos polissacarídeos da parede celular, resultando na liberação de açúcares solúveis.

Durante a formação da parede celular de gramíneas, as ligações tipo éster que ocorrem entre os açúcares presentes nas cadeias ramificadas da hemicelulose e da pectina e os ácidos precursores da lignina principalmente, o ácido ferúlico e *p*-coumárico são hidrolisadas por uma reação de saponificação. Após a reação, ocorre a quebra desse complexo com posterior liberação de hemicelulose, pectina e dos ácidos ferúlico e *p*-coumárico. Da mesma forma, as ligações cruzadas entre a lignina e os polissacarídeos da parede celular também são hidrolisadas resultando na liberação do carboidrato livre da lignina.

Além da ação hidrolítica no complexo lignina, carboidratos e ácidos ferúlico e *p*-coumárico, os agentes alcalinizantes podem ainda atuar na estrutura dos polissacarídeos. Esses agentes, promovem a expansão das moléculas de celulose, causando a ruptura das ligações intermoleculares das pontes de hidrogênio, as quais, segundo Jackson (1977), conferem a cristalinidade da celulose. Além disso, atuam solubilizando parte da hemicelulose que estava ligada a celulose por meio de ligações

covalentes. Segundo Klopfenstein (1978), o processo permite a expansão das fibras e consequente hidratação destas possibilitando, assim, maior acesso ao ataque microbiano. De acordo com Klopfenstein (1980) o teor de lignina normalmente não é alterado pelo tratamento químico, mas a ação desse tratamento leva ao aumento da taxa de digestão da celulose e hemicelulose, provavelmente devido às quebras das ligações entre essas frações.

3.2.1.3 Modificações fisiológicas da cana-de-açúcar após a colheita

Com o objetivo de aumentar o efeito do aditivo em relação à alteração na composição da fração fibrosa da cana-de-açúcar, a hidrólise alcalina exige que o material tratado fique exposto ao ambiente aeróbio por um determinado intervalo de tempo. Contudo, essa longa exposição da forragem ao ambiente aeróbio pode resultar em perdas nutricionais. Dentro desse contexto, a possível oxidação de compostos solúveis durante o processo de hidrólise deve ser considerada visando quantificar o desaparecimento líquido dessas frações ao longo do tempo.

Após a colheita e picagem, mudanças físicas, biológicas e químicas podem ocorrer na planta. De acordo com Rotz e Muck (1994), a perda biológica ou metabólica inicial ocorre devido à respiração da célula vegetal, a qual cessa ou torna-se desprezível quando a planta atinge teores de matéria seca acima de 70%.

Os carboidratos solúveis desempenham papel importante nos processos respiratórios e fotossintéticos que ocorrem nos vegetais. A glicose é comumente citada como substrato para a respiração. Contudo, em uma célula vegetal em funcionamento, o carbono reduzido é derivado de fontes como o dissacarídeo sacarose, hexoses fosfato e trioses fosfato e também de polímeros contendo frutose (TAIZ; ZEIGER, 2004). Após a colheita da planta, estes carboidratos são prontamente metabolizados pelas células vegetais e representam uma importante fonte de perdas, uma vez que podem ser considerados 100% digestíveis para os ruminantes (MOSER, 1995). Para impedir o dano de estruturas celulares, a célula utiliza a grande quantidade de energia liberada na oxidação dos açúcares solúveis (TAIZ; ZEIGER, 2004). Dessa forma, a água, o dióxido de carbono e o calor resultante desse processo de respiração são dissipados para a atmosfera caracterizando, assim, o processo de perda de nutrientes

(ROTZ; MUCK, 1994). Segundo McDonald et al. (1991), após a picagem da planta, toda a glicose utilizada para a respiração é transformada em calor. Gutierrez e Faria (1976) trabalhando com silagem emurchecida de capim elefante observaram que, seis horas após o corte e exposição ao sol, as perdas de carboidratos solúveis chegavam a valores próximos de 27% da MS.

Após a colheita, a exposição prolongada da forragem ao ambiente aeróbio também pode permitir o desenvolvimento de microrganismos aeróbios como bactérias, fungos e leveduras. A respiração microbiana também contribui para um aumento total na taxa de respiração. Uma vez que os tecidos da planta e os microrganismos indesejáveis utilizam os mesmos substratos para a respiração, a atuação simultânea de ambos provoca perda ainda maior de nutrientes.

Dessa forma, durante o tratamento hidrolítico da cana-de-açúcar, o desaparecimento de frações orgânicas solúveis deve ser considerado, uma vez que essa planta possui altos teores de sacarose e apresenta relativa susceptibilidade ao desenvolvimento de microrganismos principalmente, leveduras.

3.2.1.4 Aspectos nutricionais da cana-de-açúcar

A fração fibrosa e os açúcares solúveis são, quantitativamente, os dois principais componentes da cana-de-açúcar e apresentam taxas de degradação ruminal e digestibilidade significativamente diferentes (NUSSIO; SCHMIDT; QUEIROZ, 2005).

Os açúcares, principalmente a sacarose, representam a principal fonte energética da cana-de-açúcar e apresenta elevada solubilidade e degradação ruminal (NUSSIO; SCHMIDT; QUEIROZ, 2005). Segundo Berger et al. (1994), o tratamento químico não apresenta benefícios nos componentes presentes no conteúdo celular das células vegetais.

Já a parede celular (carboidratos estruturais) da cana-de-açúcar, possui baixa digestibilidade (>40%) e exerce função fundamental na limitação da ingestão voluntária (NUSSIO; SCHMIDT; QUEIROZ, 2005). A associação desses dois fatores resulta em alimento com digestibilidade intermediária, com valores variando entre 54 e 65% da MS (BOIN; TEDESCHI, 1993).

Com base em resultados satisfatórios obtidos com o tratamento químico de resíduos fibrosos realizados na década de 70, diversos estudos envolvendo a adição de agentes alcalinizantes na cana-de-açúcar tem sido desenvolvidos visando reduzir o efeito negativo da fração fibrosa sobre o consumo de matéria seca pelos animais.

Inicialmente, os trabalhos realizados se apoiam na avaliação do uso do hidróxido de sódio (ALVES et al., 2001; EZEQUIEL et al., 2001a,b; EZEQUIEL et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2001). Esses trabalhos observaram que o tratamento da cana-de-açúcar com este aditivo resultou em um alimento com menores teores de FDN, hemicelulose e FDN indigestível após 144 de incubação *in vitro* (EZEQUIEL et al., 2001a). Além disso, a utilização de NaOH promoveu aumento dos teores de carboidratos solúveis e de matéria mineral (EZEQUIEL; GASTALDI; QUEIROZ, 2001), maiores coeficientes de digestibilidade da MS e das frações, FDN e FDA (ALVES et al., 2001) e maior consumo de MS pelo animal (OLIVEIRA et al., 2001). Ezequiel et al., (2003) também observaram aumento da digestibilidade da fração fibrosa e, conseqüentemente, maior consumo de matéria seca em animais recebendo cana-de-açúcar *in natura* tratada com hidróxido de sódio.

Do mesmo modo que para a silagem, este aditivo também tem apresentado resultados satisfatórios para a cana-de-açúcar *in natura*. Entretanto, conforme destacado por Nussio; Schmidt e Pedroso (2003), o uso do hidróxido de sódio tem sido evitado, em virtude da possibilidade de contaminação do ambiente e do excesso de Na na ração, nas fezes e urina dos animais e, sobretudo, pelo dano potencial à saúde humana causada durante sua aplicação, em especial problemas respiratórios e epiteliais.

Dentro desse contexto, recentemente diversos trabalhos têm sido desenvolvidos avaliando o uso de fonte óxido de cálcio para o tratamento hidrolítico da cana-de-açúcar (SILVA et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2006a,b; DOMINGUES et al., 2006;). Oliveira et al. (2006a), trabalhando com a adição cal virgem na cana-de-açúcar variedade 86-2480, observaram aumento da digestibilidade da matéria seca e das frações FDN e FDA. Ainda segundo Oliveira et al. (2006b), o tratamento da cana-de-açúcar com cal virgem durante seis horas foi efetivo em reduzir os teores de FDN e hemicelulose. Silva et al.

(2006) também verificaram redução dos teores de FDN, FDA e hemicelulose e aumento da digestibilidade da matéria seca na cana-de-açúcar tratada com cal virgem.

Conforme esperado, a avaliação conjunta dos trabalhos apresentados mostra efeito positivo do aditivo em promover alterações nos componentes da parede celular. Além da eficiência técnica, o baixo custo e a facilidade de aplicação são fatores que contribuem para a utilização da cal virgem em substituição ao hidróxido de sódio para o tratamento da cana-de-açúcar *in natura*.

3.2.2 Material e métodos

3.2.2.1 Tratamentos adotados e delineamento experimental

O presente estudo foi conduzido no Departamento de Zootecnia, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (USP/ESALQ) em Piracicaba - SP, em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições por tratamento.

A variedade de cana-de-açúcar utilizada para a realização do experimento foi a RB72-454, colhida com aproximadamente 18 meses de idade. O material foi picado em equipamento estacionário regulado para corte com tamanho de partícula de aproximadamente 1 cm. Após ter sido picada, a forragem foi imediatamente tratada com diferentes doses de cal virgem (0, 0,5, 1,0 e 1,5% com base na massa verde) aplicadas à seco ou diluídas em solução aquosa com volume de aproximadamente 40 litros por tonelada de cana fresca. Os tratamentos se constituíram, dessa forma, em um fatorial 2x4, sendo dois modos de aplicação e quatro diferentes doses do aditivo.

3.2.2.2 Ensaio de estabilidade aeróbia

Após o tratamento, aproximadamente 4 kg de forragem fresca foi imediatamente acomodada em 32 baldes plásticos (unidades experimentais) com capacidade para 20 litros cada, permanecendo em ambiente aeróbio com temperatura controlada por dez dias. No centro geométrico dos baldes foram colocados sensores de temperatura associados à sistema informatizado de aquisição de dados (Dickson[®], Addison, USA) programados para a tomada de temperatura em intervalos constantes de 15 minutos.

Para a determinação da estabilidade aeróbia utilizando-se dos dados de temperatura, foram avaliadas as seguintes variáveis: horas para o aumento em 2 °C da temperatura do balde em relação a temperatura ambiente, temperatura máxima e dias para a ocorrência de temperatura máxima. Com base no conjunto de dados gerados pelos sensores eletrônicos foi possível obter o gráfico da temperatura ambiente e os gráficos das temperaturas das unidades experimentais ao longo de todo o período do ensaio. Dessa forma, foi possível determinar o acúmulo total de temperatura em cada balde. Esta variável foi obtida pela diferença entre a temperatura do balde e a do ambiente registrada nos intervalos de tempo determinados e, para fins de comparação entre os tratamentos, foi calculada na primeira metade do ensaio (do primeiro ao quinto dia) e no período total de dez dias de exposição aeróbia

Diariamente os baldes eram pesados e realizava-se coleta de amostras para determinação do teor de matéria seca e análises químico-bromatológicas. Também foram realizadas pesagens e coleta de amostras nos tempos 0, 6 e 12 horas após o tratamento.

3.2.2.3 Determinação das perdas em aerobiose

Para a avaliação das perdas durante o ensaio de estabilidade aeróbia, foram analisadas as seguintes variáveis: perda de matéria seca do primeiro ao quinto dia e perda total de matéria seca durante dez dias de exposição.

As perdas de matéria seca na primeira metade do período foram determinadas por meio da diferença de peso observada no balde entre primeiro e o quinto dia do ensaio. A quantidade de forragem fresca presente nesses dois momentos foi devidamente corrigida de acordo com o teor de matéria seca determinado em estufa. Dessa forma, a porcentagem de perdas de matéria seca nesta primeira fase foi obtida com base na relação entre a quantidade de massa desaparecida e a quantidade inicialmente acondicionada, ambos expressos na base seca.

Da mesma forma, a perda de matéria seca total foi obtida pela diferença de peso do balde no início e após o término do ensaio, sendo que a massa de forragem presente no balde nesses dois momentos também foi devidamente corrigida com base nos teores de matéria seca. A porcentagem de perdas totais de matéria seca foi

determinada considerando-se a quantidade de massa seca desaparecida em relação à quantidade de matéria seca inicialmente acondicionada.

3.2.2.4 Avaliação químico-bromatológica

3.2.2.4.1 Amostras secas em estufas

Seguindo o mesmo protocolo utilizado no primeiro experimento, as amostras de cana-de-açúcar coletadas durante o ensaio de estabilidade, foram secas em estufas a 60°C por 72 horas de acordo com Silva (1981) e, posteriormente moídas em moinho do tipo Wiley provido de peneira com perfurações de 1 mm.

A determinação da composição bromatológica foi realizada utilizando-se o método de espectroscopia de reflectância de infravermelho proximal (NIRS) (BERZAGHI; COZZI; ANDRIGHETTO, 1997; COZZOLINO; ACOSTA; GARCIA, 2001), visando à redução no número de amostras a serem analisadas pelo método convencional. O material moído foi escaneado para obtenção dos espectros NIRS. O equipamento utilizado foi o espectrômetro modelo NIRS 5000 (NIRSystems®, Silver Spring, MD, USA) acoplado a um microcomputador equipado com *software* WinISI II versão 6.2 (Intrasoft International, PA). As amostras foram escaneadas nesse equipamento obtendo leituras compreendidas entre os comprimentos de onda de 700 a 2100 nm. Esses espectros foram armazenados em curvas log (1/R, onde R é o valor da reflectância), em intervalo de 2 nm. Utilizaram-se os métodos de seleção de amostras existentes no *software* do equipamento e foram descartadas as amostras distantes mais de 3 H (distância padronizada de Mahalanobis) da média, e essas foram consideradas como *outliers*. Adotou-se a distância mínima de 0,6 H entre amostras para seleção daquelas em que seriam efetuadas as análises bromatológicas convencionais, ou seja, onde o valor *outlier* (H) é usado para eliminar amostras com distâncias espectrais muito afastadas da média da população (SHENK; WESTERNHAUS, 1991; MATHISON et al., 1999).

O procedimento SELECT usa uma distância H padronizada entre pares de amostras para definir vizinhanças e baseia-se na suposição de que somente uma amostra seja requerida para representar todas as amostras contidas naquele grupo de

vizinhança. Dessa forma, quanto mais heterogêneo for o grupo de amostras escaneadas maior deverá ser o número de amostras selecionadas para abranger toda amplitude espectral (MATHISON et al., 1999). As amostras selecionadas pelo NIRS foram submetidas a análises convencionais no laboratório de bromatologia do Departamento de Zootecnia da USP/ESALQ.

O teor de matéria seca da amostra moída foi determinado em estufa a 105°C durante 24h (AOAC, 1990). O conteúdo de matéria mineral foi obtido após incineração de amostras em forno tipo mufla a 550°C, durante três horas (AOAC, 1990).

O teor de proteína bruta foi determinado por condutividade térmica utilizando-se o equipamento LECO®, modelo FP-528 (Leco Corporation, Michigan, USA).

Os teores de fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e de fibra insolúvel em detergente ácido (FDA) foram obtidos através do método seqüencial proposto pela ANKOM Fiber Analyser (ANKOM® Technology Corporation, Fairport, NY), descrito por Holden (1999).

A análise da digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) também foi realizada seguindo o protocolo proposto pela ANKOM Fiber Analyser (ANKOM® Technology Corporation, Fairport, NY) e descrito por Holden (1999).

Finalizada a análise química convencional, os valores foram inseridos no banco de dados do NIRS e permitiram ao *software* do programa estimar o valor das demais amostras por meio de equações de predição criadas com base em métodos estatísticos contidos no próprio programa.

3.2.2.4.2 Amostras de forragem frescas

As amostras úmidas coletadas durante o ensaio de estabilidade foram utilizadas para a confecção de um extrato aquoso seguindo o protocolo proposto por Kung Jr. (1996). De acordo com esse protocolo, uma amostra de aproximadamente 25 g de forragem deve ser adicionada a um volume de 225 mL de água deionizada e, posteriormente, processada em liquidificador industrial durante um minuto, para a obtenção do referido extrato. A determinação do pH nesse extrato foi realizada por meio de um potenciômetro digital (DIGMED® - DM20). Após a mensuração do pH, o extrato

remanescente foi imediatamente filtrado em papel Whatman® 54, recebeu 3 gotas de ácido sulfúrico 50% e foi então centrifugado durante 15 minutos e a 10.000 rpm. Após a centrifugação, foi obtido um novo extrato que foi acondicionado em tubos de eppendorff com capacidade de 1,5 mL e, posteriormente, congelados a -20 °C para posterior determinação da concentração de açúcares solúveis.

Para análise do teor de carboidratos solúveis foi utilizado o método colorimétrico adaptado de Dubois et al. (1956) com leitura em comprimento de onda de 490 nm. A adaptação foi realizada em relação a um aumento na diluição das amostras, uma vez que a cana-de-açúcar apresenta teores elevados de carboidratos solúveis.

3.2.2.5 Análise estatística

O experimento consistiu em um arranjo fatorial 2 x 4, com medidas repetidas no tempo. O fatorial foi composto por dois modos de aplicações e quatro doses de cal virgem (óxido de cálcio) em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições para cada tratamento, perfazendo um total de 32 unidades experimentais.

As variáveis que não envolviam o fator tempo foram analisadas com base no procedimento GLM do programa estatístico SAS®, versão 8 para Windows® (SAS, 1999). No ensaio de estabilidade aeróbia o procedimento MIXED do programa estatístico SAS®, versão 8 para Windows® (SAS, 1999) foi utilizado para se verificar efeitos de modo de aplicação, dose do aditivo, tempo de exposição aeróbia e da interação desses fatores.

Em ambos os casos, o teste de Tukey com nível de significância de 5% foi utilizado para efeito de comparação de médias entre tratamentos.

3.2.3 Resultados e Discussão

3.2.3.1 Estabilidade aeróbia da cana-de-açúcar tratada com cal virgem

Na Tabela 1 é apresentada a análise descritiva da interação dos fatores observados durante o ensaio de estabilidade aeróbia da cana-de-açúcar *in natura*.

Tabela 1 - Análise descritiva para as variáveis de estabilidade aeróbia analisadas durante a exposição da forragem

Variável ¹	Efeitos		
	Modo de aplicação	Dose	Modo de aplicação x dose
Σ 0 a 5 dias, °C	ns	*	**
Temperatura máxima, °C	ns	*	*
Horas para temp. máxima	ns	*	*
Perda de MS, 0 a 5 dias	ns	*	*
Perda de MS, 0 a 10 dias	ns	*	*
Perda de estabilidade, horas	*	*	*
Σ 0 a 10 dias, °C	**	*	ns

* (P<0,01); ** (P<0,05); ns = não significativo;

De acordo com a tabela, não houve efeito do modo de aplicação do aditivo para a variável temperatura máxima, soma térmica durante a primeira metade do ensaio, tempo para ocorrência do pico de temperatura e também para as variáveis de perda de matéria seca. Por outro lado, a utilização de doses crescentes de cal virgem alterou de forma significativa todos os parâmetros avaliados. Ao se analisar a interação modo de aplicação x dose do aditivo observa-se, também, efeito em todas as variáveis, exceto para o somatório de temperatura de zero a dez dias.

A utilização do aditivo diluído em água reduziu, de forma significativa, o acúmulo total de temperatura em relação a aplicação à seco (5652 °C vs 6102 °C) possivelmente devido à melhor dispersão do produto na massa de forragem. Da mesma forma, houve efeito de doses crescentes de cal virgem para essa variável, pois a cana-de-açúcar sem aditivo apresentou soma térmica total superior aos demais tratamentos (7800°C). As doses de 0,5 e 1,0% não diferiram estatisticamente entre si e apresentaram, em relação ao tratamento controle, redução dessa variável para valores de 5960 e 5236°C, respectivamente. O tratamento da cana-de-açúcar com a maior dose de cal virgem promoveu abaixamento significativo da soma térmica total, apresentando valor de 4508°C. Possivelmente, a utilização de doses altas de cal virgem tenha reduzido a atividade de água e aumentado a pressão osmótica da massa de forragem, dificultando o desenvolvimento de microrganismos espoliadores e diminuindo a produção de calor ao longo do período de exposição aeróbia.

Tabela 2 - Efeito de doses crescentes de cal virgem sobre as variáveis de estabilidade aeróbia das forragens

Modo de aplicação	Dose (% da MV)				Média	EPM
	0	0,5	1,0	1,5		
Σ de temperatura de 0 a 5 dias (°C)						
Seco	5050 ^a	3803 ^b	3556 ^{bc}	3065 ^c	3868	66
Diluído em água	5529 ^a	3426 ^b	3382 ^b	2701 ^c	3760	68
Média	5289	3614	3469	2883		
EPM	93	93	100	93		
Temperatura máxima (°C)						
Seco	38,4 ^{Ba}	34,0 ^b	35,0 ^b	34,1 ^{Ab}	35,4	0,2
Diluído em água	40,4 ^{Aa}	33,4 ^{bc}	34,1 ^b	32,1 ^{Bc}	35,0	0,2
Média	39,4	33,7	34,5	33,1		
EPM	0,2	0,2	0,2	0,2		
Tempo para temperatura máxima (horas)						
Seco	47 ^a	26 ^c	39 ^b	48 ^a	40	0,7
Diluído em água	40 ^{cb}	30 ^d	37 ^c	48 ^a	38	0,7
Média	43	28	38	48		
EPM	0,9	0,9	1,0	0,9		
Perda de Estabilidade (horas)						
Seco	7,67 ^a	6,92 ^{Aa}	0,65 ^b	0,20 ^b	3,9	0,3
Diluído em água	8,2 ^a	1,6 ^{Bb}	0,57 ^b	0,37 ^b	2,7	0,3
Média	7,9	4,3	0,6	0,3		
EPM	0,4	0,4	0,4	0,4		
Perdas de 0 a 5 dias (% da MS)						
Seco	9,3 ^{Aa}	7,2 ^b	6,2 ^b	6,0 ^{Ab}	7,2	0,1
Diluído em água	11,5 ^{Ba}	6,6 ^b	5,7 ^{bc}	4,7 ^{Bc}	7,1	0,1
Média	10,4	6,9	6,0	5,4		
EPM	0,2	0,2	0,2	0,2		
Perdas totais (% da MS)						
Seco	45,8 ^{Aa}	43,6 ^{Aab}	40,7 ^c	41,5 ^{bc}	42,9	0,3
Diluído em água	49,3 ^{Ba}	41,7 ^{Ab}	39,7 ^b	39,1 ^b	42,5	0,3
Média	47,6	42,6	40,2	40,3		
EPM	0,4	0,4	0,4	0,4		

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05);

EPM = Erro padrão da média;

Na Tabela 2 são apresentadas as médias referentes às variáveis de estabilidade aeróbia que tiveram interação significativa para o efeito modo de aplicação do aditivo x dose. Em ambos os modos de aplicação, a cana-de-açúcar sem aditivo apresentou maior acúmulo de temperatura na metade inicial do ensaio de estabilidade aeróbia. A utilização de cal virgem reduziu de forma significativa os valores para essa variável,

sendo que reduções mais intensas foram observadas na maior dose de cal virgem. Domingues et al. (2006) também observaram tendência semelhante para essa variável. De acordo com estes autores, a cana-de-açúcar sem aditivo apresentou ADITE-5 de 60,5°C, sendo que o tratamento contendo 2,0% de cal reduziu significativamente essa variável para valores de 28,9°C. Os baixos acúmulos de temperatura obtidos por Domingues et al. (2006) pode ser explicado pela baixa frequência de aquisição de dados durante o ensaio de estabilidade aeróbia. Além disso, segundo Pedroso (2003), a comparação de dados de estabilidade aeróbia deve ser realizada com cautela, em decorrência de variações entre experimentos de fatores como: temperatura de referência adotada, tamanho da alíquota tomada para teste, população de leveduras existente na forragem e condições ambientais.

Ao se analisar os picos de temperatura, observam-se valores elevados para o tratamento controle com adição de água, seguido pelo mesmo tratamento aplicado a seco. Domingues et al. (2006) encontraram temperatura máxima de 45,0°C para a cana-de-açúcar sem aditivo. Os maiores picos de temperatura observados nos materiais colhidos e expostos ao ambiente aeróbio sem nenhum tratamento revelam a intensa atividade respiratória das células vegetais e ação de leveduras sobre os carboidratos solúveis da planta. Segundo González e MacLeod (1976) a fermentação espontânea da cana-de-açúcar inicia-se imediatamente após o corte e resulta na conversão de açúcares solúveis em ácidos orgânicos. Segundo Losada et al. (1977), a adição de hidróxido de sódio após a colheita da cana-de-açúcar seria uma alternativa interessante para inibir a ocorrência desse evento biológico.

Nesse sentido, a utilização de cal virgem também se constitui como técnica eficiente e a custo reduzido de aplicação. De acordo com a Tabela 2, a adição de cal foi efetiva em reduzir os picos de temperatura da massa de forragem, contudo não houve efeito significativo para as doses crescentes do aditivo. Domingues et al. (2006) observaram redução do pico de temperatura com o aumento das doses desse aditivo, com valores de 35,7°C para o tratamento contendo a maior dose. Ainda, segundo Domingues et al. (2006), o tratamento da cana-de-açúcar com 0,5 e 1,0% de cal resultou em picos de temperatura estatisticamente diferentes, com valores de 41,3 e 38,7°C, respectivamente.

Os maiores tempos para ocorrência de temperatura máxima foram observados para os tratamentos contendo 1,5% de cal virgem em ambos os modos de aplicação. De certa forma, a presença do aditivo retardou a ocorrência de temperatura máxima devido à inibição do desenvolvimento de microrganismos indesejáveis na massa de forragem. Os tratamentos contendo cana-de-açúcar sem aditivo também apresentaram valores elevados para essa variável, contudo o maior pico de temperatura ocorrido nessas forragens é um indicativo da intensa atividade de leveduras e de respiração celular durante esse intervalo de tempo.

Na Tabela 2 também pode ser observado que as doses altas de cal virgem reduziram o tempo para a perda da estabilidade do material quando comparados com a cana-de-açúcar não tratada, em ambos os modos de aplicação. Tal fato pode ser explicado por dois motivos. Primeiramente, o tratamento hidrolítico pode disponibilizar maior quantidade de carboidratos solúveis, facilitando o desenvolvimento e a atuação dos microrganismos indesejáveis. Contudo, essa maior atividade microbiana pode ser questionável, uma vez que além de solubilizar mais açúcar, doses crescentes do aditivo também tendem a aumentar a pressão osmótica e reduzir a atividade de água da massa de forragem. Além disso, a aplicação de cal virgem na cana-de-açúcar favorece a ocorrência de reação exotérmica o que, provavelmente foi responsável pela rápida elevação da temperatura no período inicial da hidrólise. As observações visuais à campo reforçam essa última hipótese, pois imediatamente após a aplicação do aditivo, notou-se alteração da temperatura e da coloração da massa de forragem devido a uma reação instantânea do agente alcalinizante com as frações fibrosas das células vegetais. Pedroso (2003), trabalhando com altas doses de NaOH em silagem de cana-de-açúcar obteve maior digestibilidade *in vitro* da MS e menor FDN e FDA, sugerindo aumento de carboidratos solúveis e menor estabilidade aeróbia do material. Na Tabela 2 pode ser observado prolongamento da estabilidade aeróbia para a cana-de-açúcar não aditivada. De forma geral, a principal fonte de alteração de temperatura para essa forragem foi decorrente atividade de microrganismos, o que favoreceu a alta estabilidade do material, uma vez o processo de deterioração é contínuo e necessita de maior tempo para a intensificação da atividade microbiana. Isso sugere que o tempo necessário para a perda de estabilidade não é uma medida efetiva em detectar a

deterioração aeróbia de forragens frescas e tratadas com agentes alcalinizantes. As forragens sem agentes alcalinizantes, em geral, tendem a serem mais estáveis, porém com maiores somas térmicas e temperaturas máximas resultante da intensa atividade de leveduras e fungos durante todo período de exposição ao ar.

Ainda de acordo com a Tabela 2, observa-se que a adição de cal virgem diminuiu significativamente as perdas totais de MS (0-10 dias) em relação ao controle. Quando avaliadas no período inicial, de zero a cinco dias, as perdas de MS apresentaram mesmo comportamento. Em ambos os casos, as menores perdas foram observadas para os tratamentos contendo doses de 1,0 e 1,5% de cal. Possivelmente, o aumento da concentração desses aditivos elevou a pressão osmótica e diminuiu a atividade de água da massa de forragem, inibindo o desenvolvimento de fungos e leveduras. De acordo com Alcântara et al. (1989), a adição de NaOH a silagem de cana-de-açúcar, além de aumentar o teor de matéria mineral da massa de forragem, também foi responsável pela elevação da pressão osmótica. Miyazaki et al. (2006) não observaram desenvolvimento de fungos na cana-de-açúcar *in natura* aditivada com 4,0% de NaOH na massa verde, durante as primeiras 72 horas de exposição aeróbia. Ainda segundo Miyazaki et al. (2006), nessa mesma dosagem do aditivo, a atividade de leveduras foi baixa e ocorreu principalmente entre 24 e 48 horas de exposição aeróbia.

As variáveis de temperatura associadas ao ensaio de estabilidade aeróbia para a cana-de-açúcar *in natura* (Tabela 2) apresentaram valores elevados quando comparadas aos mesmos tratamentos aplicados à silagem de cana-de-açúcar (capítulo 2). Além de sinalizar elevado desaparecimento de matéria seca, esses parâmetros podem explicar as semelhanças de desempenho comumente observadas em silagens e alimentos fornecidos na forma *in natura*. Dessa forma, pode se inferir que a baixa estabilidade aeróbia observada para a cana-de-açúcar *in natura* possivelmente tenha anulado as vantagens em valor nutritivo observadas para esses volumosos em relação aos alimentos fermentados, tendo como resultado final desempenho animal semelhante. Essa afirmação pode ser reforçada por experimentos que estudaram o desempenho de animais recebendo alimentos na forma *in natura* e conservados. Queiroz (2006), ao avaliar a produção de vacas em lactação recebendo rações a base de cana-de-açúcar na forma fresca e ensilada, não observou diferença significativa para

as variáveis de desempenho animal e eficiência alimentar (kg de leite/kg de matéria seca ingerida). Da mesma forma, Mendes (2006) também não observou diferença de desempenho e eficiência alimentar de cabras em lactação e de cordeiros confinados recebendo cana-de-açúcar *in natura* e ensilada sem aditivo e com *L. buchneri*.

3.2.3.2 Composição químico-bromatológica da cana-de-açúcar *in natura* tratada com cal virgem

Além dos carboidratos não estruturais, a fração fibrosa da cana-de-açúcar representa uma fonte potencial de energia para ruminantes. Entretanto, seu uso é limitado, pois a estrutura da parede celular limita a digestão microbiana no rúmen. Dessa forma, a utilização de aditivos químicos para o tratamento de forragens frescas armazenadas em montes constitui-se em alternativa para elevar o valor nutritivo desses alimentos que apresentam baixa taxa de digestão da fração fibrosa.

Tabela 3 - Análise descritiva para os parâmetros químico-bromatológicos estudados durante o período de exposição aeróbia da cana-de-açúcar *in natura*

Variável ¹	Efeitos						
	Modo ²	Dose	Tempo	Modo x Tempo	Dose x Tempo	Modo x Dose	Modo x Dose x Tempo
CHO'S	ns	*	*	ns	*	**	*
pH	ns	*	*	**	*	**	ns
Cinzas	ns	*	*	ns	*	*	*
PB	*	*	*	ns	*	ns	*
FDN	ns	*	*	*	*	ns	*
FDA	ns	*	*	*	*	ns	*
HEMI	ns	*	*	ns	*	ns	*
DVIVMS	*	*	*	ns	*	ns	*
DVIVMO	*	*	*	ns	*	ns	*

¹ CHO'S = carboidratos solúveis; Hemi = hemicelulose;

² Modo de aplicação do aditivo = a seco ou diluído em água;

* (P < 0,01); * * (P < 0,05); ns = não significativo;

A análise da Tabela 3 revela breve descrição dos fatores que, possivelmente, causam interferência no tratamento químico da cana-de-açúcar *in natura*. Como pode ser observado, o modo de aplicação do aditivo apresentou efeito apenas sobre algumas

variáveis. Contudo, a utilização de doses crescentes de cal virgem, o tempo de exposição da cana-de-açúcar ao tratamento hidrolítico e a interação desses e demais fatores alteraram de forma significativa as variáveis analisadas.

Na Tabela 4 é apresentada a variação da concentração de carboidratos solúveis na cana-de-açúcar tratada com cal virgem. Os valores obtidos no tempo zero estão de acordo com Queiroz (2006), que trabalhando com silagem de cana-de-açúcar, quantificou 23% de carboidratos solúveis para a forragem fresca. Logo após o corte da forragem, nos tratamentos que receberam a solução aquosa, observou-se teores elevados de açúcares solúveis nas forragens sem aditivo e com 0,5 e 1,0% de cal virgem. De forma inesperada, a cana-de-açúcar tratada com a maior dose de cal apresentou menor concentração desses açúcares. Para os tratamentos aplicados a seco, observaram-se teores elevados de açúcares solúveis nas forragens sem aditivo e contendo doses de 1,0 e 1,5% de cal. Nesse modo de aplicação, a adição de 0,5% de fonte de óxido de cálcio à cana-de-açúcar, resultou no menor valor para essa variável. Entretanto, a partir do tempo seis horas, não foi verificado diferença no teor de carboidratos solúveis para todos os tratamentos. Oliveira et al. (2006) não encontraram diferença significativa nos teores de nutrientes digestíveis totais (NDT) da cana-de-açúcar tratada com diferentes doses de cal virgem aplicadas em pó ou em solução aquosa e exposta ao ar por seis horas. Ezequiel; Gastaldi e Queiroz (2001b), ao adicionar hidróxido de sódio à cana-de-açúcar, observaram aumento significativo no teor de carboidratos solúveis 24 horas após o tratamento, com valor de 33,7% na forragem aditivada contra 26% na forragem controle. Provavelmente, o efeito observado por Ezequiel; Gastaldi e Queiroz (2001) se deve ao maior caráter alcalino apresentado pelo NaOH em relação à cal virgem, fato que poderia proporcionar maior ação hidrolítica na massa de forragem.

Tabela 4 - Evolução temporal no teor de carboidratos solúveis da cana-de-açúcar *in natura* tratada com cal virgem em exposição

Modo ¹	Dose ²	Tempo (horas)									EPM
		0	6	12	24	48	72	96	120	240	
Água	0,0	27,2 ^{Aa}	16,6 ^b	7,0 ^{bc}	16,4 ^b	16,0 ^b	15,4 ^{bc}	13,4 ^{bc}	13,5 ^{bc}	6,0 ^c	1,6
	0,5	21,1 ^{ABa}	11,1 ^{ab}	9,1 ^b	12,6 ^{ab}	16,1 ^{ab}	15,8 ^{ab}	13,9 ^{ab}	14,7 ^{ab}	7,7 ^b	1,6
	1,0	20,1 ^{ABa}	9,7 ^b	8,6 ^b	9,8 ^b	11,9 ^{ab}	10,5 ^b	10,7 ^{ab}	7,2 ^b	4,7 ^b	1,6
	1,5	12,2 ^B	12,6	9,4	12,9	11,2	11,1	11,2	9,7	6,7	1,6
	EPM	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	
Seco	0,0	21,0 ^{Aa}	13,2 ^{ab}	10,1 ^b	14,2 ^{ab}	16,9 ^{ab}	11,0 ^b	13,8 ^{ab}	12,2 ^{ab}	7,7 ^b	1,6
	0,5	10,7 ^B	8,1	6,2	11,6	13,1	14,1	14,5	12,7	6,2	1,6
	1,0	18,9 ^{ABa}	14,8 ^{ab}	7,1 ^b	9,4 ^{ab}	9,8 ^{ab}	8,4 ^b	11,2 ^{ab}	9,6 ^{ab}	4,7 ^b	1,6
	1,5	26,0 ^{Aa}	12,9 ^b	13,8 ^b	12,9 ^b	11,4 ^b	8,8 ^b	9,2 ^b	6,8 ^b	5,8 ^b	1,6
	EPM	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	

¹ Modo de aplicação do aditivo = a seco ou diluído em água;

² Dose do aditivo expressa como % da massa verde;

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05);

EPM = Erro padrão da média;

A Tabela 4 também mostra que, entre os tempos zero e seis horas de exposição aeróbia, houve intenso desaparecimento de carboidratos solúveis nas forragens sem aditivo e com 1,0%, no modo de aplicação com água, e na forragem que recebeu a maior dose no aditivo no modo de aplicação a seco. Na cana-de-açúcar sem aditivo e diluída em água, por exemplo, foi observado desaparecimento de 10 unidades percentuais na fração dos carboidratos solúveis, durante as primeiras seis horas de exposição aeróbia. Da mesma forma, o tratamento da cana-de-açúcar com 1,5% de cal aplicada a seco apresentou redução de 13 unidades percentuais para essa fração. Gutierrez e Faria (1974), trabalhando com silagem emurchecida de capim elefante observaram redução no teor de carboidratos solúveis de 16,44%, no tempo zero, para 11,89% após seis horas de exposição ao sol. Aos se analisar os dados da Tabela 2, observa-se perda de estabilidade nas primeiras oito horas de exposição aeróbia para todos os tratamentos. De acordo com Rotz e Muck (1994), a perda biológica ou metabólica inicial ocorre devido à respiração da célula vegetal e, de acordo com Taiz e

Zeiger (2004), os carboidratos solúveis desempenham papel importante nos processos respiratórios. Segundo McDonald et al. (1991), após o corte, toda a glicose utilizada para a respiração é transformada em calor. Após a colheita, a exposição prolongada da forragem ao ambiente aeróbio também pode permitir o desenvolvimento de microrganismos aeróbios fungos e leveduras, efetivos consumidores desse substrato.

De forma geral, os dados da Tabela 4 mostram desaparecimento elevado de carboidratos solúveis nas primeiras seis horas após o tratamento, com posterior estabilidade dessa fração. Embora tenham apresentado teores reduzidos de açúcares no tempo zero, os tratamentos contendo 1,5% de cal diluída em água e 0,5% aplicada a seco se mantiveram estáveis ao longo de todo o período de exposição aeróbia e, após seis horas de exposição, apresentaram valores de carboidratos solúveis semelhantes aos demais tratamentos. Não existe explicação aparente que justifique os baixos teores iniciais de carboidratos solúveis nesses tratamentos.

Na Tabela 5 são apresentados os valores de pH das forragens constatando-se o efeito de doses para essa variável. Nas primeiras 12 horas as forragens tratadas com 1,0 e 1,5% de cal apresentaram valores elevados de pH. Entretanto, a partir do tempo 24 horas, os maiores valores foram mantidos somente para as forragens tratadas com as maiores doses do aditivo (1,0 e 1,5%). Conforme esperado, em todos os tempos analisados a cana-de-açúcar sem aditivo apresentou baixo valor para essa variável. Silva et al. (2006) também observaram efeito da aplicação de 1,0% de cal hidratada para a variável pH. Segundo esses autores, em todos os tempos amostrados (0, 1, 3, 6, 12 e 24 horas), a cana-de-açúcar tratada com 1,0% de cal hidratada apresentou maior valor de pH em relação ao tratamento controle. No tempo zero, por exemplo, esses autores observaram pH de 8,78 para a cana-de-açúcar tratada contra 4,83 na forragem sem aditivo. Da mesma forma, após 12 horas de exposição aeróbia, foi quantificado pH de 7,70 para a forragem tratada contra 4,98 para a forragem sem aditivo (SILVA et al. 2006). Os valores apresentados para esses tempos na Tabela 5 são semelhantes aos relatados por Silva et al. (2006). Segundo Ezequiel et al. (2001b) o tratamento hidrolítico da cana-de-açúcar com NaOH, uma base forte, acarreta em aumento do potencial hidrogeniônico do meio. Dessa forma, os maiores valores observados nas

forragens tratadas com cal virgem ocorreram, possivelmente, devido à natureza alcalina dos aditivos.

Ao longo de todo o período exposição aeróbia, a forragem sem aditivo apresentou pequena variação no pH. De forma contrária, os tratamentos contendo fonte de óxido de cálcio apresentaram maior oscilação durante esse mesmo período. De acordo com a Tabela 5, a maior variação foi observada para o tratamento 1,0% (3,8 unidades). Silva et al. (2006) encontraram variação de pH de 9,29 à 6,26 para a cana tratada com 1,0% de cal hidratada durante 24 horas de exposição aeróbia. Ainda segundo esses autores, a cana-de-açúcar sem aditivo apresentou menor oscilação, com valores extremos de 4,99 e 3,97 nesse mesmo período. De certa forma, a maior oscilação do pH nas forragens tratadas pode ser justificada pela elevação significativa do valor dessa variável obtida com a utilização da cal virgem.

Tabela 5 - Variação temporal do pH da cana-de-açúcar *in natura* tratada com cal virgem em exposição aeróbia

Dose (% da MV)	Tempo (horas)									EPM
	0	6	12	24	48	72	96	120	240	
0,0	4,1 ^{Ca}	3,4 ^{Cab}	3,6 ^{Cab}	3,4 ^{Uab}	3,0 ^{Db}	3,0 ^{Db}	2,8 ^{Db}	2,8 ^{Db}	3,0 ^{Db}	0,1
0,5	6,9 ^{Ba}	7,0 ^{Ba}	7,3 ^{Ba}	4,5 ^{Cb}	4,1 ^{Cb}	3,9 ^{Cb}	3,7 ^{Cb}	3,9 ^{Cb}	4,1 ^{Cb}	0,1
1,0	8,5 ^{Aa}	7,6 ^{ABbc}	8,2 ^{Aab}	7,3 ^{Bc}	5,2 ^{Bef}	5,0 ^{Bf}	4,7 ^{Bf}	6,0 ^{Bde}	6,5 ^{Bd}	0,1
1,5	8,5 ^{Aa}	7,8 ^{Aabc}	8,6 ^{Aa}	8,5 ^{Aa}	6,2 ^{Ae}	6,3 ^{Ae}	6,7 ^{Ade}	7,2 ^{Acde}	7,5 ^{Abc}	0,1
EPM	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05);

EPM = Erro padrão da média;

Na Tabela 6 são apresentados os teores de proteína bruta e cinzas sendo que para a variável matéria mineral foi verificado efeito da utilização de cal virgem, e como previsto, a cana-de-açúcar sem aditivo apresentou menor valor para essa variável. O tratamento da forragem com cal, principalmente na maior dose, elevou significativamente o valor do teor de cinzas ao longo de todo o período de avaliação. Oliveira et al. (2006b) também encontraram diferença significativa nas médias da fração mineral da cana-de-açúcar tratada com diferentes doses de cal virgem. Segundo esses

autores, a forragem sem aditivo apresentou teor de 2,75% da MS contra 4,66% na forragem tratada com 0,5% de cal virgem. Silva et al. (2006), avaliando o tratamento da cana-de-açúcar em montes em diferentes tempos de exposição aeróbia (0, 1, 3, 6, 12, 24 horas), observaram que a adição de 1,0% de cal hidratada à cana fresca elevou a fração mineral para valores médios de 4,84% contra 1,96% da MS para a forragem não aditivada. De acordo com esses autores, não foi constatada interação entre os tratamentos e os horários de exposição para a variável cinzas. Ezequiel; Gastaldi e Queiroz (2001) também observaram efeito da adição de NaOH, com teor de cinzas de 9,3% para a forragem tratada contra 2,0% da MS para o tratamento controle, 24 horas após a colheita e tratamento da forragem.

De acordo com a Tabela 6, maiores teores de PB foram observados para a cana-de-açúcar sem aditivo em ambos os modos de aplicação. A utilização de cal virgem, especialmente em doses altas, parece reduzir o teor de proteína bruta da forragem. Silva et al. (2006) não observaram interação entre os tratamentos com os horários de exposição para a variável proteína bruta. Entretanto, de acordo com esses autores, a cana tratada com 1,0% de cal hidratada também apresentou significativa redução do teor de PB (1,85% da MS) em relação ao tratamento controle (2,17% da MS). Seguindo a mesma tendência, Oliveira et al. (2006b) encontraram redução significativa do teor de PB na cana-de-açúcar tratada com 0,5% de cal virgem, com teores de 2,93% da MS para a forragem sem aditivo contra 2,61% da MS para a forragem aditivada. De qualquer forma, os teores de PB observados na Tabela 6 ao longo de todo o período experimental, estão dentro da amplitude de 1,8 a 4,7% da MS relatada por Faria (1993), mostrando que a fração protéica parece ser pouco afetada durante o período de exposição aeróbia. Deve-se também ressaltar que, tendo baixos teores originais de proteína bruta associados a elevada concentração de carboidratos solúveis, boa parte das alterações observadas na fração protéica se devem, provavelmente, mais as variações de carboidratos (solúvel ou estrutural) que da proteína propriamente dita.

Tabela 6 - Evolução temporal no teor de cinzas e de proteína bruta da cana-de-açúcar *in natura* tratada com cal virgem em exposição aeróbia

Modo ¹	Dose ²	Tempo (horas)									EPM
		0	6	12	24	48	72	96	120	240	
Cinzas (% da MS)											
Água	0,0	1,5 ^C	1,5 ^C	1,7 ^D	1,4 ^C	1,2 ^C	1,2 ^D	1,4 ^C	1,6 ^D	1,3 ^D	0,2
	0,5	3,4 ^{Ba}	4,1 ^{Bab}	3,5 ^{Ca}	3,5 ^{Ba}	4,1 ^{Bab}	3,7 ^{Cab}	4,5 ^{Bbc}	4,6 ^{Cbc}	5,2 ^{Cc}	0,2
	1,0	5,8 ^{Ab}	5,0 ^{ABab}	4,9 ^{Bab}	4,5 ^{Ba}	4,9 ^{Bab}	5,4 ^{Bab}	5,5 ^{Bb}	5,9 ^{Bb}	7,2 ^{Bc}	0,2
	1,5	6,5 ^{Ab}	5,2 ^{Aa}	6,3 ^{Ab}	5,9 ^{Aab}	6,7 ^{Ab}	6,7 ^{Ab}	7,4 ^{Ac}	7,6 ^{Ac}	8,8 ^{Ad}	0,2
EPM		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
Seco	0,0	1,7 ^D	1,5 ^C	1,0 ^D	1,1 ^D	1,7 ^D	1,2 ^D	1,6 ^D	1,7 ^D	1,7 ^D	0,2
	0,5	3,1 ^{Ca}	2,8 ^{Ba}	3,0 ^{Ca}	2,7 ^{Ca}	3,7 ^{Ca}	3,5 ^{Ca}	3,7 ^{Ca}	3,7 ^{Ca}	4,8 ^{Cb}	0,2
	1,0	4,9 ^{Ba}	4,9 ^{Aa}	5,2 ^{Bab}	4,7 ^{Ba}	5,3 ^{Bab}	5,7 ^{Babc}	6,3 ^{Bc}	6,3 ^{Bc}	7,6 ^{Bd}	0,2
	1,5	6,5 ^{Aab}	5,8 ^{Aa}	6,4 ^{Aab}	6,1 ^{Aa}	6,8 ^{Aabc}	7,1 ^{Abcd}	8,0 ^{Ad}	8,0 ^{Ad}	9,3 ^{Ae}	0,2
EPM		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
Proteína bruta (% da MS)											
Água	0,0	2,9 ^a	2,9 ^{Ba}	2,8 ^{Ba}	2,9 ^{Ba}	2,9 ^{Ba}	2,9 ^{Ba}	3,2 ^{Bb}	3,2 ^{Cb}	3,4 ^{Cc}	0,1
	0,5	2,9 ^C	2,9 ^{Bc}	2,7 ^{ABab}	2,7 ^{ABab}	2,7 ^{Aab}	2,6 ^{Aa}	2,8 ^{Abc}	2,9 ^{Bc}	3,0 ^{ABc}	0,1
	1,0	2,8 ^{ab}	2,9 ^{Bb}	2,7 ^{ABa}	2,7 ^{ABa}	2,7 ^{Aa}	2,7 ^{Aa}	2,8 ^{Aab}	2,8 ^{Bab}	3,1 ^{Bc}	0,1
	1,5	2,7 ^{bc}	2,7 ^{Abc}	2,6 ^{Aab}	2,6 ^{Aab}	2,6 ^{Aab}	2,5 ^{Aa}	2,6 ^{Aab}	2,6 ^{Aab}	2,9 ^{Ac}	0,1
EPM		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Seco	0,0	2,9 ^{Ba}	3,1 ^{Bab}	2,9 ^{Ba}	2,9 ^{Ba}	2,9 ^{Ca}	3,0 ^{Ba}	3,2 ^{Bbc}	3,2 ^{Cbc}	3,3 ^{Bc}	0,1
	0,5	2,8 ^{ABa}	2,8 ^{Aa}	2,7 ^{ABa}	2,7 ^{Aa}	2,7 ^{Ba}	2,7 ^{Aa}	2,8 ^{Aa}	2,8 ^{ABa}	3,1 ^{ABb}	0,1
	1,0	2,8 ^{ABab}	2,9 ^{Ab}	2,7 ^{ABa}	2,7 ^{Aa}	2,7 ^{Ba}	2,7 ^{Aa}	2,8 ^{Aab}	2,9 ^{Bb}	3,1 ^{ABc}	0,1
	1,5	2,7 ^{Aab}	2,8 ^{Ab}	2,6 ^{Aab}	2,6 ^{Aab}	2,5 ^{Aa}	2,5 ^{Aa}	2,7 ^{Aab}	2,7 ^{Aab}	3,0 ^{Ac}	0,1
EPM		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	

¹ Modo de aplicação do aditivo = a seco ou diluído em água;

² Dose do aditivo expressa como % da massa verde;

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05);

EPM = Erro padrão da média;

Na Tabela 7 são apresentados os dados referentes aos teores de FDN da cana-de-açúcar submetida aos diferentes tratamentos. Segundo a tabela, a aplicação de doses crescentes do aditivo diluído em água, aparentemente não foi efetiva em reduzir os teores de FDN da cana fresca. Para o modo de aplicação a seco, a utilização de

doses crescentes de cal também não foram efetivas em reduzir os teores de FDN nas primeiras seis horas após o tratamento e também no tempo 48 horas. Entre os tempos 12 e 24 e, a partir do tempo 72, a cana tratada com cal virgem, principalmente na maior dose, apresentou valores baixos para essa fração. Silva et al. (2006) encontrou redução significativa dos teores de FDN da cana tratada com 1,0% de cal hidratada em relação ao tratamento controle. Durante 24 horas de exposição aeróbia, esses autores encontraram valores médios de FDN de 53,7% da MS para a forragem tratada contra 59,4% da MS para o tratamento controle. Oliveira et al. (2006b) também encontraram redução da fração FDN com a utilização de cal virgem, com teores de 35,93% da MS para o tratamento controle contra 33,83% da MS para a forragem tratada com 0,5% do aditivo. De fato, segundo Klopfenstein (1978), o tratamento de resíduos fibrosos com agentes alcalinizantes resulta em discreta alteração da fração celulósica.

Na análise isolada das forragens tratadas (Tabela 7) não pode ser constatada a solubilização, ao menos parcial da fração FDN, durante os tempos analisados. O tratamento da cana-de-açúcar com cal virgem apresentou teores de FDN nos tempos 12 e, especialmente, às 24 horas semelhantes ao valor inicial. Esse comportamento mostra que a reação do aditivo com a massa de forragem é capaz, apenas, de manter o teor estável durante esse período, especialmente nas maiores doses do aditivo. Silva et al. (2006), trabalhando com cana-de-açúcar aditivada com 1,0% de cal hidratada em diferentes horas de exposição aeróbia (0, 1, 3, 6, 12 e 24) também não observaram alteração significativa da fração FDN, com valores oscilando entre 52,72 e 54,80% da MS durante esse período. De acordo com a Tabela 7, a cana-de-açúcar não aditivada apresentou significativo aumento da fração FDN entre os tempos zero e seis horas, em ambos os modos de aplicação, com posterior estabilização desses valores ao longo do período de avaliação. Silva et al. (2006) também encontraram elevação significativa dos valores de FDN para a cana-de-açúcar não aditivada a partir do tempo seis horas, com posterior estabilização desses valores até o tempo 24 horas.

Também foram observados teores reduzidos de FDN para os tratamentos contendo 1,0 e 1,5% de cal, entre os tempos 12 e 24 horas de exposição aeróbia, quando comparados com a evolução dessa fração na forragem não aditivada. Além disso, durante todo intervalo de tempo avaliado, a forragem tratada com cal virgem

jamais apresentou teor de FDN inferior ao valor inicial, indicando que nos diferentes tempos de exposição da cana fresca ao aditivo não foi possível constatar redução efetiva da fração FDN. Desse modo, o tratamento com cal virgem permitiu, apenas, evitar acúmulo significativo dessa fração na composição centesimal do alimento.

Esse comportamento, em análise superficial, poderia sugerir a não ocorrência de solubilização da fração FDN (Tabela 7), contudo a análise da Tabela 8 indica ter havido, ao menos parcialmente, desaparecimento de hemicelulose, na comparação dos tratamentos controle contra os aditivados. Assim, a explicação mais possível para o aumento dos teores de FDN estaria na redução intensa do teor de carboidratos solúveis (Tabela 4), o que resultou na concentração relativa dos componentes da parede celular da forragem, ainda que tenha ocorrido hidrólise da hemicelulose. Com isso, a impossibilidade de se observar redução efetiva na fração FDN, ao longo do período de exposição aeróbia, se deve provavelmente a intensa respiração dos carboidratos solúveis (Tabela 4) resultando em aumento expressivo da temperatura da massa de forragem (Tabela 2)

Tabela 7 - Evolução temporal da fração FDN da cana-de-açúcar *in natura* tratada com cal virgem em exposição aeróbia

Modo ¹	Dose ²	Tempo (horas)									EPM
		0	6	12	24	48	72	96	120	240	
Água	0,0	50,8 ^a	53,8 ^b	55,0 ^{Bb}	54,5 ^b	56,3 ^b	59,1 ^{Bc}	63,0 ^{Cd}	68,4 ^{Ce}	78,5 ^{Cf}	0,5
	0,5	52,7 ^a	56,0 ^{bc}	54,3 ^{Bab}	53,8 ^{ab}	56,6 ^{bc}	57,1 ^{ABc}	56,6 ^{ABbc}	59,5 ^{Bd}	67,3 ^{Be}	0,5
	1,0	52,8 ^a	56,3 ^b	53,5 ^{ABa}	55,3 ^{ab}	57,3 ^b	57,4 ^{ABb}	57,9 ^{Bbc}	60,4 ^{Bc}	66,9 ^{Bd}	0,5
	1,5	51,5 ^a	53,9 ^{ab}	51,0 ^{Aa}	52,8 ^{ab}	55,2 ^b	54,6 ^{Ab}	54,4 ^{Ab}	55,5 ^{Ab}	61,3 ^{Ac}	0,5
EPM		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
Seco	0,0	52,2 ^{ABa}	55,4 ^{ABb}	55,5 ^{Bb}	56,4 ^{Bbc}	56,8 ^{ABbc}	58,8 ^{Bcd}	61,0 ^{Bd}	65,1 ^{Ce}	75,1 ^{Df}	0,5
	0,5	52,1 ^{ABa}	55,9 ^{ABbc}	54,9 ^{Bb}	54,7 ^{ABab}	56,6 ^{ABbc}	57,7 ^{ABcd}	57,2 ^{ABcd}	59,6 ^{Bd}	70,3 ^{Ce}	0,5
	1,0	53,2 ^{Ba}	56,6 ^{Bbc}	54,9 ^{Bab}	54,9 ^{ABab}	57,9 ^{Bc}	58,0 ^{ABc}	57,3 ^{Abc}	60,5 ^{Bd}	67,1 ^{Be}	0,5
	1,5	50,1 ^{Aa}	53,4 ^{Abc}	52,1 ^{Aab}	52,4 ^{Aab}	54,3 ^{Abc}	55,6 ^{Ac}	55,4 ^{Ac}	56,0 ^{Ac}	63,7 ^{Ad}	0,5
EPM		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	

¹ Modo de aplicação do aditivo = a seco ou diluído em água;

² Dose do aditivo expressa como % da massa verde;

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05);

EPM = Erro padrão da média;

Na Tabela 8 são apresentados os dados referentes aos teores de hemicelulose da cana-de-açúcar.

Tabela 8 - Evolução temporal da fração hemicelulose da cana-de-açúcar *in natura* tratada com cal virgem em exposição aeróbia

Modo ¹	Dose ²	Tempo (horas)									EPM
		0	6	12	24	48	72	96	120	240	
Água	0,0	19,0 ^a	20,8 ^{ABa}	22,0 ^{Cbc}	21,4 ^{Bbc}	22,0 ^{Bbc}	22,6 ^{Ccd}	23,9 ^{Cd}	26,4 ^{Ce}	30,9 ^{Cf}	0,3
	0,5	20,0 ^a	21,4 ^{Bab}	20,0 ^{Ba}	19,9 ^{ABa}	20,6 ^{ABab}	20,4 ^{ABab}	21,3 ^{ABab}	21,9 ^{Bb}	25,0 ^{Bc}	0,3
	1,0	19,9 ^{ab}	21,3 ^{Bbc}	19,5 ^{ABa}	20,5 ^{ABabc}	20,9 ^{ABabc}	20,5 ^{Babc}	21,5 ^{Bbc}	22,1 ^{Bc}	25,3 ^{Bd}	0,3
	1,5	18,6 ^{ab}	19,5 ^{Aab}	18,3 ^{Aa}	19,3 ^{Aab}	19,9 ^{Ab}	18,8 ^{Aab}	19,8 ^{Aab}	19,7 ^{Aab}	22,8 ^{Ac}	0,3
	EPM	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
Seco	0,0	20,3 ^{Ba}	21,5 ^{Bab}	21,7 ^{Bab}	21,7 ^{Bab}	22,1 ^{Bbc}	22,2 ^{Bbc}	23,5 ^{Bcd}	24,4 ^{Cd}	28,4 ^{Ce}	0,3
	0,5	19,5 ^{ABa}	21,1 ^{ABb}	20,4 ^{Bab}	20,3 ^{ABab}	20,9 ^{Bab}	21,0 ^{ABab}	21,6 ^{Ab}	21,9 ^{ABb}	26,5 ^{Bc}	0,3
	1,0	20,0 ^{Ba}	21,2 ^{Bab}	20,2 ^{ABa}	20,0 ^{ABa}	20,8 ^{Ba}	20,7 ^{ABa}	21,1 ^{Aab}	22,6 ^{Bb}	25,4 ^{ABc}	0,3
	1,5	17,9 ^{Aa}	19,5 ^{Ab}	18,7 ^{Aab}	19,0 ^{Aab}	19,0 ^{Aab}	19,3 ^{Aab}	20,1 ^{Ab}	20,4 ^{Ab}	23,9 ^{Ac}	0,3
	EPM	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	

¹ Modo de aplicação do aditivo = a seco ou diluído em água;

² Dose do aditivo expressa como % da massa verde;

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05);

EPM = Erro padrão da média;

No modo de aplicação com água, apenas no momento inicial não foi constatada diferença entre os tratamentos. Nos demais tempos de avaliação, a utilização de cal virgem, principalmente na maior dose, apresentou manutenção dos teores dessa fração. Para o modo de aplicação a seco, a utilização de cal virgem apresentou valores reduzidos em todos os tempos analisados. De fato, segundo Jackson (1977) e Klopfenstein (1978), a hidrólise com agentes alcalinizantes é mais acentuada na fração hemicelulose. Oliveira et al. (2006b) também encontraram solubilização de hemicelulose com a utilização de cal virgem, com valores de 15,78% da MS para o tratamento controle contra 13,96% da MS para a forragem tratada com 0,5% de cal virgem, contudo não foi verificado efeito dos tempos 0, 3 e 6 horas de hidrólise sobre essa variável. Possivelmente, a ausência de efeito para essa variável se deveu aos estreitos intervalos de tempo analisados por esses autores. Ezequiel et al. (2001a), trabalhando com solução comercial de NaOH, encontraram solubilização parcial da

hemicelulose 24 horas após o tratamento hidrolítico. Segundo esses autores, a forragem controle apresentou 17,0% de hemicelulose na MS contra 13,8% na forragem tratada com o aditivo. Silva et al. (2006) não observaram interação entre os tratamentos com os horários de exposição, ocorrendo efeito apenas de doses do aditivo.

Na Tabela 9 são apresentados os teores de FDA da cana-de-açúcar aditivada com doses de cal virgem. Conforme observado, nas primeiras 72 horas após o tratamento, não foi constatada efeito do aditivo para essa variável, em ambos os modos de aplicação. Oliveira et al. (2006b), avaliando o tratamento da cana-de-açúcar *in natura* com 0,5% de cal virgem durante seis horas de exposição aeróbia, não encontraram diferenças no teor de FDA, com valores de 20,16% da MS, para o tratamento controle, e 19,93% da MS, para a forragem aditivada.

A partir do tempo 96 horas, o aumento mais intenso nos teores de FDA para a cana-de-açúcar não tratada fez com que a os tratamentos contendo cal virgem apresentassem reduzido valor para essa fração, em ambos os modos de aplicação.

Tabela 9 - Evolução temporal da fração FDA da cana-de-açúcar *in natura* tratada com cal virgem em exposição aeróbia

Modo ¹	Dose ²	Tempo (horas)									EPM
		0	6	12	24	48	72	96	120	240	
Água	0,0	31,8 ^a	33,0 ^{Aab}	32,9 ^{ab}	33,0 ^{ab}	34,2 ^{Ab}	36,5 ^c	39,1 ^{Bd}	41,9 ^{Ce}	47,5 ^{Cf}	0,3
	0,5	32,7 ^a	34,7 ^{ABbc}	34,3 ^{ab}	33,9 ^{ab}	35,9 ^{ABcd}	36,7 ^d	35,2 ^{Abcd}	37,6 ^{ABd}	42,3 ^{Be}	0,3
	1,0	32,9 ^a	34,9 ^{Bbc}	34,0 ^{ab}	34,8 ^{bc}	36,4 ^{Bcd}	36,8 ^{de}	36,4 ^{Ac}	38,2 ^{Be}	41,6 ^{Bf}	0,3
	1,5	32,8 ^{ab}	34,3 ^{ABabc}	32,7 ^a	33,5 ^{ab}	35,3 ^{ABc}	35,8 ^c	34,6 ^{Abc}	35,7 ^{Ac}	38,4 ^{Ad}	0,3
EPM		0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
Seco	0,0	31,9 ^a	33,8 ^b	33,8 ^b	34,7 ^b	34,7 ^{Ab}	36,6 ^c	37,5 ^{Bc}	40,6 ^{Cd}	46,7 ^{Cf}	0,3
	0,5	32,5 ^a	34,8 ^b	34,5 ^b	34,4 ^b	35,6 ^{ABbc}	36,7 ^{cd}	35,6 ^{ABbc}	37,7 ^{Bd}	43,8 ^{Be}	0,3
	1,0	33,1 ^a	35,4 ^{bc}	34,6 ^{ab}	34,9 ^{ab}	37,1 ^{Bcd}	37,3 ^d	36,1 ^{ABbc}	37,9 ^{Bd}	41,6 ^{Ae}	0,3
	1,5	32,2 ^a	33,9 ^{bc}	33,3 ^{ab}	33,3 ^{ab}	35,3 ^{ABcd}	36,2 ^d	35,3 ^{Ac}	35,6 ^{Ac}	39,7 ^{Ae}	0,3
EPM		0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	

¹ Modo de aplicação do aditivo = a seco ou diluído em água;

² Dose do aditivo expressa como % da massa verde;

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05);

EPM = Erro padrão da média;

Na Tabela 10 são apresentados os coeficientes de digestibilidade da cana-de-açúcar. Aparentemente, a aplicação do aditivo em água não foi efetiva em aumentar a digestibilidade da MS. Nesse modo de aplicação, a maior dose de cal virgem apresentou em relação ao tratamento controle elevado coeficiente de DVIVMS apenas no tempo 12 horas e a partir do tempo 72 horas, contudo, os maiores coeficientes apresentados pela maior dose do aditivo não diferiram do valor inicial observado para esse tratamento. Também não foi verificada alteração da digestibilidade da matéria orgânica com aplicação do aditivo diluído em água no tempo zero. Além disso, a partir do tempo 72 horas, a digestibilidade da matéria orgânica apresentou comportamento semelhante ao da digestibilidade da matéria seca para esse modo de aplicação.

Por outro lado, a aplicação do aditivo em pó provocou aumento significativo da digestibilidade da MS, principalmente na forragem tratada com 1,5% de cal virgem. De acordo com a Tabela 10, a cana-de-açúcar aditivada com a maior dose a seco apresentou digestibilidade elevada da matéria seca e pequena oscilação desses valores durante os primeiros cinco dias de exposição aeróbia. Para a variável DVIVMO, a maior dose do aditivo aplicada a seco resultou em coeficientes significativamente superiores, imediatamente, após o tratamento e a partir do tempo 24 horas

Oliveira et al. (2006a) encontraram efeito da utilização de cal virgem sobre a digestibilidade da matéria seca, com valores de 72,06% para a forragem não aditivada, contra 74,08% para a forragem tratada com 0,5% do aditivo. Os elevados coeficientes de digestibilidade encontrados no trabalho de Oliveira et al. (2006a) podem ser explicados pela variedade de cana-de-açúcar utilizada, a IAC 86-2480. Seguindo a mesma tendência, Silva et al. (2006) observaram que a utilização de 0,5% de cal hidratada também elevou os teores de DVIVMS na cana-de-açúcar *in natura* (58,47% para a forragem tratada contra 53,22% para o tratamento controle). Chaudhry (1998) reportou incremento significativo na digestibilidade *in vitro* da matéria seca da palhada de trigo tratada com cal virgem. Ainda, segundo esses autores, a cal virgem apresentou desempenho semelhante ao hidróxido de sódio, podendo ser utilizado em substituição ao NaOH, uma vez que é mais segura e apresenta melhor relação custo/benefício.

Tabela 10 - Evolução temporal dos coeficientes de digestibilidade da cana-de-açúcar *in natura* tratada com cal virgem em exposição aeróbia

Tempo (horas)											
Modo ¹	Dose ²	0	6	12	24	48	72	96	120	240	EPM
DVIVMS (% da MS)											
Água	0,0	64,1 ^{ABa}	61,4 ^a	64,5 ^{Ba}	63,0 ^{Aa}	62,8 ^{Aa}	60,9 ^{Ba}	54,6 ^{Cb}	49,0 ^{Cc}	33,9 ^{Cd}	0,7
	0,5	62,4 ^{Ba}	60,3 ^{ab}	62,8 ^{Ba}	63,2 ^{Aa}	61,8 ^{Aa}	60,9 ^{Ba}	60,6 ^{Ba}	56,4 ^{Bb}	49,0 ^{Bc}	0,7
	1,0	64,8 ^{ABa}	60,2 ^{bc}	64,4 ^{Ba}	62,0 ^{Bab}	61,4 ^{Aabc}	61,1 ^{Babc}	59,9 ^{Bbc}	57,6 ^{Bc}	51,7 ^{Bd}	0,7
	1,5	66,7 ^{Aab}	63,6 ^b	69,4 ^{Aa}	66,2 ^{Aab}	65,4 ^{Ab}	65,7 ^{Aab}	65,2 ^{Ab}	64,9 ^{Ab}	58,4 ^{Ac}	0,7
EPM		0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	
DVIVMO (% da MO)											
Água	0,0	60,6 ^{Bab}	59,1 ^{Bab}	61,5 ^{Ba}	59,5 ^{Bab}	61,0 ^{Ba}	58,6 ^{Bab}	56,9 ^{Cb}	51,8 ^{Cc}	38,5 ^{Dd}	0,7
	0,5	63,5 ^{Ba}	59,9 ^{Bab}	62,3 ^{Bab}	62,1 ^{Bab}	61,4 ^{Bab}	59,3 ^{Babc}	58,4 ^{Bbc}	55,5 ^{BCc}	44,5 ^{Cd}	0,7
	1,0	63,4 ^{Ba}	60,5 ^{Ba}	64,5 ^{ABa}	63,1 ^{ABa}	61,0 ^{Ba}	60,3 ^{Ba}	60,6 ^{ABa}	56,2 ^{Bb}	49,7 ^{Bc}	0,7
	1,5	68,2 ^{Aa}	64,2 ^{Ab}	68,1 ^{Aa}	66,7 ^{Aab}	66,5 ^{Aab}	65,1 ^{Aab}	64,2 ^{Aab}	64,5 ^{Aab}	54,9 ^{Ac}	0,7
EPM		0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	
DVIVMO (% da MO)											
Água	0,0	63,1 ^{ABa}	62,4 ^a	64,6 ^a	64,4 ^a	61,3 ^{Ba}	55,9 ^{Cb}	48,7 ^{Cc}	42,9 ^{Cd}	29,6 ^{Ce}	0,7
	0,5	61,2 ^{Bb}	61,0 ^b	62,9 ^{ab}	65,6 ^a	62,4 ^{ABab}	60,4 ^{Bb}	59,6 ^{Bb}	54,6 ^{Bc}	44,1 ^{Bd}	0,7
	1,0	64,1 ^{ABa}	60,7 ^{ab}	62,8 ^a	62,9 ^a	62,1 ^{ABa}	60,1 ^{Bab}	58,5 ^{Bbc}	55,1 ^{Bc}	46,6 ^{Bd}	0,7
	1,5	65,8 ^{Aa}	63,6 ^a	66,0 ^a	65,3 ^a	66,1 ^{Aa}	65,8 ^{Aa}	65,0 ^{Aa}	63,4 ^{Aa}	58,9 ^{Ab}	0,7
EPM		0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	
DVIVMO (% da MO)											
Seco	0,0	60,7 ^{Ba}	60,0 ^a	62,1 ^a	60,7 ^{Ba}	60,3 ^{Ba}	55,7 ^{Bb}	51,3 ^{Cc}	45,5 ^{Cd}	32,7 ^{De}	0,7
	0,5	62,7 ^{ABab}	61,6 ^{bc}	63,2 ^{ab}	65,4 ^{Aa}	61,7 ^{Bbc}	58,4 ^{Bcd}	57,3 ^{Bd}	53,4 ^{Be}	39,3 ^{Cf}	0,7
	1,0	61,7 ^{Bab}	60,4 ^{ab}	63,1 ^a	63,0 ^{ABab}	61,3 ^{Bab}	59,3 ^{Bab}	59,1 ^{ABb}	54,0 ^{Bc}	45,8 ^{Bd}	0,7
	1,5	66,0 ^{Aab}	63,6 ^{ab}	65,8 ^{ab}	65,6 ^{Aab}	67,2 ^{Aa}	64,1 ^{Aab}	62,9 ^{Ab}	62,8 ^{Ab}	51,3 ^{Ac}	0,7
EPM		0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	

¹ Modo de aplicação do aditivo = a seco ou diluído em água;

² Dose do aditivo expressa como % da massa verde;

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05);

EPM = Erro padrão da média;

3.3 Conclusões

De forma geral, a utilização de cal virgem apresentou efeito benéfico para as variáveis de estabilidade aeróbia, reduzindo o aquecimento da massa, as perdas de matéria seca e os picos de temperatura.

Na avaliação do valor nutritivo, o tratamento com cal virgem aplicado à cana picada e armazenada em montes apresentou pouco efeito sobre as variáveis químico-

bromatológicas. Apenas no período imediatamente após a adição do aditivo foi constatada solubilização parcial da hemicelulose e manutenção das frações FDN e FDA. Para as variáveis digestibilidade da matéria seca e orgânica, os maiores coeficientes também foram obtidos no período imediatamente após a aplicação do aditivo, especialmente para a maior dose.

Para os demais tempos de exposição aeróbia (a partir de 24 horas de exposição aeróbia) a adição de cal virgem não promoveu melhora do valor nutritivo da forragem tratada. Nesses mesmos tempos de avaliação, o desempenho superior observado para os tratamentos contendo o aditivo se deve, predominantemente, a maior instabilidade apresentada pelo tratamento controle.

Dessa forma, de acordo com os dados apresentados, tempos prolongados de exposição aeróbia da cana-de-açúcar são inconvenientes, uma vez que ocorre aumento nos teores das frações fibrosas e redução no de açúcares solúveis, acompanhado de aquecimento da massa e, ainda, tornando a forragem susceptível à deterioração microbiana e a perda de matéria seca. A avaliação conjunta dos dados também permite inferir que os tratamentos aplicados, mesmo nas doses maiores, não foram efetivos em eliminar a atividade metabólica da planta.

De forma geral, o modo de aplicação do aditivo não apresentou alteração significativa das variáveis analisadas. Somente para os coeficientes de digestibilidade da matéria seca e orgânica foi constatado desempenho superior para o modo de aplicação na forma seca do aditivo.

REFERÊNCIAS

ALCÁNTARA, E.; AGUILERA, A.; ELLIOT, R.; SHIMADA, A. Fermentation and utilization by lambs of sugarcane harvested fresh and ensiled with and without NaOH. 4. Ruminant kinetics. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 23, p.323-331, 1989.

ALVES, J. B.; GODOY, M. M.; BERGAMASCHINE, A. F.; BASTOS, J. F. P. Digestibilidade da cana-de-açúcar hidrolisada e *in natura*. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001. Piracicaba, **Anais...** Piracicaba: SBZ, 2001. 1 CD-ROM.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 15th ed. Arlington, 1990. v.1, 1117p.

BERGER, L.L.; FAHEY Jr., G.C.; BOURQUIN, L.D.; TITGEMEYER, E.C. Modification of forage quality after harvest. In: FAHEY Jr., G.C. Forage quality, evaluation and utilization. Madison, 1994. p.922-966.

BERZAGHI, P.; COZZI, G.; ANDRIGHETTO, I. The use of near infrared analysis for *in situ* studies. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v.80, n.12, p.3263-3270, 1997.

BOIN, C.; TEDESCHI, L.O. Cana-de-açúcar na alimentação de gado de corte. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 5., 1993, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1993. p.107-126.

BRETT, C.; WALDRON, K. **Physiology and biochemistry of plant cell walls**. 2nd ed. London: Chapman & Hall, 1996. 255p.

CHAUDHRY, A.S. *In vitro* and in sacco digestibility of wheat straw treated with calcium oxide and sodium hydroxide alone or with hydrogen peroxide. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v.74, n.4, p.301-313, 1998.

COZZOLINO, D.; ACOSTA, Y.; GARCIA, J. Application of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to forage evaluation in Uruguay. In: INTERNATIONAL GRASSLANDS CONGRESS, 19., 2001. São Pedro, **Proceedings...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 370.

DOMINGUES, F.N.; OLIVEIRA, M.S.; SIQUEIRA, G.R.; ROTH, A.P.T.P.; SANTOS, J.; ANDRADE, A.T.; MONTEIRO, R.R.; ROTH, M.T.P.; MAGARIO, F.B. Efeitos das doses de cal (CaO) microprocessada e do tempo após o tratamento sobre a estabilidade aeróbia e dinâmica de microrganismos na cana-de-açúcar *in natura*. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006. João Pessoa, **Anais...** João Pessoa: SBZ, 2006. 1 CD-ROM.

DUBOIS, M.; GILLES, K.A.; HAMILTON, J.K.; REBERS, P.A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 28, p. 350, 1956.

EZEQUIEL, J.M.B.; GASTALDI, K.A.; QUEIROZ, M.A.A. Efeitos da hidrólise alcalina nos teores de carboidratos solúveis, matéria seca, matéria orgânica e matéria mineral da cana-de-açúcar. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001. Piracicaba, **Anais...** Piracicaba: SBZ, 2001. 1 CD-ROM.

EZEQUIEL, J.M.B.; GASTALDI, K.A.; QUEIROZ, M.A.A. MENDES, A.R.; GALATI, R.L. Teores de carboidratos estruturais nas cana-de-açúcar *in natura*, hidrolisada e hidrolisada e fenada. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001a. Piracicaba, **Anais...** Piracicaba: SBZ, 2001a. 1 CD-ROM.

EZEQUIEL, J.M.B.; GALATI, R.L.; GASTALDI, K.A.; QUEIROZ, M.A.A. MENDES, A.R.; FEITOSA, J.V. Degradabilidade da matéria seca e pH ruminal em bovinos alimentados com cana-de-açúcar *in natura*, hidrolisada ou hidrolisada fenada. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001b. Piracicaba, **Anais...** Piracicaba: SBZ, 2001b. 1 CD-ROM.

EZEQUIEL, J.M.B.; QUEIROZ, M.A.A.; MENDES, A.R.; NASCIMENTO FILHO, V.F.; GALATI, R.L.; FEITOSA, J.V. Taxa de passagem, consumo, e digestibilidade da fibra da cana-de-açúcar *in natura* ou hidrolisada, em bovinos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 40., 2003. Santa Maria, **Anais...** Santa Maria: SBZ, 2003. 1 CD-ROM.

FARIA, V.P. O uso da cana-de-açúcar para bovinos no Brasil. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 5., 1993, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1993. p.1-16.

GONZÁLES, E.; MacLEOD, N.A. Spontaneous fermentation of sugar cane. **Tropical Animal Production**, Santo Domingo, v.1, p.80-85, 1976.

GUTIERREZ, L.E.; FARIA, V.P. Influência da intensidade do murchamento sobre o teor de carboidratos solúveis do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum). **O Solo**, Piracicaba, n.2, p.26-31, 1976.

HOLDEN, L.A. Comparison of methods of *in vitro* dry matter digestibility for ten feeds. **Journal of Dairy Science**, Lancaster, v.82, n.8, p.1791-1794, 1999.

JACKSON, M.G. Review articles: the alkali treatment of straws. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v.2, n.2, p.105-130, 1977.

JUNG, H.J. Genetic manipulation of cell walls. Identification of cell wall traits that can be manipulated to improve forage digestibility. In: DAIRY FORAGE RESEARCH CENTER; CONFERENCE WITH DAIRY AND FORAGE INDUSTRIES, 1996. Madison, **Proceeding...** Madison, p.9-14.

KLOPFENSTEIN, T.J. Chemical treatment of crops residues. **Journal of Animal Science**, Albany, v.46, n.2, p.841-848, 1978.

KLOPFENSTEIN, T.J. Increasing the nutritive value of crop residues by chemical treatments. In: HUBER, J.T. UPGRADING RESIDUES AND PRODUCTS FOR ANIMALS. Boca Raton: Ed. CRC Press, 1980, p.40-60.

KUNG Jr., L. **Preparation of silage water extracts for chemical analysis** (Standard operating procedure, 001 2.03.96) Newark: Ed. University of Delaware – Ruminant Nutrition Lab. – Worrilow 309, 1996.

LOSADA, H.; ARANDA, E.; ALDERETE, R.; RUIZ, J. The voluntary intake by cattle of chopped sugar cane treated with sodium hydroxide. **Tropical Animal Production**, Santo Domingo, v.4, p.51-54. 1979.

MATHISON, G.W.; HSU, H.; SOOFI-SIAWASH, R. et al. Prediction of composition and ruminal degradability characteristics of barley straw by near infrared reflectance spectroscopy. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v.19, p.519-523, 1999.

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

MENDES, C.Q. **Silagem de cana-de-açúcar na alimentação de ovinos e caprinos:** valor nutritivo, desempenho animal e comportamento ingestivo. 2006. 103p.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

MIYAZAKI, M.K.; MELO, G.M.P.; COAN, R.M.; GARCIA, G.R.; ROTH, A.P.T.P.; REIS, A.R. Características químicas e dinâmica de fungos e leveduras na cana-de-açúcar tratada com NaOH. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006. João Pessoa, **Anais...** João Pessoa: SBZ, 2006. 1 CD-ROM.

MOSER, L.E. Post-harvest physiological changes in forage plants. In: MOORE, K.J.; PETERSON, M.A. Post-harvest physiology and preservation of forages, 1995. Madison: CSSA Spec., p.1-19 (Publ. N.22. ASA and CSSA).

NUSSIO, L.G.; SCHMIDT, P.; PEDROSO, A.F. Silagem de cana-de-açúcar. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; SILVA, S.C; FARIA, V.P. In: PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTAGENS, 2003. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2003. p. 187-205.

NUSSIO, L.G.; SCHMIDT, P.; QUEIROZ, O.C.M. Alternativas de uso e manejo de cana-de-açúcar para bovinos. In: SIMPÓSIO GOIANO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE BOVINOS DE CORTE, 7., 2005, Goiânia. **Anais...**Goiânia: CBNA, 2005. p. 299-321.

OLIVEIRA, B.S.Y.; ALVES, J.B.; BERGAMASCHINE, A.F.; ISEPON, O.J.; BASTOS, J.F.P. Desempenho de bovinos terminados em confinamento com diferentes volumosos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001. Piracicaba, **Anais...** Piracicaba: SBZ, 2001. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, M.S.; SHINODA, J.; BODRICK, R.; SANTOS, J.; LOPES, A.D.; SILVA, T.M.; OLIVEIRA, I.S.; MOTA, D.A.; BRITO, D.R.B. Efeito da hidrólise com cal hidratada (hidróxido de cálcio) sobre a digestibilidade *in vitro* da cana-de-açúcar (*Sacharam officinarum* L.). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006a. João Pessoa, **Anais...** João Pessoa: SBZ, 2006a. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, M.S.; SHINODA, J.; BODRICK, R.; SANTOS, J.; LOPES, A.D.; SILVA, T.M.; OLIVEIRA, I.S.; MOTA, D.A.; BRITO D.R.B. Efeito da hidrólise com a cal (hidróxido de cálcio) sobre a composição bromatológica da cana-de-açúcar (*Sacharam officinarum* L.). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006b. João Pessoa, **Anais...** João Pessoa: SBZ, 2006b. 1 CD-ROM.

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

QUEIROZ, O.C.M. **Associação de aditivos microbianos na ensilagem e o desempenho de vacas em lactação recebendo silagem de cana-de-açúcar comparada a volumosos tradicionais**. 2006. 99p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

REIS, R.A.; RODRIGUES, L.R. Amonização de forrageiras de baixa qualidade. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FORRAGICULTURA E PASTAGENS, 1., 1994, Campinas. **Anais...** Campinas: CBNA, 1994. p. 89-104.

ROTZ, C.A.; MUCK, R.E. Changes in forage quality during harvest and storage. In: **Forage quality, evaluation and utilization**. Madison: ASA; CSSA; SSSA, 1994. p.828-868.

SAS INSTITUTE. **SAS user.s guide: statistics**. Cary, 1999. 965p.

SHENK, J.S.; WESTERHAUS, M.O. Population definition, sample selection, and calibration procedures for near infrared reflectance spectroscopy. **Crop Science**, Madison, v.31, p.469-474, 1991.

SILVA, D.J. **Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos)**. Viçosa: UFV, Impr. Univ., 1981. 166p.

SILVA, R.A.; CACERE, E.R.; DIAS, A.C.S.; RIBEIRO, C.B.; SOUZA, A.R.D.L.; VASCONCELOS, P.C.; MORAIS, M.G.; FRANCO, G.L. Efeito da adição de cal hidratada na cana-de-açúcar picada sobre a composição química e digestibilidade *in vitro* da matéria seca. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006. João Pessoa, **Anais...** João Pessoa: SBZ, 2006. 1 CD-ROM.

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

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