

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP**

**CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**CANA-DE-AÇÚCAR HIDROLISADA COM DUAS FORMAS  
DE APLICAÇÃO E TAMANHOS DE PARTÍCULAS**

**Viviane Borba Ferrari**

Zootecnista

2013

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP**

**CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**CANA-DE-AÇÚCAR HIDROLISADA COM DUAS FORMAS  
DE APLICAÇÃO E TAMANHOS DE PARTÍCULAS**

**Viviane Borba Ferrari**

**Orientador: Prof. Dr. Mauro Dal Secco de Oliveira**

**Dissertação apresentada à Faculdade de  
Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp,  
Câmpus de Jaboticabal, como parte das  
exigências para obtenção do título de  
Mestre em Zootecnia.**

**2013**

Ferrari, Viviane Borba  
F375c Cana-de-açúcar hidrolisada com duas forma de aplicação e tamanhos de partículas / Viviane Borba Ferrari. -- Jaboticabal, 2013  
viii, 51 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2010

Orientadora: Mauro Dal Secco de Oliveira

Banca examinadora: Flávia Fernanda Simili, Atushi Sugohara

Bibliografia

1. cal virgem. 2. Carboidrato. 3. Digestibilidade. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 636.085.5:636.2

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**Viviane Borba Ferrari** – filha de Jesus Aparecido Ferrari e Lucí Borba Ferrari, nascida no dia 17 de janeiro de 1987, na cidade de Ribeirão Preto, São Paulo. Formou-se do ensino médio em dezembro de 2004 e ingressou no curso de Zootecnia em março de 2005 na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp Câmpus de Jaboticabal e recebeu o título de Zootecnista no mês de dezembro do ano de 2009. Em março de 2011 ingressou no curso de Mestrado na mesma instituição na área de Bovinocultura Leiteira sob a orientação do Prof. Dr. Mauro Dal Secco de Oliveira.

## EPÍGRAFE

“Hoje levantei cedo pensando no que tenho a fazer antes que o relógio marque  
meia-noite.

É minha função escolher que tipo de dia vou ter hoje.

Posso reclamar porque está chovendo, ou agradecer às águas por lavarem a  
poluição.

Posso ficar triste por não ter dinheiro, ou me sentir encorajado para administrar  
minhas finanças, evitando o desperdício.

Posso reclamar sobre minha saúde, ou dar graças por estar vivo.

Posso me queixar dos meus pais por não terem me dado tudo o que eu queria, ou  
posso ser grato por ter nascido.

Posso reclamar por ter que ir trabalhar, ou agradecer por ter trabalho.

Posso sentir tédio com as tarefas da casa, ou agradecer a Deus por ter um teto para  
morar.

Posso lamentar decepções com amigos, ou me entusiasmar com a possibilidade de  
fazer novas amizades.

Se as coisas não saíram como planejei, posso ficar feliz por ter hoje para recomeçar.

O dia está na minha frente esperando para ser o que eu quiser.

E aqui estou eu, o escultor que pode dar forma.

**TUDO DEPENDE SÓ DE MIM."**

Charles Chaplin.

## DEDICATÓRIA

À Deus, pela força e fé que me dera para continuar a caminhada até o final.

À minha família pelo apoio e compreensão.

Aos meus amigos pela companhia.

## AGRADECIMENTOS

À Unesp Jaboticabal, essa Universidade maravilhosa, pela oportunidade que me foi dada de passar esses anos tão agradáveis onde pude adquirir muita bagagem.

Ao professor Mauro Dal Secco de Oliveira, por ter me dado a chance de fazer parte de sua equipe, sempre com muita confiança e paciência.

Aos integrantes da banca examinadora, Prof. Dr. Mauro, Prof Dr. Atushi Sugohara e Flávia Fernanda Simili, pela imensa colaboração com o trabalho através de suas sugestões. Muito obrigada!

Aos companheiros de trabalho: Régis Luís Missio, Guilherme Abud, Aníbal Coutinho, Aryel Pereira, Eliete Ramos, Sharahdiny dos Santos, Viviane Endo, Mariana Sforcini, Vanessa Amaro e Maria Luiza Silva pelo apoio e companheirismo durante esses dois anos.

Funcionários do setor: Badeco, Biro, Cássia, Cris, Debôniz, Gazeta, Maria Alice e Marrom pela amizade e pela alegria de todos os dias.

Aos meu amigos e amigas que tanto torceram por mim e estiveram sempre do meu lado, sou muito grata a vocês...

Ao Guilherme Becker que sempre me deu maior força, me incentivando com toda sua amizade e amor.

À minha família por ser a estrutura e base na qual me espelho. Sem vocês eu nada seria...

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE ABREVIACÕES.....	iii
LISTA DE TABELAS.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	v
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	3
2.1. Aspectos gerais da cana-de-açúcar utilizada como volumoso.....	3
2.2. Conceitos de carboidratos das plantas.....	5
2.3. Hidrólise alcalina da cana-de-açúcar.....	7
2.3.1. Definição e agentes alcalinizantes.....	7
2.3.2. Tamanhos de partículas.....	8
2.3.3. Formas de aplicação da cal.....	9
2.3.4. Tempo de ação da cal.....	9
2.3.5. Efeitos da hidrólise na temperatura e pH.....	10
2.3.6. Efeitos da hidrólise na composição bromatológica.....	10
2.3.7. Efeitos da hidrólise na digestibilidade <i>in vitro</i> .....	12
2.3.8. Efeitos da hidrólise na microscopia.....	13
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1. Condução do experimento.....	15
3.2. Determinação da temperatura interna, externa e pH.....	18
3.3. Determinação da composição bromatológica.....	19
3.4. Ensaio de digestibilidade <i>in vitro</i> .....	20
3.5. Microscopia eletrônica de varredura.....	21
3.6. Delineamento e análise estatística.....	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
4.1 Temperaturas e pH.....	24
4.2 Composição bromatológica.....	26
4.3 Digestibilidade <i>in vitro</i> .....	32
4.4 Elétron-micrografias de varredura.....	35

5. CONCLUSÃO.....	39
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40
7. IMPLICAÇÕES.....	51

## LISTA DE ABREVIações

CEL – Celulose

CNF – Carboidratos não fibrosos

CT – Carboidratos totais

DIV – Digestibilidade *in vitro*

DIVFDA - Digestibilidade *in vitro* da Fibra em Detergente Ácido

DIVFDN - Digestibilidade *in vitro* da Fibra em Detergente Neutro

DIVMS - Digestibilidade *in vitro* da Matéria Seca

EE – Extrato Etéreo

FDA – Fibra em Detergente Ácido

FDN – Fibra em Detergente Neutro

FDNcp – Fibra em Detergente Neutro corrigida para cinzas e proteínas

HEM – Hemicelulose

LIG – Lignina

MEV – Microscopia eletrônica de varredura

MM – Matéria mineral

MS – Matéria seca

PB – Proteína bruta

TI – Temperatura interna

TE – Temperatura externa

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Composição química parcial da cal virgem (CaO) micropulverizada utilizada no experimento<sup>1</sup> .....17
- Tabela 2.** Valores de pH e Temperaturas interna e externa da cana-de-açúcar submetida aos diferentes tratamentos.....24
- Tabela 3.** Composição bromatológica da cana-de-açúcar com dois tamanhos de partículas e hidrolisada com cal virgem em pó e em suspensão em diferentes tempos de ação.....27
- Tabela 4.** Valores de hemicelulose, celulose, carboidratos totais e não fibrosos da cana-de-açúcar com dois tamanhos de partículas e hidrolisada com cal virgem em pó e em suspensão em diferentes tempos de ação.....30
- Tabela 5.** Valores da digestibilidade *in vitro* da cana-de-açúcar com dois tamanhos de partículas e hidrolisada com cal virgem em pó e em suspensão com 6 horas após aplicação da cal.....33

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Frações dos carboidratos das plantas. FDA = Fibra em Detergente Ácido, FDN = Fibra em Detergente Neutro, FSDN = Fibra Solúvel em Detergente Neutro (que inclui todos os polisacarídeos não presentes no FDN), CNF = Carboidratos não-fibrosos. Adaptado de Hall (2003).....6
- Figura 2.** Expansão das moléculas de celulose quando tratada com agentes alcalinos, através da redução das ligações intermoleculares das pontes de hidrogênio, as quais ligam as moléculas de celulose (Adaptado de MOTA, 2008).....11
- Figura 3.** Mistura da cal virgem na proporção 0,5 kg:2 litros de água:100 kg de cana picada (A), transferência da calda para o recipiente de aplicação (B), estabelecimento dos amontoados com auxílio de enxada (C).....16
- Figura 4.** Obtenção das temperaturas com termômetro infravermelho e com haste metálica.....19
- Figura 5.** Transferência de do inócuo de líquido ruminal do animal canulado doador para os jarros de fermentação.....20
- Figura 6.** Vista superior e lateral das amostras secas fixadas aos *stubs* com fita de carbono.....21
- Figura 7.** Metalização das amostras com ouro paládio através do equipamento DESK II - DENTON VACUM (esquerda). Visualização microscópica das amostras através do equipamento JOEL- JSM5410 (direita).....22
- Figura 8.** Valores percentuais de hemicelulose (HEM), celulose (CEL), carboidratos não fibrosos (CNF) e carboidratos totais (CT) para a cana *in natura* (0 horas) e hidrolisada por 3 e 6 horas.....32

- Figura 9.** Valores de DIVMS, DIVFDN e DIVFDA para as diferentes formas de aplicação e diferença percentual das variáveis para cana hidrolisada com cal em suspensão em relação a em pó.....34
- Figura 10.** Elétron-micrografias de varredura da parede celular cana-de-açúcar *in natura* tamanho de partícula 4 mm (A) e 10 mm (B).....36
- Figura 11.** Elétron-micrografias de varredura da parede celular cana-de-açúcar após 3 horas de aplicação da cal em pó com tamanho de partículas de 4 mm (A) e 10 mm (B).....36
- Figura 12.** Elétron-micrografias de varredura da parede celular cana-de-açúcar após 3 horas de aplicação da cal em suspensão com tamanho de partículas de 4 mm (A) e 10 mm (B).....37
- Figura 13.** Elétron-micrografias de varredura da parede celular cana-de-açúcar após 6 horas de aplicação da cal em pó com tamanho de partículas de 4 mm (A) e 10 mm (B).....38
- Figura 14.** Elétron-micrografias de varredura da parede celular cana-de-açúcar após 6 horas de aplicação da cal em suspensão com tamanho de partículas de 4 mm (A) e 10 mm (B).....38

## CANA HIDROLISADA COM DUAS FORMAS DE APLICAÇÃO E TAMANHOS DE PARTÍCULA

**RESUMO** – Objetivou-se avaliar a hidrólise com cal virgem aplicada em pó ou suspensão na cana picada a 4 e 10 mm nos tempos de ação 0 (cana *in natura*), 3 e 6 horas após hidrólise. O experimento foi realizado no setor de Bovinocultura Leiteira da UNESP, Campus de Jaboticabal, em um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial triplo (2x2x3), com 8 repetições. Foram analisadas a temperatura interna (TI), pH, matéria seca (MS) e mineral (MM), extrato etéreo (EE), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA), FDN corrigido para cinzas e proteína (FDNcp), lignina (LIG), digestibilidade *in vitro* (DIV) da MS, FDN, FDA e análises de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Foram calculados valores de celulose (CEL), hemicelulose (HEM), carboidratos totais (CT) e não fibrosos (CNF). O pH e a TI aumentaram após a aplicação da cal, independente do tempo de ação, comparados com a cana *in natura*. A média do pH foi de 5,7 e 10; e da TI de 28,9 e 29,75°C; para cana não tratada e tratada, respectivamente. A MS, PB, LIG e HEM não foram alteradas por nenhum dos tratamentos. A MM, EE e FDA foram alterados pela hidrólise. A média da MM foi 4,1 e 6,62% e do EE 0,38 e 0,62% para cana *in natura* e para tratada, respectivamente. O FDA da cana *in natura* e tratada (3 e 6 horas de hidrólise) foram iguais ( $P>0,05$ ), porém os valores para cana após 3 e 6 horas de hidrólise diferiram entre si, médias de 39,40; 41,55 e 35,37% para cana *in natura*, após 3 e 6 horas de hidrólise, respectivamente. A FDN e FDNcp sofreram alterações pelos tamanhos de partículas e formas de aplicação. O valor de FDN foi de 52,55 e 53,52%; e a FDNcp 50,08 e 50,98% para 4 e 10mm. Já a FDN foi de 53,86 e 52,21% e FDNcp de 51,20 e 49,87% para cana com cal aplicada em pó e em suspensão, respectivamente. A CEL foi alterada pelo tempo de ação sendo maior para 3 horas de ação da cal, apresentando 33,84; 36,20 e 30,35% para cana *in natura*, e após 3 e 6 horas de hidrólise. O teor de CT também foi diferente para tempos de ação sendo 93,15 para cana não tratada e, independente do tempo de ação, a cana tratada apresentou média de 90,49%. Os CNF diferente estatisticamente para todos os tratamentos, sendo 41,37 e 40,18% para partículas de 4 e 10mm; 40,08 e 41,78% para cana hidrolisada com cal em pó e suspensão e 42,42 e 40,08% para cana *in natura* e tratada, respectivamente. A DIV da cana foi alterada apenas pelas formas de aplicação onde a DIVMS foi de 55,42% para hidrólise com cal em pó e 59,38% para suspensão, a DIVFDN foi de 36,25% para cana com cal em pó e 33,31% cal em suspensão e DIVFDA de 21,26 e 19,00% para cana com cal em pó e em suspensão. Pelas imagens de microscopia é possível observar maior degradação da parede celular para cana hidrolisada com 4 mm de tamanho de partícula em relação à cana *in natura*, independente do tempo de ação.

**Palavras – chave:** cal virgem, carboidrato, digestibilidade, hidrólise, partícula

## SUGARCANE HYDROLYZED WITH TWO APPLICATION METHODS AND PARTICLE SIZES

**ABSTRACT** – This study aimed to evaluate the hydrolysis with virgin lime applied powdered or suspension on sugarcane chopped at 4 and 10 mm in the times of action 0 (fresh sugarcane), 3 and 6 hours after hydrolysis. The experiment was carried out at the Dairy Cattle Department of UNESP, Jaboticabal in a completely randomized design in a triple factorial (2x2x3), 8 repetitions. The internal temperature (IT), pH, dry matter (DM) and mineral (MM), ether extract (EE), crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), NDF corrected for ash and protein (NDFap), lignin (LIG), *in vitro* digestibility (IVD) of DM, NDF, ADF and analysis of Scanning Electron Microscopy (SEM). Values of cellulose (CEL), hemicellulose (HEM), total carbohydrates (TC) and non-fiber carbohydrates (NFC) were calculated. The pH and IT increased after application of lime, regardless of time of action, compared to fresh sugarcane. The pH average was 5.7 and 10, and IT 28.9 and 29.75°C; for untreated and treated sugarcane, respectively. The DM, CP, LIG and HEM were changed by no treatment. The MM, EE and ADF were altered by hydrolysis. The averages were 4.1 and 6.62% of MM and 0.38 and 0.62% of EE for fresh and treated sugarcane, respectively. The ADF for fresh and treated sugarcane (3 and 6 h of hydrolysis) were similar ( $P > 0.05$ ), but the values for cane after 3 and 6 h of hydrolysis differ from each other, average of 39.40, 41, 55 and 35.37% for fresh sugar cane, after 3 and 6 hours of hydrolysis, respectively. The NDF and NDFap unchanged by particle size and application forms. The NDF was 52.55 and 53.52%, and 50.98% and 50.08 NDFap for 4 and 10mm. The NDF was 53.86 and 52.21% and NDFap 51.20 and 49.87% for cane with lime powdered and applied in suspension, respectively. The CEL was changed by time of action and was higher after 3 hours of hydrolysis, with 33.84, 36.20 and 30.35% for fresh sugarcane, and after 3 and 6 h of hydrolysis. The content of CT was also different for periods of action being 93.15 for untreated sugarcane and, regardless of time of action, treated sugarcane had an average of 90.49%. The CNF was statistically different for all treatments, with 41.37 and 40.18% for 4 and 10mm particles, 40.08 and 41.78% for hydrolyzed cane with lime powdered and suspension; and 42.42 and 40.08 % for fresh and treated sugarcane respectively. The IVD was changed only by the application methods where IVDDM was 55.42% for hydrolysis with lime powdered and 59.38% for suspension, IVDNDF was 36.25% for sugarcane with lime powdered and 33.31% for lime in suspension and IVDADF were 21.26 and 19.00% for sugarcane with powdered and suspension lime. For the microscope images it is possible to notice higher cell wall degradation of hydrolyzed sugarcane with 4 mm particle size compared to fresh sugarcane, independent of the time of action.

**Keywords:** carbohydrate, digestibility, hydrolysis, particle, virgin lime

## 1. INTRODUÇÃO

O crescente aumento populacional mundial tem elevado a demanda por alimentos de origem animal, portanto a busca por aumentar a produção sem acarretar no aumento do custo, tem sido um entrave para muitos produtores e pesquisadores. Assim, a cana-de-açúcar tem surgido como uma alternativa interessante, já que apresenta baixo custo por tonelada produzida, disponibilidade nos períodos mais críticos do ano em que há falta de volumosos de boa qualidade, além de altos teores de matéria seca, energia por área plantada, simples condução e manutenção do canavial, tecnologia acessível para corrigir determinadas deficiências nutricionais presentes nesta forrageira e boa aceitação pelo animal.

Contudo, o valor nutricional e o modo de fornecimento da cana-de-açúcar são fatores limitantes ao seu uso na alimentação animal. O corte diário muitas vezes se torna um entrave, já que a maioria dos produtores não possui mão de obra disponível ou equipamentos adequados para sua realização.

Desta forma, o tratamento da cana-de-açúcar com agentes alcalinizantes como, cal virgem (CaO) ou hidratada (Ca(OH<sub>2</sub>)) tem sido estudado por ser capaz de prolongar o tempo de armazenamento do volumoso podendo chegar em até 72 horas após hidrólise (DOMINGUES et al., 2012), reduzir a incidência de abelhas no cocho, prevenir a acidose ruminal e atuar na melhoria da digestibilidade, já que, são capazes de agir na porção fibrosa da parede celular da cana-de-açúcar.

Embora os teores de lignina normalmente não sejam alterados pelo tratamento químico (KLOPFENSTEIN, 1980), a ação dos agentes alcalinos leva ao aumento da taxa de digestão da fibra presente nos volumosos (VAN SOEST, 1994), provavelmente devido às quebras das ligações entre as frações de celulose e hemicelulose, tornando-as mais disponíveis para os microrganismos ruminais.

Apesar dos benefícios citados, ainda são poucos os trabalhos sobre o assunto que avaliam a cana-de-açúcar após poucas horas da realização da hidrólise a fim de acompanhar as modificações ocorridas no volumoso ao longo do tempo e geralmente estudos são conduzidos utilizando apenas uma forma de aplicação da cal e tamanho de partícula da cana-de-açúcar não estabelecido. Assim torna-se

interessante a realização de experimentos científicos para entender a ação da cal virgem quanto às suas formas de aplicação sobre a cana-de-açúcar com diferentes superfícies de contato para a ação desta, bem como a evolução da ação química do alcalinizante na parede celular.

Portanto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar as formas de aplicação em pó e em suspensão da cal virgem com diferentes tempos de ação (0; 3 e 6 horas após a aplicação da cal) na hidrólise da cana-de-açúcar picada com dois tamanhos de partículas de 4 e 10 mm.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. Aspectos gerais da cana-de-açúcar utilizada como volumoso

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum L.*) foi trazida para o Brasil pelos primeiros colonizadores, sendo utilizada como forrageira na alimentação de ruminantes (PEIXOTO, 1986) e nos dias de hoje tem importante papel na economia do país.

Segundo o primeiro levantamento da safra 2011/12 de cana-de-açúcar, realizada pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2011), a área cultivada com cana-de-açúcar está estimada em 8.442,8 mil hectares, sendo que a previsão do total de cana moída para produção de açúcar e etanol é de 641.982 mil toneladas. O Estado de São Paulo continua sendo o maior produtor com 52,8% (4.458,31 mil hectares), seguido por Minas Gerais com 8,77% (740,15 mil hectares), Goiás com 7,97% (673,38 mil hectares), Paraná com 7,33% (619,36 mil hectares), Mato Grosso do Sul com 5,69% (480,86 mil hectares), Alagoas com 5,34% (450,75 mil hectares), e Pernambuco com 3,84% (324,03 mil hectares). Segundo Silva (1993), além da técnica já bastante difundida no estado de São Paulo, a cana-de-açúcar possui alta disponibilidade nos períodos mais críticos do ano, com baixas temperaturas e seca prolongada, bem como elevada produtividade (80 a 150 toneladas/ha/ano) e baixo custo de produção por tonelada de matéria seca, assim, seu uso na alimentação de bovinos tem se tornado uma alternativa atrativa aos produtores.

A cana-de-açúcar, entre todas as gramíneas, é a que possui maior potencial de produção de matéria seca e energia por unidade de área, podendo ser obtido em um único corte produções entre 15 a 20 toneladas de nutrientes digestíveis totais (NDT) por hectare/ano, já as culturas de milho, sorgo e mandioca, produzem cerca de 8 toneladas de NDT/ha/ano (EMBRAPA, 2012). Seu valor nutritivo adequado coincide com a época de escassez de forragens (OLIVEIRA, 2010), além da facilidade de estabelecimento e manejo da cultura, podendo ser dispensada práticas de conservação como a ensilagem e fenação (BORGES e VIEIRA, 2003).

Vários estudos realizados comprovam a eficiência da utilização da cana-de-açúcar como volumoso na alimentação de ruminantes, como demonstrado por Moreira et al, (1987), que ao utilizar a cana-de-açúcar suplementada com uréia, sulfato de amônio e níveis crescentes de farelo de arroz (0; 0,5; 1,0; 1,5 kg/dia) na alimentação de animais mestiços Holandês x Zebu com 8 meses de idade e pesando 120 kg, obtiveram ganhos de 200g, 354g, 483g, 546g e ingestão de matéria seca (MS) de 2,21; 2,23; 2,06 e 1,90% do peso vivo, respectivamente.

Magalhães et al (2004), utilizando doze vacas leiteiras da raça Holandesa e mestiças, alimentadas com dietas de quatro níveis de substituição de silagem de milho por cana-de-açúcar: 0; 33,3; 66,6 e 100%, obtiveram produções de leite corrigidas para 3,5% de gordura com valores de 27,00; 24,98; 24,36 e 21,41kg/dia para os respectivos níveis de cana-de-açúcar no volumoso, concluindo que a substituição de 33,3% de silagem de milho por cana-de-açúcar é economicamente viável, demonstrando que a cana-de-açúcar é uma alternativa alimentar que, se bem manejada e utilizada, pode proporcionar redução de custos com alimentação sem diferenças significativas na produção.

Contudo é preciso levar em conta que a cana-de-açúcar é um alimento nutricionalmente desbalanceado, apresentando teores de proteína cerca de 4% (OLIVEIRA et al., 2007a), baixa ingestão devido ao teor elevado de (FDN) e necessidade de mão-de-obra estratégica para corte diário e picagem (OLIVEIRA, 2010); baixos teores de minerais como o fósforo, enxofre, zinco e manganês (SOBREIRA, 2006) não atendendo as exigências dos animais, portanto devem ser suplementados corretamente.

Com o intuito de contornar os problemas acima mencionados quanto à utilização da cana-de-açúcar, alguns procedimentos foram utilizados ao longo do tempo, tais como a correção do teor proteico por meio da adição de uréia pecuária mais fonte de enxofre (sulfato de amônio), introdução de variedade com menor teor de FDN, como a IAC 862480.

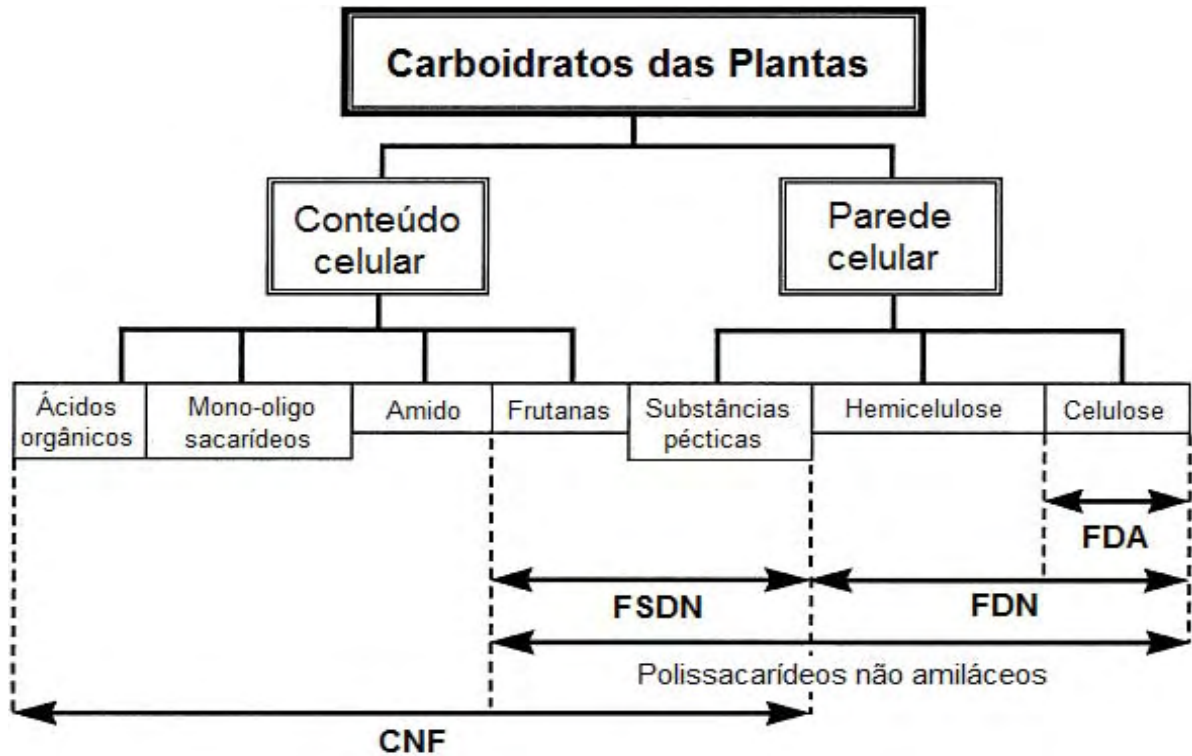
Já no intuito de evitar o corte diário da cana-de-açúcar, pesquisadores (FARIA et al. 2000) demonstraram ser possível o corte e manutenção da planta inteira por até 72 horas, sem que a qualidade da planta fosse prejudicada. Além desses procedimentos, nas últimas décadas tem se intensificado o estudo referente

a métodos de tratamentos (hidrólise) de forragens que promovem o rompimento da estrutura da fração fibrosa para torná-las mais digestíveis e, conseqüentemente, propiciando melhora no aproveitamento do alimento, inclusive aumentando o consumo de nutrientes pelos animais.

## **2.2. Conceitos de carboidratos das plantas**

Para permitir a compreensão e interpretação da composição química de alimentos para animais, é necessário que se tenha uma descrição e conceituação sobre seus constituintes. Os carboidratos são as biomoléculas mais abundantes da Terra, apresentam em geral, a fórmula  $(CH_2O)_n$ , nas plantas sua síntese se dá através da fotossíntese onde, na presença de energia luminosa, o carbono presente na atmosfera na forma de  $CO_2$  é combinado com a água e transformado em carboidratos. Suas principais funções nas células vegetais são: fonte e reserva de energia e manter estrutura das plantas (LEHNINGER, 1986). Para os ruminantes, os carboidratos compreendem entre 70 e 80% das rações e são fundamentais para o atendimento das exigências de energia, síntese de proteína microbiana, de componentes do leite e da saúde animal (MERTENS, 1996). Os carboidratos, de célula vegetal, são as principais fontes de energia para os animais e são divididos em dois grandes grupos: os da parede celular e os de conteúdo celular, como pode ser observado na Figura 1.

Na prática, segundo Hall (2003), as frações dos carboidratos são definidas através de métodos químicos e enzimáticos, onde seu fracionamento consiste nas diferenças de solubilidade e especificidade enzimática. Os carboidratos não fibrosos (CNF) é uma fração facilmente e quase completamente digeridas pela maioria dos animais que engloba ácidos orgânicos, mono e oligosacarídeos, frutanas, amido, substâncias pécticas,  $\beta$  –glucanos e outros carboidratos exceto a hemicelulose e celulose encontradas na fração da Fibra em Detergente Neutro (FDN) (VAN SOEST, 1993; HALL 2003). Entretanto a interpretação do teor de CNF é muito discutida uma vez que é calculado por uma fórmula que subtrai de 100 as outras frações do alimento, como proteína, extrato etéreo, FDN e cinzas, portanto assume eventuais falhas nos procedimentos de determinação destes.



**Figura 1.** Frações dos carboidratos das plantas. FDA = Fibra em Detergente Ácido, FDN = Fibra em Detergente Neutro, FSDN = Fibra Solúvel em Detergente Neutro (que inclui todos os polissacarídeos não presentes no FDN), CNF = Carboidratos não-fibrosos. Adaptado de Hall (2003).

Já a parede celular vegetal é um componente anatômico que diferencia as células vegetais das dos animais, que confere rigidez necessária à manutenção da integridade citoplasmática da célula (BERCHIELLI, 2006). Sua composição básica é constituída por carboidratos como a celulose, hemicelulose e pectina e pela lignina, que não se classifica como um carboidrato. A celulose é um componente que é essencialmente insolúvel e extremamente resistente à degradação enzimática (JUNG & ALLEN, 1995), já a hemicelulose é muito menos resistente à degradação química e é definida como um carboidrato solúvel em solução alcalina fraca. Esta é também, a fração mais intimamente ligada com a lignina, e como ocorre com a celulose, depois de desfeita sua ligação com a lignina, ela é facilmente digerida pelos microrganismos do rúmen do animal (MAYNARD et al. 1984). Por sua vez, a lignina é definida como um fenilpropanóide orgânico de natureza polimérica que se complexa aos demais componentes da parede celular vegetal para conferir-lhe

rigidez. A lignina é encontrada principalmente nos colmos das forragens, seu teor aumenta conforme a planta envelhece e seu arranjo químico reduz a digestibilidade da hemicelulose e celulose (VAN SOEST, 1963).

A fibra é um termo usado para estabelecer um conceito puramente nutricional sendo definida por nutricionistas como a fração indigestível ou de lenta digestão do alimento que ocupa espaço no trato gastrointestinal (BERCHIELLI, 2006). Deste modo a parede celular não pode ser levada em conta como uma medida exata de fibra, uma vez que engloba substâncias pécticas que são de alta digestibilidade (MERTENS, 1996).

### **2.3. Hidrólise alcalina da cana-de-açúcar**

#### **2.3.1. Definição e agentes alcalinizantes**

O termo hidrólise refere-se à quebra da estrutura fibrosa através da solubilização de componentes que, na maioria das vezes, provoca o aumento da digestibilidade do alimento como um todo, melhora o consumo e o desempenho animal.

Alguns agentes alcalinizantes têm sido usados para melhorar a digestibilidade de alimentos fibrosos sendo os mais utilizados para a promoção da hidrólise são o hidróxido de sódio (NaOH), hidróxido de cálcio  $\text{Ca}[(\text{OH})_2]$  ou cal hidratada, amônia anidra ( $\text{NH}_3$ ) e o óxido de cálcio (CaO) ou cal virgem (TEIXEIRA JÚNIOR, 2008). A utilização desses agentes na hidrólise da cana-de-açúcar tem como objetivo melhorar o valor nutritivo da cana e, pela elevação do pH da cana hidrolisada, inibir o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis, permitindo assim o armazenamento desse material por um período maior (DOMINGUES et al., 2011).

As cales micro-pulverizadas virgem e hidratada utilizadas para a hidrólise são originadas de rochas calcárias calcíticas (fonte principal de cálcio). O processo de industrialização inicia-se com a detonação das rochas. As rochas são então britadas em grandes moinhos, peneiradas e calcinadas em fornos com temperaturas variando entre 800 e 1100°C, transformando-se em cal virgem. A cal hidratada é obtida através da hidratação da cal virgem, nas usinas de hidratação, onde recebe água por processos controlados (GUIMARÃES, 2003).

### 2.3.2. Tamanhos de partículas

Vários fatores podem afetar a hidrólise da cana-de-açúcar com a cal virgem ou hidratada, tais como: a concentração de óxido de cálcio ou óxido de magnésio, quantidade de cal aplicada, tempo de ação da cal sobre o alimento, homogeneização da cal com água e da água com a cana, idade de corte, variedade da cana e tamanho de partícula. Macedo (2007) ao trabalhar com a cana hidrolisada com cal virgem e diferentes dosagens, não observou influência significativa dos diferentes tamanhos de partículas (0,5 e 1 cm) na matéria seca, proteína bruta e matéria mineral nem interação das diferentes dosagens estudadas. Entretanto ao avaliar o pH das amostras, observou que as partículas com tamanho de 0,5 estavam mais alcalinas após 1,5 horas de tratamento com a cal, evidenciando que partículas menores facilitam o aumento do pH do material, por proporcionarem maior área de contato entre a superfície do volumoso e a cal.

O tamanho da partícula também pode influenciar diretamente as exigências de fibra para vacas em lactação quanto à efetividade, sendo capaz de modificar algumas variáveis como comportamento ingestivo, o consumo voluntário de matéria seca e porcentagem de gordura no leite, conforme evidenciado por Armentano e Pereira (1997) e Mertens (1997), uma vez que em forragens picadas com partículas de 40 mm podem reduzir a atividade de mastigação em até 80% quando comparado com material não picado, e conseqüentemente diminui o gasto energético com a atividade. A atividade de mastigação nos ruminantes faz com que o tamanho de partícula do alimento ingerido seja reduzido, aumentando a relação volume/superfície (POPPI et al, 1980), resultando em maior acesso microbiano, degradação do alimento e facilitando a passagem do resíduo para fora do rúmen (McALLISTER et al., 1994; BERNARD et al., 2000; WELCH, 1982).

De forma semelhante Leonardi e Armentano (2003) relatam que maiores tamanhos de partículas demoram a deixar o rúmen, o que diminui consistentemente o consumo de alimentos. Em contraste, partículas de forragens finamente moídas de feno ou silagem, diminuem a atividade de mastigação, tempo de ruminação e o pH ruminal.

### **2.3.3. Formas de aplicação da cal**

As formas de aplicação da cal para hidrólise da cana encontradas na literatura são: em pó ou suspensão (dissolvidas em 2 ou 4 litros de água) para 100 kg de material verde picado. A principal desvantagem ao se optar por aplicação da cal na forma em pó é a formação de aerossóis e, devido ao seu alto poder corrosivo, deve-se ter cuidados especiais com vias aéreas e olhos. É importante destacar que a água utilizada no preparo da suspensão da cal serve apenas como veículo para facilitar a aplicação, tendo maior controle sobre a distribuição da suspensão de forma homogênea sobre a cana picada além de permitir maior contato das partículas da cana com a cal.

Deve-se ter em mente que as cales são produtos corrosivos o que torna obrigatório a utilização de equipamentos de proteção individual como calça, sapatos fechados, luvas, bastão para a mistura da calda e um recipiente resistente, porque quando se mistura a cal virgem com a água ocorre uma reação exotérmica que aumenta rapidamente a temperatura da suspensão podendo causar o rompimento do recipiente caso o mesmo seja feito de material muito frágil (DOMINGUES, 2009). De acordo com esse mesmo autor, a escolha da aplicação da cal na forma em pó ou dissolvida deve ser baseada na operacionalidade do sistema, ou seja, cabe ao responsável pela aplicação a escolha pela forma mais prática.

Oliveira et al. (2006a), trabalhando com duas formas de aplicação (solução ou pó) e com duas dosagens de cal hidratada (0,5 e 1%), verificaram que a dose de 0,5% de cal foi mais interessante, pois causou a redução nos teores de FDN e de HEM da cana, independente da forma de aplicação.

### **2.3.4. Tempo de ação da cal**

Existem vários trabalhos na literatura estudando a hidrólise da cana-de-açúcar e o efeito do tempo de armazenamento (ou tempo de ação da cal) sobre suas características bromatológicas, pH e desempenho de animais alimentados com a cana hidrolisada.

No estudo realizado por Mota (2008) com cal virgem ou hidratada na dosagem de 0,5% é possível observar um aumento nos valores de proteína quando se compara a cana após 12 horas de hidrólise com a cana após 36 e 60 horas de

armazenamento, mostrando que para maiores tempos de armazenamento, os valores de proteína também aumentaram independente do tipo de cal utilizada, porém o inverso ocorreu para carboidratos totais e não fibrosos.

Missio et al. (2012a) trabalhou com cana *in natura* e hidrolisada com cal hidratada por diferentes tempos de armazenamento e verificou que o pH da cana *in natura* foi de 5,14; atingindo 7,02 e 6,11 após 24 e 48 horas, respectivamente, tendendo à estabilidade até 72 horas.

Pina et al. (2011), ao testarem três doses crescentes de cal (0; 0,5 e 1,0%) e dois tempos de armazenamento (0 e 72 horas de ação da cal) não observaram alteração no consumo de MS, matéria orgânica (MO), proteína (PB) e NDT ao estudarem o desempenho de novilhas da raça Nelore. Da mesma forma, Domingues et al. (2012) testou a cana *in natura*, hidrolisada com cal virgem a 0,5% com dois tempos de armazenamento e não verificou diferença estatística para ganho médio de peso e conversão alimentar de novilhas de corte meio sangue Angus x Nelore.

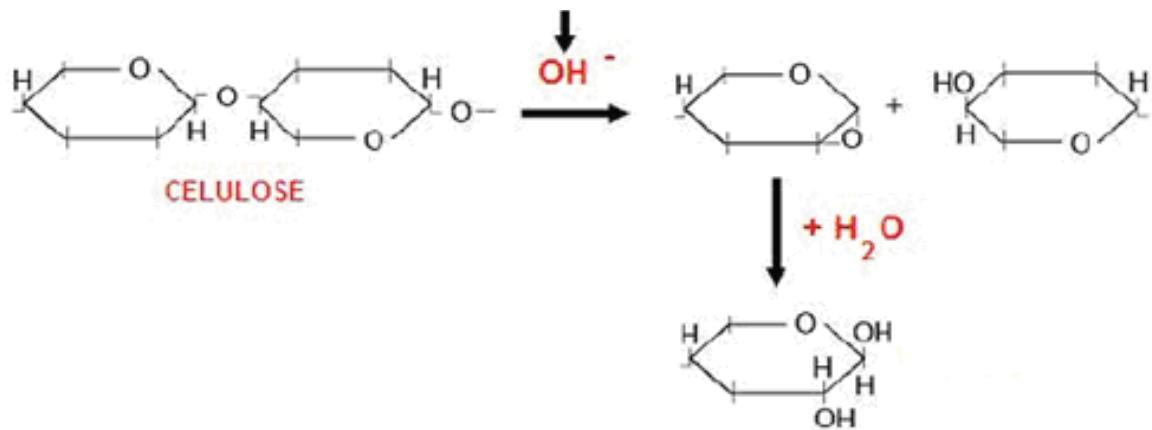
### **2.3.5. Efeitos da hidrólise na temperatura e pH**

A cana-de-açúcar, diferentemente de outros alimentos, possui altos valores de açúcares solúveis e umidade, desta forma uma vez cortada e picada, é iniciado um processo de fermentação espontânea, capaz de converter até metade dos açúcares solúveis em ácidos orgânicos (GONZALES AND MACLEOD, 1976). Desta forma, o processo de fermentação da cana após o corte e picagem da planta é capaz de provocar elevações na temperatura e diminuição nos valores de pH (acidificação). Portanto, a inclusão de agentes alcalinizantes pode reduzir o processo de fermentação durante a fase de armazenamento da cana hidrolisada (PINA et al. 2009).

### **2.3.6. Efeitos da hidrólise na composição bromatológica**

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

da parede celular, resultando na liberação de açúcares solúveis, como pode ser observado pela Figura 2.



**Figura 2.** Expansão das moléculas de celulose quando tratada com agentes alcalinos, através da redução das ligações intermoleculares das pontes de hidrogênio, as quais ligam as moléculas de celulose (Adaptado de MOTA, 2008).

Instantes após a realização da hidrólise, os agentes alcalinos iniciam seu processo de diminuição nos teores de fibra em detergente neutro (FDN) devido à solubilização de parte da hemicelulose (HEM) (COOMBRE et al., 1979).

As ações hidrolisantes dos diferentes agentes alcalinos atuam no sentido de reduzir os teores de FDN, HEM e de fibra em detergente ácido (FDA) da cana-de-açúcar, o que está relacionada com a melhoria no consumo e na digestibilidade, com possibilidades de melhoria no desempenho animal (OLIVEIRA et al., 2002 e SILVA et al., 2006). Esta diminuição das concentrações de FDN é extremamente interessante, já que esta fração está relacionada com o enchimento ruminal, o que limita o consumo de matéria seca, como explica Mertens (1994).

Vários estudos têm sido realizados no intuito de analisar o efeito da cal na composição química da cana-de-açúcar, conforme demonstrado por Silva et al. (2006), que após 24 horas da aplicação da cal hidratada observaram melhoria na composição química (redução nos teores de FDN, FDA e de HEM).

Domingues et al. (2006) avaliando a hidrólise da cana com a cal virgem (94,1% de  $\text{CaO}$ ), observaram um controle eficaz sobre as leveduras, associadas à

deterioração aeróbia de alimentos ricos em carboidratos, como é o caso da cana-de-açúcar. Portanto, o uso de agentes alcalinizantes, além de possibilitar melhora na qualidade da forragem, possibilita o armazenamento mais prolongado, com minimização do uso de mão-de-obra (ANDRADE et al., 2001) e consequente diminuição do custo de produção.

### **2.3.7. Efeitos da hidrólise na digestibilidade *in vitro***

A técnica de digestibilidade *in vitro* utiliza líquido ruminal ou enzimas digestivas, visando reproduzir as condições favoráveis à fermentação do rúmen-retículo, como o pH de aproximadamente 6,9, poder tampão, temperatura de 39°C, anaerobiose e presença de microrganismos para estimar a digestibilidade da matéria seca e fibra (GOMIDE, 1974). É um processo normalmente empregado para avaliação de degradação de forragens e outros alimentos volumosos (OSBOURN e TERRY, 1977).

A simulação da digestão no rúmen pode ser realizada por uma variedade de procedimentos laboratoriais, sendo o mais utilizado a incubação *in vitro* da amostra do alimento em líquido ruminal, esta técnica foi descrita por Tilley e Terry (1963) e Johnson (1966). Segundo Van Soest (1994) e Nocek (1988) a incubação em meio de cultura apresenta os inconvenientes de se eliminar a população microbiana aderida à partícula no processo de filtração do material, e inviabilizar microrganismos sensíveis quando retirados do ambiente ruminal, apresentando grande número de etapas e análise para sua execução. Contudo, o sistema *in vitro* utilizando líquido ruminal em meio de cultura, tenta simular o processo anaeróbio de fermentação ruminal (GOERING e VAN SOEST, 1975).

Desta forma, a digestibilidade é a capacidade do alimento de permitir que o animal absorva seus nutrientes, sendo portanto uma característica inerente ao alimento e não do animal (COELHO DA SILVA & LEÃO, 1979). De forma geral, sabe-se que alimentos com baixa digestibilidade *in vitro* da fração fibra em detergente neutro (FDN), principalmente, limita o consumo de matéria seca devido ao enchimento ruminal.

Ferrari (2009) avaliou a hidrólise com cal virgem em solução a 0,5% e observou aumento na digestibilidade *in vitro* da matéria seca, FDN e FDA ao comparar com a cana-de-açúcar não tratada para as quatro variedades estudadas.

Baliero Neto et al. (2009) trabalhando com a cal virgem aplicada em pó a 0,5% para hidrólise no tratamento de silagem de cana-de-açúcar observou maior digestibilidade e menores teores dos constituintes da parede celular no momento da abertura, sugerindo que esse agente promoveu a solubilização parcial da hemicelulose. Silva et al. (2005) trabalhando com caprinos e ovinos observaram que a digestibilidade da matéria seca do bagaço de cana-de-açúcar aumentou de 35 para 60% com a aplicação de 2,4% de cal para 100 kg de bagaço, após 48 horas de tratamento.

Oliveira et al. (2007a) avaliaram a digestibilidade *in vitro* da cana-de-açúcar tratada com diferentes níveis de cal virgem (0; 0,5 e 1,0%), e concluíram que o tratamento com a cal a 0,5% foi suficiente para aumentar em 5% a digestibilidade *in vitro* da matéria seca.

Alves et al. (2010), avaliou dietas contendo 50% de volumoso sendo eles cana *in natura* e cana hidrolisada com cal hidratada a 1% aplicada de forma em pó e observou aumento de 5,6% na digestibilidade *in vitro* da matéria seca para dieta com cana hidrolisada quando comparada com a dieta a base de cana *in natura*. Nesse mesmo trabalho observou-se aumento na produção de leite de quase 1,7 kg ao dia a favor da cana tratada.

### **2.3.8. Efeitos da hidrólise na microscopia**

Os avanços científicos dos últimos tempos se devem muito ao aperfeiçoamento dos microscópios e das lentes de aumento, que possibilitaram entrar em um universo microscópico e melhor compreender e analisar os processos ocorridos em escalas mínimas.

As diferenças anatômicas das plantas, os sítios de lignificação e os fatores que afetam a degradação dos tecidos vegetais pelos microrganismos do rúmen podem ser analisados pelas técnicas de microscopia e, assim, auxiliar na avaliação do valor nutricional de plantas forrageiras (AKIN et al., 1974; VAN DER HEIJDEN et al., 1995; ENGELS, 1996; TRAVIS et al., 1996).

Atualmente nos estudos biológicos temos duas principais ferramentas disponíveis, a microscopia eletrônica de transmissão (MET) e a microscopia eletrônica de varredura (MEV). A MET permite verificar as inter-relações específicas entre as membranas das células de vegetais bem como sua função fisiológica, os microrganismos, a forma em que é degradada a forragem ou grão pois apresenta alto poder de resolução. Sua observação geralmente é dada por lâminas com corte de finas camadas do material a ser observado, coloridas artificialmente. A MEV permite a obtenção de informações estruturais de amostras diversas e tem sido utilizada para estabelecer uma base entre a parede celular e a digestibilidade de forragens, assim como de grãos, pois possibilita a observação e registro da imagem tridimensional (LEMPP, 2007), sendo então esta técnica mais apropriada e utilizada para estudos de investigação anatômica e de degradação de tecidos vegetais, apesar de ser mais cara.

Akin e Hartley (1992), afirmaram que no preparo das amostras para avaliação microscópica misturam-se vários tecidos de digestibilidades distintas, uma vez que a fração colmo de uma planta possui menor digestibilidade da porção fibrosa, por se tratar de estrutura de sustentação mais lignificada.

Engels e Jung (1998) estudaram a digestibilidade *in vitro* do caule de três genótipos diferentes de alfafa, por meio de avaliações histológicas. Concluíram que o xilema permaneceu indegradável devido à deposição da lignina sobre o tecido, enquanto que tecidos não lignificados, como a pectina, tiveram alta degradabilidade. Estes fatos foram observados independentemente do estágio de desenvolvimento da planta, os quais corroboram com os estudos de Galyean e Goetsch (1993), os quais afirmam que a lignina afeta negativamente a degradabilidade da alfafa.

Assim, estudos que utilizam técnicas de microscopia fornecem subsídios para melhor compreender as relações de causa/efeito na degradabilidade das forragens, bem como a escolha daquelas com melhor potencial qualitativo. No entanto, a escassez de trabalhos que se utilizam da técnica de MEV para melhor compreender a ação de agentes alcalinizantes na cana-de-açúcar é muito grande, dificultando discussão e interpretação das imagens.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Condução do experimento

O experimento foi conduzido no setor de Bovinocultura de Leite da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP – Câmpus de Jaboticabal localizado a 21°14'05" latitude Sul e 48°17'09" longitude Oeste, com altitude de 613,98 m acima do nível do mar. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é o tipo Cwa, mesotérmico de inverno seco. O solo onde estava implantado o canavial é classificado como latossolo vermelho, de textura argilosa e média fertilidade (ANDRIOLI & CENTURION, 1999). Durante o período experimental, as condições climáticas eram: temperatura máxima: 31,3°C; temperatura mínima: 17,1°C; temperatura média: 24,2°C; umidade relativa do ar: 59,5%; precipitação total do mês: 141,9 mm; número de dias com chuvas no mês: 8 dias, segundo as informações da Estação Meteorológica de Jaboticabal.

A cana-de-açúcar utilizada foi obtida do canavial pertencente ao setor onde foi conduzida a pesquisa, sendo a colheita realizada com picadora JF 92Z10, precisamente regulada para obtenção dos cortes com tamanhos de partículas de 4 mm e 10 mm. A variedade da cana utilizada foi a IAC86-2480, 3º corte, com 12 meses de idade.

Após a colheita a cana-de-açúcar foi transportada para um galpão coberto onde foram organizados 48 amontoados de 30 kg com aproximadamente 40 cm de altura cada, sendo que em 16 amontoados não houve nenhum tipo de aplicação de cal (tempo de ação 0h), em outros 16 aplicou-se a cal virgem na forma em pó e nos 16 amontoados restantes foi aplicada imediatamente a cal em suspensão. Os 16 amontoados de cada tratamento ainda foram subdivididos quanto ao tamanho de partícula, sendo que 8 continham cana-de-açúcar com partículas de 4mm e outros 8 com partículas com 10mm.

Os montes de cana-de-açúcar foram abertos com auxílio de enxadas, formando uma camada com aproximadamente 5 cm de altura. A aplicação da cal em pó foi feita a lanço, distribuindo-se uniformemente sobre a camada de cana-de-

açúcar picada, na dosagem 0,5% (0,5 kg de cal para cada 100 kg de cana-de-açúcar), em seguida o material foi misturado e os amontoados estabelecidos.

A aplicação de cal em suspensão foi realizada imediatamente após o preparo da solução também na dosagem de 0,5% (0,5 kg de cal diluída em 2 litros de água para cada 100 kg de cana-de-açúcar picada). A suspensão foi feita em balde plástico, misturando-se até a completa homogeneização e sua aplicação realizada com auxílio de regador de plástico, aplicando-a uniformemente sobre a camada de cana-de-açúcar picada e em seguida esse material foi misturado com auxílio de enxada e os amontoados estabelecidos.

Na Figura 3 está ilustrado o procedimento de preparo manual da solução da cal e a mistura desta com a cana-de-açúcar.



**Figura 3.** Mistura da cal virgem na proporção 0,5 kg:2 litros de água:100 kg de cana picada (A), transferência da calda para o recipiente de aplicação (B), estabelecimento dos amontoados com auxílio de enxada (C).

Foram coletadas amostras dos montes de cana-de-açúcar *in natura* que não receberam tratamento (tempo de ação 0). Os montes que receberam a aplicação de

cal, foram amostrados após 3 e 6 horas após aplicação da cal, sequencialmente. Em seguida, as amostras foram pré-secas em estufa com circulação forçada de ar a 55°C durante 72 horas. Foi coletado material seco de entrenós do colmo dos amontoados de cada tratamento para realização das análises de microscopia e o restante foi pesado e processado em moinho tipo Willey com peneira de malhas de 1 mm.

Na Tabela 1 está expressa a composição química parcial da cal utilizada no experimento de acordo com os níveis de garantia do rótulo.

**Tabela 1.** Composição química parcial da cal virgem (CaO) micropulverizada utilizada no experimento<sup>1</sup>.

Componentes em (%)	Cal Virgem
MgO	0,4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,3
SiO <sub>2</sub>	1,4
CaO total	94,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,2
CaO disponível	87,3
CO <sub>2</sub>	1,5
S	0,07

1. Chistófaro (2001).

Existem no mercado equipamentos aplicadores que podem ser acoplados em picadeiras fixas ou móveis e permitem a hidrólise de grandes quantidades de cana-de-açúcar para rebanhos numerosos. Porém, neste experimento, optou-se por realizar as aplicações da cal de forma manual, a fim de garantir maior homogeneização da suspensão (cal com a água) e desta com a cana-de-açúcar picada. Entretanto, é imprescindível destacar que, devido ao poder corrosivo da cal, é importante o uso de equipamentos de proteção individual como sapatos fechados, máscaras, bastão para mistura da solução, recipientes resistentes (balde e regador) devido ao aumento de temperatura que ocorre quando se mistura a cal com a água podendo causar o rompimento destes.

A escolha pela dosagem de 0,5% deve-se ao fato da cal virgem utilizada nesse estudo possuir alto teor de óxido de cálcio (94,1%) o que garante que a

hidrólise aconteça mesmo com baixa quantidade de cal utilizada para o processo, segundo resultados obtidos por Oliveira et al. (2006a). Ao se utilizar de 0,5 kg de cal a quantidade de 2 litros de água/100 kg de cana-de-açúcar picada foi suficiente para sua dissolução e apresentou bom resultados segundo Oliveira et al. (2007a) e Mota (2008).

### 3.2. Determinação da temperatura interna, externa e pH

Ao final de cada tempo de ação da cal: 0 hora (*cana in natura*), 3 e 6 horas após aplicação, foram registradas as temperaturas internas e externas de cada amontoado de cana-de-açúcar.

A temperatura externa foi obtida utilizando-se um termômetro infravermelho, com precisão de 0,5°C e tomando-se o cuidado de manter, em todas as tomadas, a distância de 1,2 m a um ângulo de aproximadamente 45°. A temperatura interna foi obtida com auxílio de um termômetro com haste de metal de aproximadamente 20 cm, a qual foi utilizada para inserir nos amontoados de cana-de-açúcar picada e coletar a temperatura interna de cada amontoado (Figura 4). As análises de pH foram feitas conforme metodologia descrita por Silva & Queiroz (2002), com utilização de peagâmetro. Para essas três análises (temperatura interna, externa e pH) foram feitas 3 leituras para cada amontoado.



**Figura 4.** Obtenção das temperaturas com termômetro infravermelho e com haste metálica.

### 3.3. Determinação da composição bromatológica

As amostras pré-secas foram utilizadas na determinação do conteúdo de matéria seca (MS), matéria mineral (MM), extrato etéreo (EE) e proteína bruta (PB) de acordo com AOAC (1990). As avaliações da fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDNcp), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina seguiram o protocolo descrito por Van Soest & Robertson (1985), em que:

FDA = Celulose + Lignina;

FDN = Celulose + Hemicelulose + Lignina.

Os carboidratos totais (CT) e os não-fibrosos (CNF) foram determinados segundo Sniffen et al. (1992), pelas expressões:

CT = 100 - (%PB + %EE + %MM);

CNF = 100 - (%PB + %EE + %FDNcp + MM).

### 3.4. Ensaio de digestibilidade *in vitro*

A digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS), da fibra em detergente neutro (DIVFDN), e da fibra em detergente ácido (DIVFDA), foram determinadas a partir de um ensaio realizado em Fermentador Ruminal Ankom<sup>®</sup> (“Daisy-II Fermenter”), apenas das amostras que tiveram ação da cal por 6 horas após a aplicação, já que estudos observaram que os animais passam a consumir a cana-de-açúcar apenas após 6 horas de hidrólise, conforme Côrtes et al. (2009).

Para determinação dos coeficientes de digestibilidade *in vitro* foram pesadas 0,25 g de amostra em cada saquinho de digestão F57<sup>®</sup>. Estes foram posteriormente selados e colocados nos jarros de digestão (até 25 saquinhos por jarro), contendo solução previamente preparada. Em cada jarro foram adicionados 1600 mL de uma solução tampão previamente aquecida a 39°C, constituída pela mistura de duas soluções ‘A’ e ‘B’, na relação 5:1, respectivamente. A solução ‘A’ foi constituída por: 10g/L de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>; 0,5 g/L de MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O; 0,5 g/L de NaCl; 0,1 g/L de CaCl<sub>2</sub> e 0,5g/L de uréia-grau reativo. A solução ‘B’ foi constituída por: 15 g/L de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> e 1,0g/L de Na<sub>2</sub>S.9H<sub>2</sub>O.

Em seguida foi adicionado o inóculo de líquido ruminal em cada jarro (400 mL por jarro) como ilustrado na Figura 5. Para obtenção do inóculo de líquido ruminal foi utilizado um bovino macho castrado, sem padrão racial definido, canulado no rúmen, com aproximadamente 500 kg, como animal doador de conteúdo ruminal.



**Figura 5.** Transferência de do inóculo de líquido ruminal do animal canulado doador para os jarros de fermentação.

Durante o período de adaptação e coleta (20 dias), o animal foi mantido em confinamento e recebeu diariamente cana-de-açúcar picada, 2 kg de concentrado, além de água à vontade. As coletas foram realizadas com intervalos de 7 dias. O conteúdo ruminal foi coletado e coado em tecido de algodão, sendo transportado em garrafas térmicas até o local de incubação.

As amostras foram incubadas por 48 horas, sendo após esse período, realizado um segundo estágio com adição de 8 g de pepsina e 40 mL de HCl 6N em cada jarro, mantendo-se o sistema aquecido por mais 24 horas, sendo a temperatura controlada e conferida constantemente por termômetros digitais. Após o período de incubação das amostras, os saquinhos foram secos em estufa a 55°C e em seguida determinado o teor de MS das amostras em estufa a 105°C. Para a determinação da DIVFDN e da DIVFDA, os saquinhos foram secos em estufa a 55°C e pesados, posteriormente foram levados para o Analisador de Fibras Ankom®, para a determinação dos teores de FDN e de FDA de forma seqüencial.

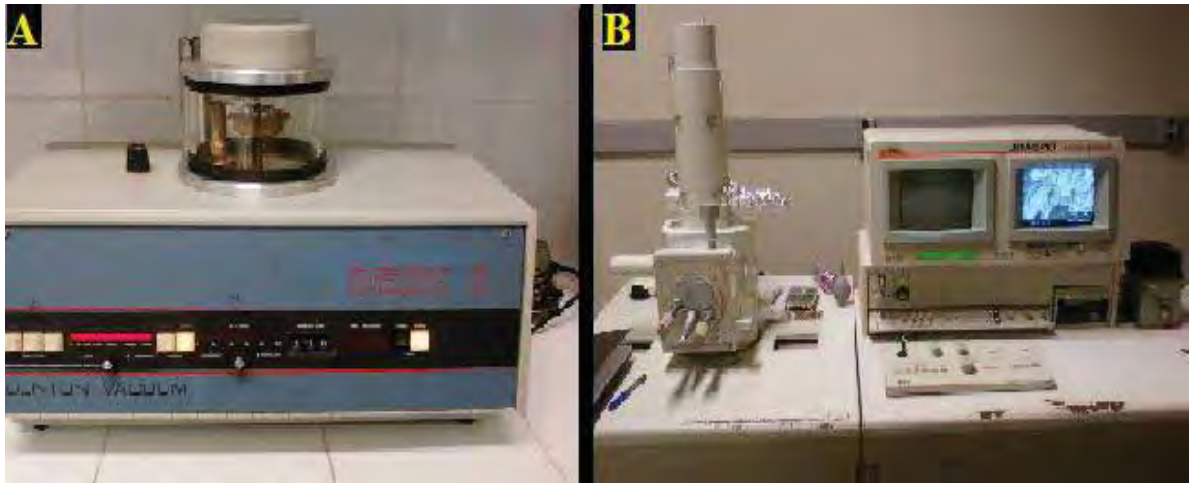
### 3.5. Microscopia eletrônica de varredura

Para as análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV), foram retiradas 15 amostras pré-secas de entrenós do colmo da cana-de-açúcar picada de cada um dos tratamentos e processadas segundo Santos (1996), no Laboratório de Microscopia Eletrônica da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, e analisadas por meio de elétrôn-micrografias de varredura.

As amostras secas foram posicionadas de forma a possibilitar uma visualização perpendicular ao sentido das fibras. Foram fixadas com uma fita de carbono junto aos *stubs*, estrutura cilíndrica metálica utilizada como suporte para as amostras (Figura 6). Posteriormente, estas foram metalizadas, através do equipamento DESK II - DENTON VACUM, com uma camada de ouro paládio por 12 segundos, deixando as mesmas eletricamente condutivas e possibilitando sua visualização (Figura 7). Em seguida procedeu-se a avaliação por meio de observação no microscópio eletrônico de varredura (MEV), marca JEOL, modelo JSM5410, utilizando-se nas elétrôn-micrografias o filme ILFORD FP4 (ISSO 125/220). Neste estudo, optou-se pelo uso do aumento de 150 vezes, para melhor visualização e comparação das imagens, onde 1 cm : 100  $\mu\text{m}$  ( $100 \times 10^{-9}$  m). Foi selecionada uma imagem representativa para cada um dos tratamentos.



**Figura 6.** Vista superior (A) e lateral (B) das amostras secas fixadas aos *stubs* com fita de carbono.



**Figura 7.** Metalização das amostras com ouro paládio através do equipamento DESK II - DENTON VACUM (A). Visualização microscópica das amostras através do equipamento JOEL- JSM5410 (B).

### 3.6. Delineamento e análise estatística

Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial  $2 \times 2 \times 3$  (2 tamanhos de partículas, 2 formas de aplicação e 3 tempos de ação da cal).

O modelo estatístico adotado para a análise estatística foi:

$y_{ijkl} = \mu + a_i + b_j + c_k + (ab)_{ij} + (ac)_{ik} + (bc)_{jk} + (abc)_{jkl} + e_{ijkl}$  em que:  $y_{ijkl}$  = valor da observação do  $i$ -ésimo tamanho de partícula da cana-de-açúcar, na  $j$ -ésima forma de aplicação da cal, no  $k$ -ésimo tempo de ação da cal, na  $l$ -ésima repetição;  $\mu$  = constante associada a todas as observações;  $a_i$  = efeito do  $i$ -ésimo tamanho de partícula da cana-de-açúcar ( $i = 1$  e  $2$ );  $b_j$  = efeito da  $j$ -ésima forma de aplicação da cal ( $j = 1$  e  $2$ );  $c_k$  = efeito do  $k$ -ésimo tempo de ação da cal ( $k = 1, 2$  e  $3$ );  $ab_{ij}$  = efeito da interação entre o  $i$ -ésimo tamanho de partícula e a  $j$ -ésima forma de aplicação da cal;  $ac_{ik}$  = efeito da interação entre o  $i$ -ésimo tamanho de partícula e o  $k$ -ésimo tempo de ação da cal;  $bc_{jk}$  = efeito da interação entre a  $j$ -ésima forma de aplicação da cal e o  $k$ -ésimo tempo de ação da cal;  $abc_{jkl}$  = efeito da interação entre o  $i$ -ésimo tamanho de partícula; a  $j$ -ésima forma de aplicação da cal e o  $k$ -ésimo tempo de ação da cal;  $e_{ijkl}$  = erro experimental associado a  $y_{ijkl}$ , distribuído segundo  $N(0, \sigma^2)$ .

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o Sistema para Análises Estatísticas de Ensaio Agrônomicos (AgroEstat), versão 1.0, 2010 (BARBOSA e MALDONADO JR., 2010), sendo todas as variáveis testadas quanto à normalidade do resíduo antes do início de cada análise.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Temperaturas e pH

Com os dados apresentados na Tabela 2, nota-se que a aplicação de cal, independente da forma e dos tamanhos de partícula, resultou em aumento ( $P < 0,05$ ) do valor do pH em relação a cana *in natura*, o que já era esperado, devido a natureza alcalina da cal virgem.

**Tabela 2.** Valores de pH e Temperaturas interna e externa da cana-de-açúcar submetida aos diferentes tratamentos.

Variáveis	Tamanhos de partículas (mm)		Formas de aplicação		Tempos de ação (horas)			CV(%)
	4	10	Pó	Suspensão	0	3	6	
pH	8,5	8,7	8,7	8,6	5,7 <sup>b</sup>	10,3 <sup>a</sup>	9,8 <sup>a</sup>	9,51
TI (°C)	29,7	29,3	29,5	29,4	28,9 <sup>b</sup>	29,8 <sup>a</sup>	29,7 <sup>a</sup>	2,72
TE (°C)	26,0	25,9	26,1 <sup>a</sup>	25,8 <sup>b</sup>	24,1 <sup>c</sup>	26,5 <sup>b</sup>	27,2 <sup>a</sup>	2,2

Médias seguidas de letras minúscula distintas na mesma linha diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. TI = temperatura interna; TE= temperatura externa; CV= Coeficiente de variação.

Não houve diferença ( $P > 0,05$ ) nos valores de pH em relação às formas de aplicação de cal utilizadas, bem como em relação aos tamanhos de partículas. A diferença ( $P < 0,05$ ) foi observada somente entre o tratamento que não houve adição de cal (cana *in natura*: tempo de 0 hora) e os outros tratamentos (após 3 e 6 horas de hidrólise), representando um aumento de 80,7 e 71,9% em relação à cana-de-açúcar *in natura* para os tempos de 3 e 6 horas após a hidrólise, respectivamente.

Nota-se que quando o pH foi mensurado 3 horas após a hidrólise obteve-se maior valor quando comparado com a cana-de-açúcar *in natura* e 6 horas após hidrólise, porém não é possível afirmar que este foi de fato o valor máximo atingido, já que foram analisados somente os 3 intervalos de tempo.

Macedo (2007) avaliou a cana-de-açúcar hidrolisada com cal virgem a 0,5% em suspensão e concluiu que após 1,5 hora de hidrólise o pH sofreu influência dos

diferentes tamanhos de partícula estudados, sendo os valores de 11,01 e 10,55 para partículas de 0,5 e 1 cm, respectivamente.

Rabelo et al. (2010a), quando trabalharam com a hidrólise da cana-de-açúcar cv. SP81-3250 com cal virgem na dose de 0,5% encontraram pH de 10,62 e 10,4 após 3 e 6 horas de hidrólise, respectivamente. O presente trabalho seguiu comportamento semelhante, pois após o tempo de 3 horas de ação da cal o valor de pH decresce. Ainda, segundo esses mesmos autores, o pH pode cair até 5,8 após 12 horas de hidrólise, sendo essa queda produto natural do desenvolvimento de microrganismos que produzem ácidos orgânicos, o que faz com que o pH diminua com o decorrer das horas.

Pode-se observar que TI foi influenciada ( $P < 0,05$ ) somente pela aplicação da cal, sendo que a cana-de-açúcar *in natura* apresentou menor temperatura em relação à cana-de-açúcar hidrolisada.

Domingues (2009) ao estudar o efeito de diferentes doses de cal virgem (0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0%) e períodos de armazenamento da cana-de-açúcar (0, 24, 48, 72 e 96 horas) verificou temperatura interna máxima de 41,3°C após 56 horas da adição da cal, sendo que após esse período houve diminuição da temperatura, com tendência de estabilização entre 25 e 30°C. Ainda, resultados obtidos pelo mesmo autor demonstram que a temperatura inicial é mais elevada nos tratamentos com a cana-de-açúcar hidrolisada, pois no momento da mistura da cal virgem com água há liberação de calor (reação exotérmica) a qual eleva a temperatura quase que imediatamente à aplicação da solução na cana-de-açúcar e queda da temperatura com o passar do tempo se dá devido à tendência de estabilização com a temperatura ambiente. Seguindo esse raciocínio pode-se sugerir que os amontoados que foram tratados com a cal em suspensão (diluída em água) tiveram suas temperaturas influenciadas pela temperatura da própria calda no momento e poucas horas após a aplicação.

Segundo Missio (2012b) os fatores que determinam variações da temperatura interna nos amontoados de cana-de-açúcar hidrolisada após longos períodos de armazenamento não são bem conhecidos, fato a ser investigado em futuros estudos. No entanto, acredita-se que em grandes amontoados a camada superficial de cana-de-açúcar pode atuar como isolante dos fatores ambientais, diminuindo

perdas de calor da forragem situada internamente, proporcionando condições anaeróbicas favoráveis à fermentação e elevação da temperatura interna. Por outro lado, ainda segundo esse autor, devido à presença de O<sub>2</sub> na parte externa, parte da atividade microbiana pode ser representada por leveduras e fungos, os quais obtêm energia por reações de oxidação com concomitante produção de calor.

Os tamanhos de partículas da cana-de-açúcar não influíram ( $P > 0,05$ ) nas temperaturas externas. As formas de aplicação de cal interferiram significativamente na TE ( $P < 0,05$ ), uma vez que a cal em pó apresentou maior valor em relação à cal em suspensão (26,1°C e 25,8°C, respectivamente). Tal fato pode ser explicado pela hipótese proposta por Santos (2007) que ao utilizar altas doses de cal virgem sobre a cana-de-açúcar, observou redução na atividade da água e aumento da 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.

Os diferentes tempos de armazenamento da cana-de-açúcar hidrolisada influenciaram ( $P < 0,05$ ) as temperaturas externas, uma vez que quando cana-de-açúcar foi armazenada por maior período de tempo (6 horas) a temperatura alcançou maiores valores, seguida pela cana-de-açúcar hidrolisada por 3 horas e pela cana *in natura*.

#### **4.2. Composição bromatológica**

Na Tabela 3 são apresentados os valores obtidos das análises bromatológicas de cada tratamento. Os tratamentos com diferentes tamanhos de partículas, formas de aplicação de cal e o tempo de ação da cal não causaram alterações ( $P > 0,05$ ) sobre o teor de matéria seca (MS) da cana-de-açúcar. O mesmo foi observado por Oliveira et al. (2007b) que trabalharam com cana-de-açúcar picada com dois tamanhos partícula de 0,5 e 1 cm e hidrolisada com cal virgem em suspensão por três horas e não verificaram influência dos tamanhos de partícula tanto para os teores MS quanto para FDN e FDA. Da mesma forma, Oliveira (2006a) também não encontrou diferenças para os teores de MS da cana hidrolisada com cal hidratada em diferentes formas, solução ou pó.

**Tabela 3.** Composição bromatológica da cana-de-açúcar com dois tamanhos de partículas e hidrolisada com cal virgem em pó e em suspensão em diferentes tempos de ação da cal.

Variável (%)	Tamanhos de partículas (mm)		Formas de aplicação		Tempos de ação (horas)			CV (%)
	4	10	Pó	Suspensão	0	3	6	
MS	30,08	30,86	30,82	30,12	30,26	31,09	30,06	6,34
MM	5,77	5,81	5,92	5,66	4,13 <sup>b</sup>	6,51 <sup>a</sup>	6,73 <sup>a</sup>	13,95
EE	0,57	0,52	0,51	0,58	0,38 <sup>b</sup>	0,58 <sup>a</sup>	0,67 <sup>a</sup>	25,36
PB	2,23	2,32	2,33	2,24	2,34	2,31	2,20	11,48
FDN	52,55 <sup>b</sup>	53,52 <sup>a</sup>	53,86 <sup>a</sup>	52,21 <sup>b</sup>	53,54	52,93	52,63	2,38
FDNcp	50,08 <sup>b</sup>	50,98 <sup>a</sup>	51,20 <sup>a</sup>	49,87 <sup>b</sup>	50,76	50,46	50,39	2,45
FDA	38,91	38,64	38,97	38,58	39,40 <sup>ab</sup>	41,55 <sup>a</sup>	35,37 <sup>b</sup>	18,16
LIG	5,39	5,26	5,51	5,14	5,59	5,36	5,03	19,27

Médias seguidas de letras minúscula distintas na mesma linha diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. CV= Coeficiente de variação; MS= matéria seca; MM= matéria mineral; EE= extrato etéreo; PB= proteína bruta; FDN= fibra em detergente neutro; FDNcp= Fibra em detergente neutro corrigido para cinzas e proteína; FDA= fibra em detergente ácido e LIG = lignina.

Entretanto, Oliveira et al. (2008b) e Rabelo et al. (2010b) comprovaram que há aumento do teor de MS após o processo da hidrólise, porém este é mais intensamente verificado após 24 horas de armazenamento.

Os valores de matéria mineral (MM) não foram alterados pelos diferentes tamanhos de partícula nem pelas formas de aplicação, uma vez que nas duas formas de aplicação a cal utilizada foi a mesma, bem como a proporção de cal para cana picada. Resultados similares foram obtidos por Santos (2007) que não verificou influência nos teores da fração mineral para o modo de aplicação da cal (pó ou em solução).

Já para os diferentes tempos de hidrólise houve aumento na MM para a cana-de-açúcar hidrolisada (tempos 3 e 6 horas de hidrólise) em relação a cana que não recebeu tratamento (tempo 0) devido ao alto teor de minerais presentes na cal com destaque para o cálcio estando de acordo com resultados obtidos por Oliveira (2006a) que obteve aumento de 69,45% nos teores de MM da cana hidrolisada com cal hidratada comparada com a cana *in natura*.

Sforcini (2009) estudou a hidrólise da cana com cal virgem em suspensão na proporção de 0,5: 2L de água: 100 kg de cana-de-açúcar e observou que a prática da hidrólise elevou o teor de cálcio (Ca) na cana-de-açúcar em 1,09%.

A elevação nos teores de Ca no alimento pode trazer grandes benefícios, pois além de ser uma fonte de cálcio de custo relativamente baixo, a cal também possui poder tamponante, contribuindo para a segurança e estabilidade na alimentação de ruminantes, como destacado por Oliveira et al. (2002). É importante ressaltar que o Ca em questão possui origem rochosa, portanto sua biodisponibilidade é considerada média a baixa, não havendo problemas com ocorrência de excesso de Ca na alimentação para aplicações de 0,5 kg de cal virgem (alta concentração de Ca) em pó ou em suspensão para cada 100 kg de cana-de-açúcar picada.

Os valores de extrato etéreo (EE) foram alterados ( $P < 0,05$ ) pela presença da cal, sendo que os tratamentos que sofreram hidrólise (tempos 3 e 6 horas), apresentaram maiores valores de EE. Entretanto, não houve diferença significativa quando consideradas as diferentes formas de aplicação de cal e tamanhos de partículas.

Da mesma forma concluiu Domingues (2009) que observou aumento nos valores de EE da cana-de-açúcar *in natura* após o processo de hidrólise com cal virgem passando de 0,4% para 1,07% para cana-de-açúcar hidrolisada após 24 horas de armazenamento. Entretanto, Mota (2008) não encontrou influência da aplicação da cal virgem ou hidratada, nem de diferentes tempos de ação da cal (12, 36 e 60 horas) sobre os valores de EE da cana-de-açúcar hidrolisada quando comparada com a cana-de-açúcar *in natura*. Neste mesmo trabalho, também não foi encontrada diferença ( $P > 0,05$ ) nos teores de proteína bruta (PB) para cana-de-açúcar tratada e não tratada com cal virgem em solução (obtendo valores de 2,65 e 2,51% de PB, respectivamente).

Não foi observada influência ( $P > 0,05$ ) de nenhum dos tratamentos realizados sobre o teor de PB da cana-de-açúcar, o que pode ser explicado pelos tratamentos não contarem com adição de fontes de nitrogênio. É possível e provável que a proteína presente na cana-de-açúcar esteja ligada à lignina (LIG), já que ambas as frações não tiveram variações, demonstrando que a PB da cana-de-açúcar é pouco disponível.

O tempo de ação da cal não interferiu sobre os teores de fibra em detergente neutro (FDN). Houve diferença estatística, ainda que pequena numericamente, para os teores de fibra das amostras, quando o tamanho de partícula foi alterado. A cana-de-açúcar picada com 4 mm, apresentou menores teores ( $P < 0,05$ ) em relação as partículas com tamanho 10 mm, tal fato, pode ser explicado pela maior área de superfície de contato da partícula picada a 4 mm e maior solubilização das fibras solúveis em detergente neutro. Entretanto, no trabalho realizado por Oliveira et al. (2007b), não foi observada diferença estatística para essa variável e FDA quando testados diferentes tamanhos de partícula (0,5 e 1 cm) da cana-de-açúcar hidrolisada com cal virgem em suspensão.

As formas de aplicação da cal também interferiram ( $P < 0,05$ ) sobre o teor de FDN da cana-de-açúcar, sendo que a aplicação em pó resultou em maiores valores quando comparada a aplicação em suspensão (53,86% e 52,21%, respectivamente), provavelmente a adição de água na cal em suspensão tenha potencializado sua ação sobre as fibras e tenha contribuído para a redução do teor de FDN. Os teores de FDN<sub>cp</sub> (FDN corrigido para cinzas e proteína) seguiram este mesmo comportamento, com interferências significativas ( $P < 0,05$ ) dos tamanhos de partículas e do tipo de aplicação de cal, sendo que foi observada redução nos teores de FDN<sub>cp</sub> para a cana picada a 4mm e quando tratada com cal virgem em suspensão.

O tamanho de partícula e as formas de aplicação da cal não interferiram ( $P > 0,05$ ) nos teores de FDA. Todavia, houve alterações na fração FDA quando se analisou os diferentes tempos de ação da cal sobre a cana, sendo que FDA para cana *in natura* não diferiu da cana após 3 e 6 horas, porém o FDA após 3 horas diferiu dos valores após 6 horas. A redução da fração FDA ao longo do tempo de ação da cal pode ter ocorrido principalmente em função da expansão da celulose, que torna a fração fibrosa de melhor qualidade como explica Klopfenstein & Kraus (1972). Já Mota et al. (2007) ao analisar os teores de FDA da cana-de-açúcar tratada com cal não observou diferença na forragem armazenada por 12, 36 e 60 horas. Já no estudo de Rabelo et al. (2010b), foi observado aumento de 0,10% nos teores de FDA por hora de exposição ao ar após hidrólise com cal virgem, porém os

autores atribuem esse aumento aos baixos teores de óxido de cálcio presentes na cal utilizada (64,0%).

Como já era esperado, não houve influência ( $P>0,05$ ) dos tratamentos sobre o teor de LIG da cana-de-açúcar, podendo ser justificado pela hipótese de que o uso de álcalis no processamento da cana-de-açúcar não altera os teores de LIG, por não ocorrer efeito químico da cal sobre esta fração (KLOPFENSTEIN, 1980).

Na Tabela 4 é possível verificar a influência dos diferentes tratamentos sobre as análises de fracionamento de carboidratos.

**Tabela 4.** Valores de hemicelulose, celulose, carboidratos totais e não fibrosos da cana-de-açúcar com dois tamanhos de partículas e hidrolisada com cal virgem em pó e em suspensão em diferentes tempos de ação.

Variáveis (%)	Tamanhos de partículas (mm)		Formas de aplicação da cal		Tempos de ação (horas)			CV %
	4	10	Pó	Suspensão	0	3	6	
HEM	13,64	14,88	14,89	13,63	14,14	11,38	17,26	32,47
CEL	33,52	33,38	33,46	33,44	33,81 <sup>b</sup>	36,19 <sup>a</sup>	30,34 <sup>c</sup>	15,91
CT	91,42	91,34	91,28	91,48	93,15 <sup>a</sup>	90,59 <sup>b</sup>	90,40 <sup>b</sup>	1,05
CNF	41,37 <sup>a</sup>	40,18 <sup>b</sup>	40,08 <sup>b</sup>	41,78 <sup>a</sup>	42,42 <sup>a</sup>	40,09 <sup>b</sup>	40,06 <sup>b</sup>	3,88

Médias seguidas de letras minúscula distintas na mesma linha diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. CV= Coeficientes de variação; CEL= Celulose; CT= Carboidratos totais; CNF= Carboidratos não fibrosos.

Os teores de HEM não sofreram alterações ( $P>0,05$ ) em função dos tratamentos. Apesar da diferença numérica desta variável não ser baixa entre os tempos de ação da cal, os valores não foram diferentes devido ao alto valor de coeficiente de variação.

De acordo com Jackson (1977), o efeito dos produtos alcalinos normalmente ocorre pela solubilização parcial da HEM e pela expansão da celulose, o que facilita o ataque dos microrganismos do rúmen à parede celular, todavia, o efeito do intumescimento alcalino sobre a solubilização da HEM não foi suficiente para produzir efeitos significativos neste trabalho. Segundo Oliveira et al. (2008a), o poder hidrolítico está diretamente relacionado ao teor de óxido de Ca presente na cal, assim como o tempo de contato entre a cana-de-açúcar e a cal para que ocorra

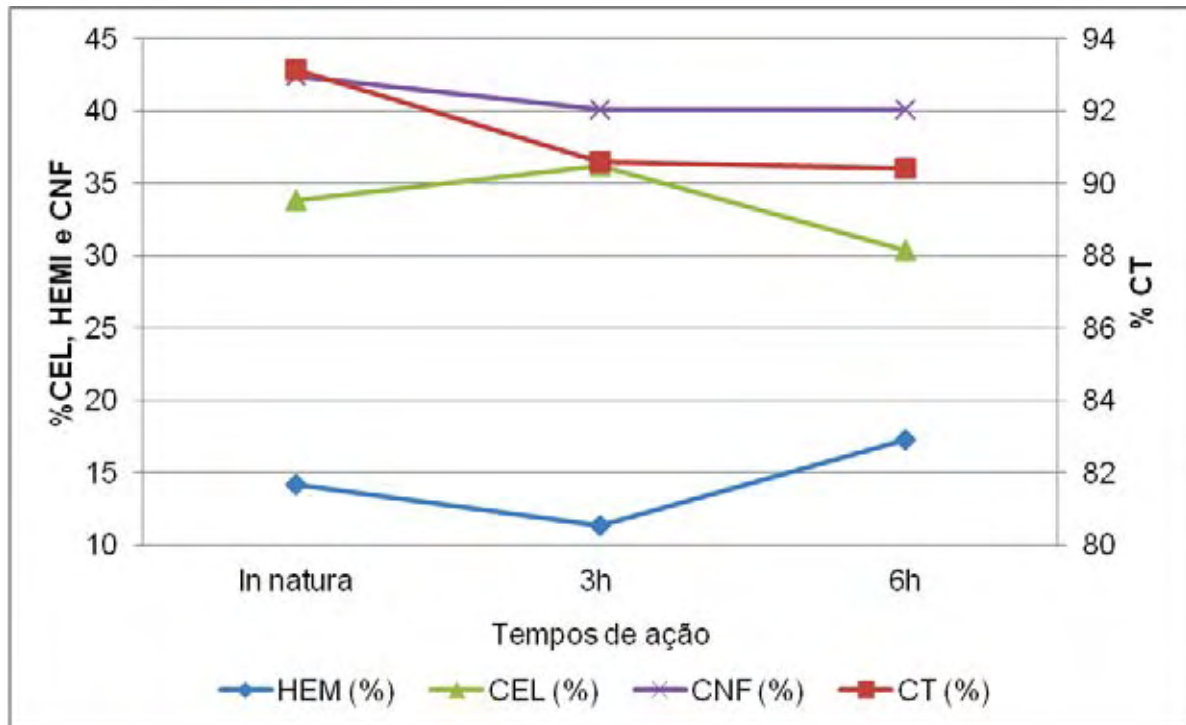
a devida redução no teor de fibras. Tal fato pode ter ocorrido no presente trabalho, uma vez que os tempos de ação da cal estudados (0, 3 e 6 horas) possam não ter sido suficientes para promover a solubilização da HEM. Corroborando com esses resultados, Oliveira (2006a) também não observou diferenças estatísticas nos teores de HEM da cana submetida a diferentes formas de aplicação da cal.

Ocorreram alterações significativas ( $P < 0,05$ ) nas frações de celulose em relação ao tempo de ação, sendo que após 3 horas de aplicação da cal sobre a cana-de-açúcar *in natura* foi capaz de aumentar o teor de celulose em 7% quando e após 6 horas de hidrólise esse mesmo valor foi 10,25% inferior aos obtidos para a cana *in natura*. Apesar do aumento da área de contato nas partículas de 4 mm em relação às de 10 mm, não foram observadas alterações ( $P > 0,05$ ) no teor de celulose. O mesmo foi observado para as diferentes formas de aplicação das cales.

Os teores de CT diminuíram após a adição de cal, sendo os valores para cana *in natura* superiores aos encontrados para cana-de-açúcar hidrolisada após 3 e 6 horas de ação da cal. Da mesma forma observou Mota (2008) que obteve 94,05% de CT para cana *in natura* e observou redução de quase 2% após a aplicação da cal virgem. Contudo, não houve diferença ( $P > 0,05$ ) entre os diferentes tamanhos de partículas e as formas de aplicação da cal. Tal fato pode ser explicado pelo aumento dos percentuais de matéria mineral obtidos na cana-de-açúcar após a aplicação da cal virgem tendo como consequência a redução nos resultados de CT.

Na Figura 8 estão expressas as porcentagens de HEM, CEL, CNF e CT em função do tempo de hidrólise.

Os valores de CNF foram os que mais sofreram alterações em função dos tratamentos. O tamanho de partícula 4 mm apresentou maior valor de CNF ( $P < 0,05$ ) em relação ao tamanho de partícula de 10 mm, visto que partículas menores possuem maior área de contato e, portanto, maior liberação dos CNF. A aplicação da cal em suspensão resultou em valores de CNF cerca de 4,25% maiores quando comparados com a cal aplicada em pó, respectivamente, sendo uma hipótese para tal o fato da água contribuir para solubilização dos CNF.



**Figura 8.** Valores percentuais de hemicelulose (HEM), celulose (CEL), carboidratos não fibrosos (CNF) e carboidratos totais (CT) para a cana *in natura* (0 horas) e hidrolisada por 3 e 6 horas.

Em relação aos tempos, tanto às 3 h quanto às 6 h após aplicação da cal, os teores de CNF não diferiram entre si, porém foram menores ( $P < 0,05$ ) em relação aos dados obtidos para cana-de-açúcar *in natura*. A explicação para esta redução pode estar relacionada com o aumento da população de leveduras encontradas na cana-de-açúcar picada com o passar das horas, que ao respirarem consomem principalmente os açúcares presentes no volumoso, conforme descrito por Domingues et al. (2006).

#### 4.3. Digestibilidade *in vitro*

Os resultados para digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS), fibra em detergente neutro (DIVFDN) e fibra em detergente ácido (DIVFDA) estão apresentados na Tabela 5.

De acordo com os valores obtidos para DIVMS, observa-se que esta variável não foi alterada ( $P > 0,05$ ) pelos diferentes tamanhos de partícula da cana, portanto no caso de propriedades onde a picadeira não tenha regulagem de corte, pode-se optar por partículas maiores (10 mm) uma vez que o processo de hidrólise ocorrerá

de forma adequada, desde que a cana seja bem homogeneizada com a cal no momento da hidrólise.

**Tabela 5.** Valores da digestibilidade *in vitro* da cana-de-açúcar com dois tamanhos de partículas e hidrolisada com cal virgem em pó e em suspensão com 6 horas após aplicação da cal.

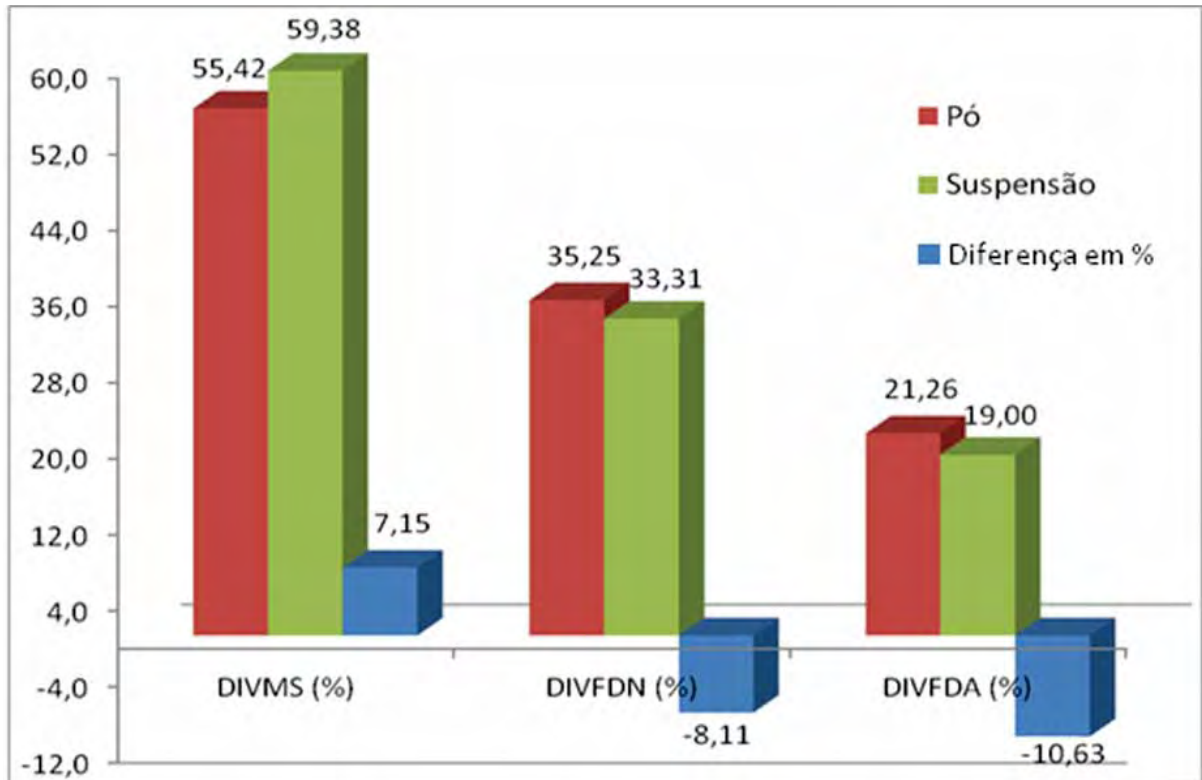
Variáveis (%)	Tamanho de partícula (mm)		Formas de aplicação da cal		CV (%)
	4	10	Pó	Suspensão	
DIVMS	57,04	57,76	55,42 <sup>b</sup>	59,38 <sup>a</sup>	2,93
DIVFDN	34,21	35,34	36,25 <sup>a</sup>	33,31 <sup>b</sup>	4,78
DIVFDA	19,90	20,36	21,26 <sup>a</sup>	19,00 <sup>b</sup>	4,42

Médias seguidas de letras minúscula distintas na mesma linha diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. CV= Coeficientes de variação; DIVMS= Digestibilidade *in vitro* da matéria seca; DIVFDN= Digestibilidade *in vitro* da fibra em detergente neutro; DIVFDA= Digestibilidade *in vitro* da fibra em detergente ácido.

Os valores de DIVMS foram superiores ( $P < 0,05$ ) nos tratamentos em que a cal foi aplicada em suspensão e os valores de DIVFDN e DIVFDA foram maiores para a cal virgem aplicada em pó. Na Figura 9 estão graficamente apresentados esses dados bem como as diferenças percentuais das digestibilidades da cana-de-açúcar com cal aplicada em suspensão em relação à cal em pó (base 100%).

A Figura 9 mostra que a DIVMS foi superior 7,1% e a DIVFDN e DIVFDA 8,1% e 10,6%; respectivamente, inferiores para cana-de-açúcar hidrolisada com cal em suspensão em relação à cana hidrolisada com cal em pó.

O uso da cal na diferentes formas de aplicação, na forma em pó ou em solução, modificou a digestibilidade *in vitro* ( $P < 0,05$ ), sendo que a cal em suspensão resultou em maiores DIVMS quando comparada com a cal em pó. Fato que não foi observado por Oliveira (2006b) que não observou diferença estatística para DIVMS e DIVFDA para as diferentes formas de aplicação da cal hidratada (mínimo de 95% de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) a 0,5%. A melhor ação da cal em suspensão sobre a DIVMS pode ser justificada pela melhor distribuição da cal sobre as partículas de cana-de-açúcar, devido sua diluição com água. Esses resultados corroboram com os encontrados por Santos (2007) que encontrou valores superiores de DIVMS para cana com cal aplicada em suspensão em relação à em pó, em todos os tempos de armazenamento estudados.



**Figura 9.** Valores de DIVMS, DIVFDN e DIVFDA para as diferentes formas de aplicação e diferença percentual das variáveis para cana hidrolisada com cal em suspensão em relação a em pó.

Ferrari (2009) ao trabalhar com quatro variedades de cana-de-açúcar tratada com cal virgem a 0,5%; observou 59,68% de digestibilidade da MS valores muito próximos aos observados no presente estudo para cal aplicada em suspensão.

Mota (2008) trabalhou com a cana-de-açúcar hidrolisada e avaliou o efeito da cal hidratada e virgem em suspensão, na dosagem de 0,5% sobre a digestibilidade *in vitro* e verificou que após 12 horas de ação os valores de DIVMS foram de 60,80%; muito próximos aos deste trabalho com apenas 6 horas de armazenamento.

Apesar desta diferença entre as formas de aplicação da cal, os valores de DIVMS obtidos com a cana-de-açúcar hidrolisada, não foram superiores aos valores obtidos com a cana-de-açúcar *in natura* por Oliveira et al. (2007a), os quais relataram valores próximos a 60%.

A DIVFDN também não sofreu influência ( $P > 0,05$ ) dos diferentes tamanhos de partículas. Todavia, a aplicação da cal em pó apresentou valor maior que a cal em suspensão. Segundo Jackson (1977), normalmente verifica-se aumento na DIVFDN

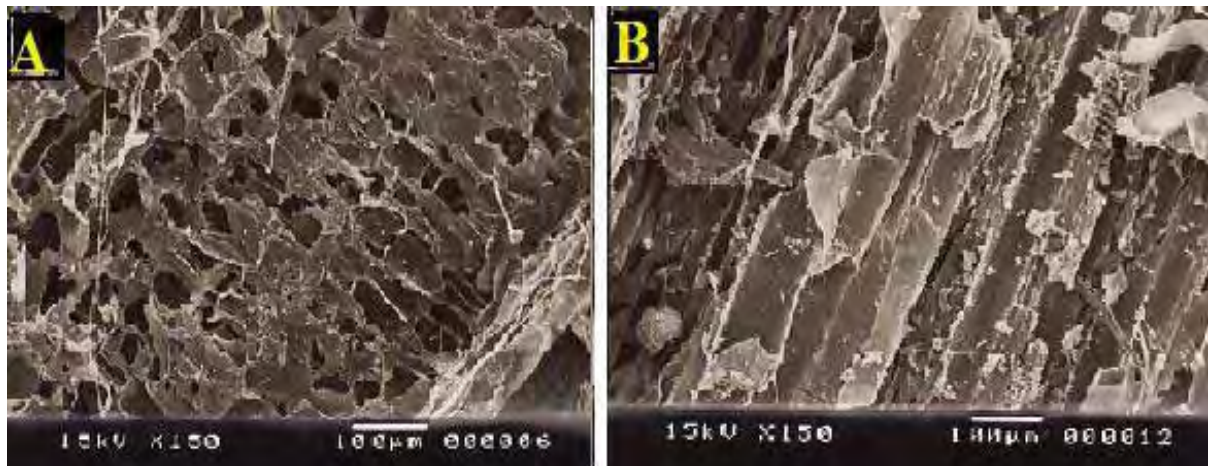
em função da ação alcalinizante da cal, em virtude da solubilização da fração fibrosa da cana-de-açúcar. Desta forma a aplicação da cal em pó (não diluída em água) pôde de alguma forma, ter beneficiado o aumento da DIVFDN e DIVFDA em detrimento da cal aplicada em suspensão.

Domingues (2009) ao trabalhar com cal virgem em suspensão a 0,5% e com diferentes tempos de ação encontrou valores de 29,20% após 24 horas de hidrólise para o parâmetro digestibilidade *in vitro* da FDN, sendo inferior ao encontrado após 6 horas de ação neste trabalho.

Para os dados de DIVFDA houve comportamento semelhante, onde os valores foram superiores quando a cal foi aplicada na forma em pó. Oliveira (2010) destacou que vários fatores podem influenciar a DIVFDA da cana-de-açúcar hidrolisada, dentre eles o próprio critério de aplicação e homogeneização da cana-de-açúcar com a cal. No presente trabalho, o tempo de ação da cal foi até 6 horas, possivelmente este aspecto pode ter influenciado nas médias de DIVFDA a favor da cal aplicada em pó.

#### **4.4. Elétron-micrografias de varredura**

Considerando-se técnica da MEV, observa-se fraturas na parede celular devido ao processamento em picadeira da cana-de-açúcar *in natura* com tamanhos de 4 e 10 mm, antes mesmo do tratamento alcalino com cal virgem, sendo tal efeito mais evidente, para a cana picada em partículas de 4 mm para todos os tratamentos. A Figura 10 mostra a superfície do feixe de fibras da cana formada por tiras paralelas contínuas de amostras de cana *in natura*, apresentando aspecto mais compacto na Figura 10B, cana picada em tamanho maior (10 mm).



**Figura 10.** Elétron-micrografias de varredura da parede celular cana-de-açúcar *in natura* tamanho de partícula 4 mm (A) e 10 mm (B).

O tratamento alcalino com a cal virgem provocou efeito notável sobre a morfologia dos feixes de fibras quando comparado com a imagem para cana não tratada. Em relação às diferentes formas de aplicação da cal sobre a cana-de-açúcar com tempo de ação 3 horas, é possível verificar por meio das Figuras 11 e 12 que, tanto a cana com cal aplicada em suspensão, quanto à cana com cal aplicada em pó, em ambos tamanhos de partículas utilizados, sofreu degradação da parede celular quando comparada com a cana *in natura* (Figura 10 A e B) fato que pode ser afirmado devido à maior descontinuidade da estrutura da fibra da cana conforme apresentado nas imagens.



**Figura 11.** Elétron-micrografias de varredura da parede celular cana-de-açúcar após 3 horas de aplicação da cal em pó com tamanho de partículas de 4 mm (A) e 10 mm (B).



**Figura 12.** Elétron-micrografias de varredura da parede celular cana-de-açúcar após 3 horas de aplicação da cal em suspensão com tamanho de partículas de 4 mm (A) e 10 mm (B).

O mesmo efeito da aplicação da cal foi observado para o tempo de ação 6 horas (Figuras 13 e 14). Comparando-se os tamanhos de partículas utilizados, observa-se que o tamanho 4 mm foi o que apresentou maior degradação visual da parede celular. Nas imagens da cana picada a 4 mm, a estrutura dos feixes de fibras é mais facilmente rompida devido seu tamanho inicial, facilitando a ação do agente alcalino e tornando seus efeitos mais significativos, assim como relatado por Rezende et. al (2013) que trabalhou com a hidrólise alcalina com hidróxido de sódio (NaOH) do bagaço da cana submetido a diferentes tipos de moagem. Também vale ressaltar que fornecer um alimento com tamanhos menores de partícula possivelmente resultará no melhor aproveitamento do alimento pelo animal, devido a melhor eficiência do ataque dos microrganismos do rúmen à parede celular, confirmando a hipótese proposta por Jackson (1977).



**Figura 13.** Elétron-micrografias de varredura da parede celular cana-de-açúcar após 6 horas de aplicação da cal em pó com tamanho de partículas de 4 mm (A) e 10 mm (B).



**Figura 14.** Elétron-micrografias de varredura da parede celular cana-de-açúcar após 6 horas de aplicação da cal em suspensão com tamanho de partículas de 4 mm (A) e 10 mm (B).

Ainda é necessário o desenvolvimento de outros estudos por meio de microscopia eletrônica de varredura para melhor compreensão da ação da cal sobre a parede celular da cana-de-açúcar, o que pode auxiliar na identificação de variedades mais indicadas para uso na alimentação de ruminantes.

## 5. CONCLUSÃO

A hidrólise da cana-de-açúcar com a cal virgem, tanto na forma de pó ou suspensão, com partículas de 4 ou 10mm de tamanho, foram suficientes para elevar o pH e melhorar a composição bromatológica da cana-de-açúcar *in natura*. A aplicação da cal em pó promoveu maior aumento de digestibilidade *in vitro* da FDN e FDA comparada com a cal aplicada em suspensão.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKIN, D.E.; BURDICK, D.; AMOS, H.E. Comparative degradation of coastcross-1 bermudagrass, and pensacola bahiagrass by rumen microorganisms revealed by scanning electron microscopy. **Crop Science**, v.14, n. 4, p.537-541, 1974.

AKIN, D.E.; HARTLEY, R.D. UV absorption microspectrophometry and digestibility of cell types of bermudagrass internodes at different stages of maturity. **Journal of Science Food Agricultural**, v.59, n.2 p.437-447, 1992.

ALLEN, M. S. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaing, v. 83, n. 7, p. 1598-1624, 2000.

ALVES, A. C. N.; EZEQUIEL, J. M. B.; LIMA, M. L. P.; AUGUSTINHO, E. T. Desempenho produtivo de vacas mestiças alimentadas com cana-de-açúcar hidrolisada e “in natura”. **Nucleus Animalium**, v.2, n.2, p. 123-130, 2010.

ANDRADE, J.B.; FERRARI Jr., E.; BRAUN, G. Valor nutritivo da cana-de-açúcar tratada com hidróxido de sódio e acrescida de rolão de milho. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 10, p. 1265-1268, 2001.

ANDRIOLI, I.; CENTURION, J.F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 27., 1999, Brasília. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. 32p. CD-ROM T025-3.

ARMENTANO, L.; PEREIRA, M. Measuring the effectiveness of fiber by animal response trials. **Journal of Dairy Science**, Lancaster, v. 80, n. 7, p. 1416-1425, 1997.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official Methods of analysis**. 12.ed. Washington: AOAC International, 1098p. 1990.

BALIEIRO NETO, G.; FERRARI JÚNIOR, E.; NOGUEIRA, J. R.; POSSENTI, R.; PAULINO, V. T.; BUENO, M. S. Perdas fermentativas, composição química, estabilidade aeróbia e digestibilidade aparente de silagem de cana-de-açúcar com aditivos químico e microbiano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 6, p.621-630, 2009

BARBOSA, J.C.; MALDONADO JR, W. **AgroEstat - Sistema para Análises Estatísticas de Ensaio Agrônômicos**, versão 1.0., 2010.

BERCHIELLI, T.T.; RODRIGUEZ, N.M.; OSÓRIO NETO, E. et al. **Nutrição de ruminantes**. 1. Ed. Jaboticabal: Funep, 2006. 583p.

BERNARD, L.; CHAISE, J. P.; BAUMONT, R.; PONCET, C. The effect of physical form of orchardgrass hay on the passage of particulate matter through the rumen of sheep. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 78, n. 5, p. 1338-1354, 2000.

BORGES, A.L.C.C.; VIEIRA, L.G.R.; **Criação de bovinos**. 7.ed., p.221-224, 2003.

CHRISTÓFARO, A. G. G. **Controle de qualidade**. São José da Lapa, MG: Itaú, 2001. 1 p.

COELHO DA SILVA, J. F.; LEÃO, M. I. Fundamentos de nutrição de ruminantes. Piracicaba: Ed. Livrocere, 1979. 380p.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira – Cana-de-açúcar, safra 2011/2012. Disponível em: [www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br), acesso em: 17 de junho, 2011.

COOMBRE, J. B. et. al. Effect of alkali treatment on intake and digestion of barley straw by steers. **Journal of Animal Science**, v. 49, n. 1, p. 169- 176, 1979.

CÔRTEZ, V. A. B.; FERREIRA, R. F.; BENEDETTI, E. Hidrolise com cal em cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) na alimentação de ruminantes - uma revisão. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 6, n. 4, p. 1018 - 1038, 2009.

DOMINGUES, F. N.; OLIVEIRA, M.D.S.; SIQUEIRA; G.R. Efeitos das doses de cal (CaO) microprocessada e do tempo após o tratamento sobre a estabilidade aeróbia e dinâmica de microorganismos da cana-de-açúcar *in natura*. In: 43<sup>a</sup> Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. João Pessoa, PB. 2006. Anais... 43<sup>a</sup> SBZ, CD ROOM, 2006

DOMINGUES, F. N.; Cana-de-açúcar hidrolisada com doses crescentes de cal virgem e tempos de exposição ao ar para a alimentação de bovinos. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2009.

DOMINGUES, F. N.; OLIVEIRA, M. D. S.; SIQUEIRA, G. R.; ROTH, A. P. T., SANTOS, J. S.; MOTA, D. A. Estabilidade aeróbia, pH e dinâmica de desenvolvimento de microorganismos da cana-de-açúcar *in natura* hidrolisada com cal virgem. Revista Brasileira de Zootecnia, v.40, n.4, p.715-719, 2011.

DOMINGUES, F. N.; OLIVEIRA, M. D. S.; MOTA, D. A.; FERREIRA, D. S.; SANTOS, J. Desempenho de novilhas de corte alimentadas com cana hidrolisada. Ciência Animal Brasileira, v.13, n.1, p.8-14, 2012

ENGELS, F.M. Developments in application of light and scanning electron microscopy techniques for cell wall degradation studies. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, v.44, p.357- 373, 1996.

ENGELS, F.M.; JUNG, H.G. Alfafa stem tissues: cell-wall development and lignification. **Annals of Botany**, v.82, n.5, p.561-568, 1998.

EMBRAPA, CIRCULAR TÉCNICA 35 Disponível em:  
<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/45283/1/Circular35.pdf>.

Acessado dia 21/12/2012.

FARIA, A.E.L.; OLIVEIRA, M.D.S.; BARBOSA, J.C. Composição bromatológica de duas variedades de cana-de-açúcar submetidas a diferentes períodos e condições de armazenamento. **Ars Veterinária**, v.16, n.3, p.220-226, 2000.

FERRARI, V. B. **Digestibilidade *in vitro* de quatro variedades de cana-de-açúcar submetidas ou não a hidrólise com cal virgem.** Trabalho de conclusão de curso de graduação em Zootecnia. Jaboticabal, SP: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/Universidade Estadual Paulista – FCAV, 2009. 35 p..

GALYEAN, M.L.; GOETSCH, A.L. Utilization of forage fiber by ruminants. In: JUNG, H.D.; BUXTON, D.R.; HATFIELD, R.D. et al. (Eds.). Forage cell wall structure and digestibility. **ASA-CSSA-SSSA**, Madison, p.33-71. 1993.

GOERING, H.K. & VAN SOEST, P.J. Forage fiber analyses (Apparatus, reagents, procedures, and some applications). **Agriculture Handbook 379**. United States Department of Agriculture. p.20, 1975.

GOMIDE, J.A. A técnica de fermentação ruminal *in vitro* na avaliação de forragens. **Rev. Soc. Bras. Zootec.**, v.3, p.210-224, 1974.

GONZALES, E., MACLEOD, N.A., 1976. Spontaneous fermentation of sugarcane. **Trop. Animal Product**. 1, 80–85.

GOODING, E.G.B.. Effect of quality of cane on its value as livestock feed. **Tropical Animal Product**, v.7, n., p. 72-91, 1982.

GUIMARÃES, J. E. P. **Aplicações da Cal no Meio Rural**. Associação Brasileira de Produtores de Cal. 2003.

HALL, M. B. Challenges with nonfiber carbohydrate methods. **Journal of Animal Science**. v. 81, p. 3226-3232, 2003.

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

JOHNSON, P.J. Techniques and procedures for *in vitro* and in vivo rumen studies. **Journal of Animal Science**, v.25, p.855-875, 1966.

JUNG, H.G., ALLEN, M.S.. Characteristics of plant cell walls affecting intake and

digestibility of forages by ruminants. **Journal Animal Science**, v. 73, n. 3 p. 2774-2790. 1995.

KLOPFENSTEIN, T. J.; KRAUS, M. J. Chemical treatment of low quality roughages. **Journal of Animal Sciences**, v. 35,n. 2, p. 418-422, 1972.

KLOPFENSTEIN, T. Increasing the nutritive value of crop residues by chemical treatment s. In: HUBER, J.T. Upgrading residues and products for animals. Ed. CRC Press, 1980. p. 40-60.

LEHNINGER, A.L. **Princípios de bioquímica**. São Paulo-SARVIER, 1986. 725 p..

LEMPP, B. Avanços metodológicos da microscopia na avaliação de alimentos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, suplemento especial, p.315-329, 2007.

LEONARDI, C.; ARMENTANO, L. E. Effect of quality, and length of alfafa hay on selective consumption by dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Lancaster, v. 86, n. 2, p. 557-564, 2003.

MACEDO, D.C. **Composição bromatológica da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) hidrolisada com cal virgem**. . Trabalho de conclusão de curso de graduação em Agronomia. Jaboticabal, SP: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/Universidade Estadual Paulista – FCAV, 2007. 44p

MAGALHÃES, A. L. R.; CAMPOS, J. M. S.; FILHO, S. C. V.; TORRES, R. A.; JOSUÉ MENDES NETO, J. M.; ASSIS, A. J. Cana-de-Açúcar em Substituição à Silagem de Milho em Dietas para Vacas em Lactação:Desempenho e Viabilidade Econômica. **Revista Brasileira de Zootecnia.**, v.33, n.5, p.1292-1302, 2004.

MAYNARD, L.A., LOOSLI, J.K., HINTZ, H.F., WARNER, R.G. **Nutrição animal**. 3.ed. Rio de Janeiro: Livraria Freitas Bastos S.A. 1984 726p.

MCALLISTER, T. A.; BAE, H. D.; JONES, G. A.; CHENG, K. J. Microbial attachment and feed digestion in the rumen. **Journal of Animal Science**, Albany, v.72, n. 11, p. 3004-3018, 1994.

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

MERTENS, D. R. Using fiber and carbohydrate analyses to formulate dairy rations. In: Informational Conference with Dairy and Forage Industries, 1996. **Proceedings...** US Dairy and Forage Resource Center, 1996. p. 81-91.

MERTENS, D. R. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Lancaster, v. 80, n. 5, p. 1463-1481, 1997.

MISSIO, R. L.; OLIVEIRA, M. D. S.; SFORCINI, M. P. R.; RENNÓ, F. P.; FREITAS JÚNIOR, J. E.; ELEJALDE, D. A. G.; FERRARI, V. B.; ABUD, G. C. Digestion of feed fractions and intake of heifers fed hydrolyzed sugarcane stored for different periods. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n. 7, p. 1737-1746, 2012a.

MISSIO, R. L.; OLIVEIRA, M. D. S.; SFORCINI, M. P. R.; ABUD, G. C.; FERRARI, V. B.; ELEJALDE, D. A. G.; EZEQUIEL, J. M. B. Characteristics of forage and feeding behavior of Nellore heifers fed hydrolysed sugarcane. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.41, n. 9, p. 2091-2100. 2012b.

MOREIRA, H. A. et al. Cana-de-açúcar adicionada de ureia e farelo de arroz em ganho de peso de novilhas mestiças leiteira. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v.16, n. 6, p.500-506,1987.

MOTA, D. A.; OLIVEIRA, M. D. S.; DOMINGUES, F. N.; SANTOS, J.; LOPES, A. D. L.; MANZI, G. M. avaliação da composição bromatológica da cana-de-açúcar *in natura* submetida ou não a hidrólise com diferentes tipos de cal. In: 44<sup>a</sup> Reunião Anual Da Sociedade Brasileira De Zootecnia, Jaboticabal. **Anais...** CD-ROOM, 2007.

MOTA, D. A., Diferentes tipos de cales na hidrólise da cana-de-açúcar IAC 86-2480. 2008. 54f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - FCAV/UNESP, Jaboticabal, 2008.

NOCEK, J.E. In situ and other methods to estimative ruminal protein and energy digestibility: a review. **J. Dairy Sci.**, v.71, v.8, p.2051-2069, 1988.

OLIVEIRA, M. D. S.; QUEIROZ, M. A. A.; CALDEIRÃO, E.; BETT, V.; RIBEIRO, G.M. Efeito da hidrólise com NaOH sobre a digestibilidade *in vitro* da matéria seca da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Ars Veterinaria**, v.18, n.2, p.167-173, 2002.

OLIVEIRA, M. D. S.; SHINODA, J.; BODRICK, R.; SANTOS, J. dos; LOPES, A. L.; DOMINGUES, F. N.; OLIVEIRA, I. S.; MOTA, D. A. Efeito da hidrólise com a cal (hidróxido de cálcio) sobre a composição bromatológica da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) In: 43<sup>a</sup> Reunião anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. João Pessoa, PB. 2006. **Anais...** SBZ, CD-ROOM, 2006a.

OLIVEIRA, M. D. S.; BODRICK, R.; SANTOS, J. DOS; A. L.; DOMINGUES, F. N.; OLIVEIRA, I.S.; MOTA, D. A. Efeito da hidrólise com cal hidratada (hidróxido de cálcio) sobre a digestibilidade *in vitro* da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). In: 43<sup>a</sup> Reunião Anual Da Sociedade Brasileira De Zootecnia, João Pessoa. **Anais...** CD-ROOM, 2006b.

OLIVEIRA, M. D. S.; ANDRADE, A. T. de.; BARBOSA, J. C.; SILVA. T. M. da.; FERNANDES, A. R. M.; CALDEIRÃO, E.; CARABOLANTE, A. Digestibilidade da cana-de-açúcar hidrolisada, *in natura* e ensilada para bovinos. **Ciencia Animal Brasileira**, Goiânia, v. 8, n. 1, p. 41-50, 2007a.

OIVEIRA, M. D. S.; MOTA, D. A.; DOMINGUES, F. N.; LOPES, A. D.; SANTOS, J. dos. Efeito da hidrólise com cal virgem (óxido de cálcio) sobre a composição bromatológica da cana-de-açúcar. In: 44<sup>a</sup> Reunião Anual Da Sociedade Brasileira De Zootecnia, Jaboticabal. **Anais...** CD-ROOM, 2007b.

OLIVEIRA, M. D. S. et al. Avaliação da cal hidratada como agente hidrolisante de cana-de-açúcar. **Veterinária Notícias**, Uberlândia, v. 14, n. 1, p. 9-17, 2008a.

OLIVEIRA, M. D. S. et al. Efeito da hidrólise com cal virgem sobre a composição bromatológica da cana-de-açúcar. **Veterinária Notícias**, Uberlândia, v. 14, n. 1, p. 9-17, 2008b.

OLIVEIRA, M. D. S. Cana-de-açúcar hidrolisada na alimentação de bovinos – Técnica da hidrólise com cal virgem ou hidratada. FUNEP: Jaboticabal, 116p. 2010.

OSBOURN, D.F.; TERRY, R.A. *In vitro* technique for the evaluation of ruminant feeds. **Proc. Nutr. Soc.**, v.36, n.2, p.219-225, 1977.

PEIXOTO, A. M. A cana-de-açúcar como recurso forrageiro. In: Congresso Brasileiro de Pastagem e Simpósio sobre Manejo de Pastagens, 8., 1986, Piracicaba. **Anais...** Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz. 1986. p. 17-47.

PINA, D. S.; TEDESCHI, L. O., VALADARES FILHO, S. C.; AZEVEDO, J. A. G., DETMANN, E.; ANDERSON, R. Influence of calcium oxide level and time of exposure to sugarcane on *in vitro* and *in situ* digestive kinetics. **Animal Feed Science and Technology**. 153. 2009. p. 101-112.

PINA, D. S., VALADARES FILHO, S. C.; TEDESCHI, L. O.; BARBOSA, A. M., AZEVÊDO, J. A. G.; VALADARES, R. F. D., SOUZA N. K. P., FONSECA, M. A. Níveis de inclusão e tempo de exposição da cana-de-açúcar ao óxido de cálcio sobre parâmetros digestivos e o desempenho de novilhas Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 3, p. 648-656, 2011.

POPPI, D. P.; NORTON, B. W.; MINSON, D. J.; HENDRICKSEN, R. E. The validity of the critical size theory for particles leaving the rumen. **The Journal of Agriculture Science**, Cambridge, v.94, n. 1, p. 275-280, 1980.

RABELO, C. H. S. et al. Composição químico-bromatológica e digestibilidade *in vitro* da matéria seca de cana-de-açúcar hidrolisada com cal virgem. **Revista Brasileira de Saúde Produção Animal.**, v.11, n.4, p. 1137-1149 out/dez, 2010a.

RABELO, C. H. S.; ADAUTON, V. REZENDE; RABELO, F. H. S.; NOGUEIRA, D. A.; VIEIRA, P. F. Composição químico-bromatológica de cana-de-açúcar hidrolisada com cal virgem. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 4, p.135-143, out-dez., 2010b.

REZENDE, C. A.; LIMA, M. A.; MAZIERO, P.; AZEVEDO, E. R. de; GARCIA, W.; POLIKARPOV, I. Biotechnology for Biofuels, Acessado em 10 de Jan/2013: <http://www.biotechnologyforbiofuels.com/content/4/1/54#sec5>

SANTOS, J.M. **Microscopia de varredura aplicada às ciências biológicas**. Jaboticabal: Funep, 56p. 1996.

SANTOS, M. C. Aditivos químicos para o tratamento de cana-de-açúcar *in natura* e ensilada (*Saccharum officinarum* L.). 113f. Dissertação (Mestrado) – ESALQ, Pirassununga, 2007.

SFORCINI, M. P. R. Silagem de milho, cana-de-açúcar *in natura* e hidrolisada, para vacas em lactação. vi, 61 f.: il.; 28 cm. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2009.

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

SILVA, T. M. da et al. Efeito da hidrólise de diferentes variedades de cana-de-açúcar sobre a digestibilidade ruminal *in vitro*. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA. 42., 2005, Goiânia. **Anais...** 1CD-ROM.

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: 43ª Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia. João Pessoa, PA. 2006. **Anais...** 43ª SBZ, CD ROOM, 2006.

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

SOBREIRA, G.F. Uso de cana-de-açúcar hidrolisada: alternativa para alimentação de ruminantes. **Revista eletrônica nutritime**, v.3, no2, p. 318-321, março/ abril 2006.

TEIXEIRA JÚNIOR, D. J. **Hidrólise da cana-de-açúcar com cal virgem e cal hidratada na alimentação de vacas leiteiras**. 2008. 46 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

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

TRAVIS, A.J.; MURISON, S.D.; PERRY, P. et al. Measurement of cell wall volume using confocal microscopy and its application to studies of forage degradation. **Annals of Botany**, v.80, p.1- 11, 373, 1996.

VAN DER HEIJDEN, G.W.A.M.; VAN DER VOOREN, J.G.; VAN DER WIEL, C.C.M. Measuring cell wall dimensions using the distance transform. **Annals of Botany**, v.75, n. 5, p.545-552, 1995.

VAN SOEST, P.J. Use of detergents in the analysis of fibrous foods. II. A rapid method for the determination of fibre and lignin. **Journal of the Association of the Official Analytical Chemists**, v.46, p.829-835, 1963.

VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B. Analysis of forages and fibrous foods. Ithaca: Cornell University, 202p. 1985.

VAN SOEST, P. J. Cell Wall Matrix Interactions And Degradation – Session Synopsis. In: JUNG, H. G. et al (Eds.). **Forage Cell Wall Structure and Digestibility**. Madison: American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Soil Science Society, Inc., 1993, p,377-396.

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

WELCH, J. G. Rumination, particle size and passage from the rumen. **Journal of Animal Science**, Albany, v.54, n. 4, p. 885-894, 1982.

## 7. IMPLICAÇÕES

Conforme observado neste estudo pode-se concluir que a técnica da hidrólise promove diminuição da fração fibrosa da cana após aplicação com cal virgem, entretanto estudos constatam que a utilização da cal hidratada também é capaz de proporcionar resultados satisfatórios. Contudo, deve-se atentar para os teores de óxido e hidróxido de cálcio da cal no momento da escolha a fim de assegurar que a hidrólise do material aconteça de forma adequada. Sem contar que a adição da cal na cana-de-açúcar promove o aumento dos teores de cálcio o que não afeta o animal pelo excesso desse mineral devido à sua baixa biodisponibilidade.

Na prática, o corte diário da cana para fornecimento ao animal é muito comum, porém torna a atividade da bovinocultura trabalhosa e sofrida por parte dos tratadores, portanto a hidrólise alcalina entra como uma solução na logística do sistema uma vez que poupa o trabalhador, promove economia de óleo diesel, diminui desgaste de equipamentos e possibilita o corte da cana em intervalos de tempo maiores, sendo que a cana pode ser fornecida aos animais até 72 horas após picada e hidrolisada.

Outro aspecto importante é que a prática manual da hidrólise é rápida e de fácil realização, não necessitando de aquisição de equipamentos muito caros ou sofisticados, apesar de haver a opção de *kits* comerciais de hidrólise que podem ser acoplados à picadeira seja ela móvel ou não, sendo uma boa solução no caso de rebanhos maiores.

Deve-se lembrar também, que a cana hidrolisada não atrai moscas e abelhas, fato que muitas vezes atrapalha o acesso do animal ao alimento no cocho, podendo afetar o consumo de alimento e que o caráter alcalino da cana tratada evita a incidência de acidose ruminal.