

Composição química e degradabilidade ruminal de silagens da cana-de-açúcar tratada com aditivos químicos e bacteriano¹

Chemical composition and ruminal degradability of the sugar cane silage treated with chemical and bacterial additives

Ana Paula de Souza Fortaleza^{2*}; Leandro das Dores Ferreira da Silva²; Edward Zackm³; Rondineli Pavezzi Barbero⁴; Edson Luis de Azambuja Ribeiro⁵; Mauricius Pegoraro⁶; Luiz Eduardo dos Santos⁷; Ivone Yurika Mizubuti⁵

Resumo

Objetivou-se avaliar o efeito da inclusão de aditivos químicos e bacterianos na ensilagem de cana-de-açúcar sobre a composição, pH, fracionamento e cinética de degradação *in situ* dos componentes nutritivos. Utilizaram-se cinco bovinos $\frac{1}{2}$ Simental + $\frac{1}{2}$ Zebu providos de cânula ruminal, alocados em delineamento inteiramente casualizado e alimentados com dietas contendo 76% de volumoso (% MS). Foram avaliadas cinco silagens: controle – cana-de-açúcar sem aditivo; uréia – cana-de-açúcar acrescida de 1,0% de uréia na massa verde; inoculante – cana-de-açúcar inoculada com LactoSilo[®] na proporção de 390 g/40 t material ensilado; NaOH – cana-de-açúcar hidrolisada com hidróxido de sódio a 1,0% do material ensilado; CaOH – cana-de-açúcar hidrolisada com hidróxido de cálcio a 0,6% do material ensilado. A silagem aditivada com hidróxido de sódio apresentou os maiores valores de pH antes (11,20) e após (4,87) a ensilagem. Não houve diferença para os teores de matéria seca (MS), proteína bruta e fibra em detergente ácido entre as silagens avaliadas, com valores médios de 26,85; 5,25 e 57,21, respectivamente. O fracionamento da MS e da matéria orgânica das silagens avaliadas apresentaram comportamento semelhante, com maiores valores da fração solúvel (A) para as silagens aditivadas com hidróxido de sódio (45,86 e 30,95%) e hidróxido de cálcio (29,47 e 26,13%). A utilização do hidróxido de sódio possibilitou obtenção de maiores valores para a degradabilidade dos componentes da parede celular da silagem de cana-de-açúcar. A degradabilidade potencial para a FDN e FDA foram, respectivamente, 88,44 e 82,57% e os valores relatados para degradabilidade efetiva à taxa de passagem de 3; 5 e 8%/h foram, respectivamente; 64,45; 56,73 e 49,83 para a FDN e 55,51; 46,72 e 38,83 para a FDA, indicando que a utilização de hidróxido de sódio como aditivo químico pode melhorar o valor nutritivo da cana-de-açúcar ensilada.

Palavras-chave: Cinética ruminal, hidróxido de cálcio, hidróxido de sódio, uréia

¹ Parte da dissertação Mestrado de terceiro autor em Ciência Animal, Universidade Estadual de Londrina, UEL, Londrina, PR.

² Profs. Drs. do Deptº de Zootecnia, Universidade Estadual de Londrina, UEL, Cx. Postal 6001, 86001-970. Londrina, PR. E-mail: anapaula_fortaleza@yahoo.com.br; leandro@uel.br

³ Médico Veterinário, Mestre em Ciência Animal, responsável pela Pró Campo Nutrição Animal, Londrina, PR. E-mail: edward@pcampo.com.br

⁴ Zootecnista. Doutorando do Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias do Campus de Jaboticabal, UNESP, Jaboticabal, SP. E-mail: rondinelibarbero@zootecnista.com.br

⁵ Profs. Drs. do Deptº de Zootecnia, UEL, Bolsista de Produtividade do CNPq. Londrina, PR. E-mail: elar@uel.br; mizubuti@uel.br

⁶ Zootecnista, Mestrando do Programa de Pós-graduação em Ciência Animal, UEL, Londrina, PR. E-mail: mauri2242@yahoo.com.br

⁷ Zootecnista, responsável pelo setor de Nutrição Bovina da Central de Insumos MF, Santa Cruz de la Sierra, Bolívia. E-mail: luizeduardo@zootecnista.com.br

* Autor para correspondência

Abstract

The objective of this trial was to evaluate the effect of the addition of chemical and bacterial additive in the ensiling of sugar cane (*Saccharum officinarum* L.) on chemical composition, pH, kinetic fraction and in situ degradation of nutrients components of silages. Five rumen-cannulated ½ Simental + ½ Zebu steers were allotted to a completely randomized design. The steers were placed in individual cages and they were fed with diets with 76% forage (%DM). Five silages were evaluated: control – sugar cane, no additives; urea – sugar cane + 0.5% of urea (wet basis); inoculant – sugar cane inoculated with LactoSil® (390 g/40 t forage); NaOH – sugar cane + 1.0% of sodium hydroxide (wet basis); CaOH – sugar cane + 0.6% of calcium hydroxide (wet basis). The silage additives with sodium hydroxide showed the highest pH values before (11.20) and after (4.87) for silage. No differences were observed among the silages for dry matter (26.85), crude protein (5.25) and acid detergent fiber (57.21). Fractionation of dry matter and organic matter of silages showed similar behavior, with higher values of the soluble fraction (fraction A) for silages with sodium hydroxide (45.86 and 30.95%) and calcium hydroxide (29.47 and 26.13%). The use of sodium hydroxide allowed obtaining higher values for the degradation of cell wall components of silages from cane sugar. The potential and effective degradability with 3, 5 and 8%/h of passage rate were respectively 88.44, 64.45, 56.73 and 49.83% for NDF and 82.57, 55.51, 46.72 and 38.83% for ADF, indicating that the use of sodium hydroxide as chemical additives can improve the nutritive value of cane sugar silage.

Key words: Calcium hydroxide, ruminal kinetics, sodium hydroxide, urea

Introdução

A cana-de-açúcar constitui alternativa de alimento volumoso para alimentação de bovinos durante o período da seca, sendo frequentemente oferecida aos animais *in natura*, mediante cortes diários (SIQUEIRA et al., 2007). Esta forma de utilização da cana-de-açúcar apresenta alguns inconvenientes como a necessidade de contratação de mão-de-obra para cortes, despalhamento, desintegração e transporte, fato que tem levado muitos produtores a optar pela ensilagem como alternativa de utilização desta forrageira.

Nussio, Schmidt e Pedroso (2003) indicaram que a ensilagem da cana-de-açúcar, além de disponibilizar material em outros períodos de escassez de alimento, é uma prática que facilita seu manejo em sistemas de produção, por permitir o aproveitamento de talhões em declínio, melhorando a eficiência de colheita.

Apesar destas vantagens, animais submetidos a dietas contendo silagem de cana-de-açúcar podem apresentar baixo consumo voluntário, como verificado por Schmidt et al. (2007a) comprometendo o desempenho animal em função

da baixa degradabilidade ruminal da fração fibrosa deste volumoso, com significativo efeito sobre a repleção animal (PINTO et al., 2007).

Durante o processo de ensilagem, o elevado teor de açúcares solúveis da cana-de-açúcar leva a rápida proliferação de leveduras com produção de etanol e gás carbônico (VALVASORI et al., 1995), representando perda de aproximadamente 49% de matéria seca (McDONALD; HENDERSON; HERON, 1991).

Na tentativa de minimizar as perdas de matéria seca e melhorar a degradabilidade da fração fibrosa da cana-de-açúcar após o processo de ensilagem, vários aditivos têm sido utilizados e os resultados têm sido bastante variáveis (SCHMIDT et al., 2007a; SIQUEIRA et al., 2007; FREITAS et al., 2006).

A utilização de aditivos microbianos contendo bactérias ácido-láticas promove queda mais acentuada do pH da silagem e rápido acúmulo de ácido lático. Apesar de o crescimento de leveduras não ser inibido pelo baixo pH durante o processo de ensilagem (McDONALD; ; HENDERSON; HERON, 1991), o crescimento da população

inicial de bactérias ácido-láticas aumenta a competição por substrato entre os microrganismos, inibindo o desenvolvimento das leveduras em condições anaeróbicas. No entanto, a utilização deste aditivo pode diminuir a digestibilidade do material ensilado. Siqueira et al. (2007), avaliando o perfil de fermentação na ensilagem da cana-de-açúcar, observaram redução de 57,8 para 34,6% na digestibilidade *in vitro* da matéria seca, atribuindo esta redução ao incremento de FDN durante a ensilagem desta forrageira.

A adição de uréia na ensilagem baseia-se na transformação dessa uréia em amônia que reage com água formando hidróxido de amônia, elevando o pH e atuando sobre o metabolismo de microrganismos indesejáveis, principalmente leveduras (KUNG JUNIOR; STOKES; LIN, 2003). Adicionalmente a este efeito benéfico, Rossi Junior e Schogor (2006) verificaram aumento na degradabilidade potencial e efetiva da MS de 7,68 e 15,36%, respectivamente para a cana-de-açúcar ensilada com 1% de uréia em relação à cana-de-açúcar sem aditivo.

Os aditivos alcalinos como hidróxido de sódio e de cálcio agem sobre a fração fibrosa dos volumosos promovendo ruptura das pontes de hidrogênio, levando a expansão das moléculas de celulose que se tornam mais susceptíveis à ação das enzimas celulolíticas. Provocam também a solubilização da hemicelulose em função do rompimento das ligações do tipo éster da hemicelulose com lignina (Neiva et al., 1998), refletindo positivamente na digestão do material ensilado. Freitas et al. (2006) relataram aumento de 8,9 pontos percentuais na digestibilidade *in vitro* da MS para cana-de-açúcar ensilada com hidróxido de sódio em relação a cana-de-açúcar ensilada sem aditivo.

Considerando essas informações, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da aplicação de aditivos químicos e bacterianos na ensilagem de cana-de-açúcar sobre a composição, pH, fracionamento e cinética de degradação *in situ* dos componentes nutritivos.

Material e Métodos

O experimento foi realizado nas instalações da Unidade de Estudos de Ruminantes (UNER) da Fazenda Escola e as análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Análises e Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia, da Universidade Estadual de Londrina (UEL).

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) utilizada foi a variedade RB72-454, proveniente da Fazenda Escola da UEL, colhida quando apresentava-se apta para o segundo corte. Para ser ensilada, a cana-de-açúcar foi processada em picadeira estacionária com seis facas no rotor e contra-faca fixa em partículas de 1 a 3 cm, sem sofrer despalhamento.

Foram confeccionadas cinco silagens: controle – cana-de-açúcar sem aditivo; uréia – cana-de-açúcar acrescida de 1,0% de uréia na massa verde; inoculante – cana-de-açúcar inoculada com LactoSilo® na proporção de 390 g/40 t material ensilado; NaOH – cana-de-açúcar hidrolisada com hidróxido de sódio a 1,0% do material ensilado; CaOH – cana-de-açúcar hidrolisada com hidróxido de cálcio a 0,6% do material ensilado. Todos os aditivos foram aplicados diretamente sobre a forragem picada, homogeneizado e ensilado.

Como silos experimentais foram utilizados tubos de PVC (40 cm de altura e 10 cm de diâmetro), sendo confeccionados quatro silos para cada tratamento. Em cada silo experimental foram acondicionados aproximadamente 1,8 kg de cana-de-açúcar picada, compactadas em camadas sucessivas de 8 cm de espessura de forma a conseguir densidade aproximada de 573 kg/m³.

Os silos foram lacrados com material plástico e armazenados em depósito coberto, sobre estrados de madeira.

Após 30 dias os silos foram abertos e uma amostra de cada silo foi retirada para determinação do pH de acordo com metodologia descrita por Mizubuti et al. (2009). O restante do material ensilado foi

seco em estufa com ventilação forçada a $55 \pm 5^\circ\text{C}$ durante 72 h, triturado em moinho dotado de peneira com crivos de 2 mm de diâmetro e, posteriormente, fragmentado em duas subamostras: uma destinada à determinação dos teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), matéria mineral (MM), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) realizadas conforme metodologia descrita por Mizubuti et al. (2009) e a outra destinada à determinação da degradabilidade ruminal *in situ* da MS, MO, PB, FDN e FDA.

Foram utilizados cinco bovinos, machos castrados, $\frac{1}{2}$ Simental + $\frac{1}{2}$ Zebu, com aproximadamente 24 meses de idade, pesando em média 480 kg, castrados e providos de fístulas permanentes no rúmen, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado em cinco tratamentos (silagens) em esquema de parcelas subdivididas, representadas pelos tempos de incubação.

A ração experimental fornecida aos animais durante o período de avaliação foi formulada para atender as exigências nutricionais de acordo com as recomendações do NRC (1996), apresentando relação volumoso:concentrado 76:24 e 91,6; 12,0; 60,2; 42,2 e 18,0%, respectivamente para MO, PB, FDN, FDA e hemicelulose. O volumoso utilizado foi a silagem de cana-de-açúcar confeccionada com inoculante bacteriano.

O fornecimento da ração completa aos animais foi feito de forma que as sobras nos cochos em um período de 24 h fossem de aproximadamente 10% da matéria seca fornecida em dois arraçoamentos diários, às 8 e às 18 h.

As degradabilidades ruminais dos componentes nutritivos foram determinadas pela técnica *in situ*, utilizando-se sacos confeccionados em náilon 100% poliamida, não resinado, medindo 14x7 cm, com poros de 50 micrômetros, selados por infusão com resistência elétrica. Estes foram identificados, pesados e receberam, em média, 7 g de MS de cada uma das silagens anteriormente citadas.

Após um período de 15 dias de adaptação às

condições experimentais foi realizada as incubações. Os sacos de náilon, em número de seis repetições para os tempos 6, 12 e 24 h; oito repetições para os tempos 48 e 72 h e 10 repetições para 96 e 144 h foram amarrados aos elos de uma corrente de 50 cm de comprimento e de peso aproximado de 500 g e presa por um cordão de seda à tampa da cânula.

Após o período de incubação ruminal, os sacos de náilon, ainda presos às correntes, foram lavados em água fria para retirar o excesso de conteúdo ruminal e, em seguida mergulhados por um período de 30 minutos em água com gelo para interromper a atividade dos microrganismos. Em seguida, foram lavados em máquina, tipo “tanquinho”, até que a água ficasse clara. Após a lavagem, os sacos foram secos em estufa com ventilação de ar forçada, com temperatura de $55^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$, durante 72 horas.

Para quantificação das frações solúveis dos diferentes componentes nutritivos foram utilizados quatro sacos de náilon contendo amostras de cada alimento estudado que não foram incubados no rúmen, mas passaram pelos mesmos procedimentos daqueles com resíduos não digeridos no rúmen.

A fração solúvel (A) de todos os componentes nutritivos avaliados foi obtida pela diferença entre as quantidades contidas inicialmente na amostra dos alimentos e aquelas determinadas nos resíduos depois de lavados, secos e triturados (ORSKOV; DeB HOVELL; MOULD, 1980).

Os sacos com as amostras residuais, não digeridas e insolúveis, após secos, foram pesados e as amostras de cada alimento incubado e dos resíduos nos sacos de náilon foram triturados a um milímetro para determinação da MS, MM, PB, FDN e FDA.

A fração indegradável (C) foi considerada como sendo o resíduo encontrado no saco de náilon após 144 h de permanência do rúmen (ORSKOV; DeB HOVELL; MOULD, 1980).

Para a avaliação da degradação potencial da MS, MO, PB, FDN e FDA foi utilizado o modelo proposto

por Orskov e McDonald (1979), onde $p = a + b(1 - e^{kt})$, em que em que p = degradação potencial do componente nutritivo em porcentagem; a = fração solúvel em porcentagem; b = fração insolúvel potencialmente degradável em porcentagem; $a + b$ = degradação potencial do componente nutritivo, k = taxa de digestão por ação fermentativa em porcentagem por hora e t = tempo de incubação em horas.

Para estimar a degradabilidade efetiva foi usada a expressão $P = a + b * k(kd + kp) - 1$ sendo P = degradabilidade efetiva em porcentagem; kd = taxa específica de digestão; kp = ritmo de fluxo das frações nutritivas por hora, sendo que foram utilizados os valores de kp de 3; 5 e 8%/hora sugerido pelo AFRC, (1993), a , b e k as mesmas constantes da equação, anteriormente citada.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, e as diferenças entre médias comparadas pelo teste Tukey por meio do procedimento GLM do SAS (2003) a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Antes da ensilagem, a forragem tratada com hidróxido de sódio apresentou maior valor para pH ($P < 0,05$), seguida da forragem tratada com hidróxido de cálcio (Tabela 1), o que era esperado, uma vez que estas substâncias são alcalinizantes e a concentração da solução de hidróxido de sódio (1,0%) foi maior em relação a concentração da solução de hidróxido de cálcio (0,6%).

Tabela 1. pH e composição bromatológica (% MS) das silagens de cana-de-açúcar.

Item	Silagem					CV (%)
	Controle ¹	Uréia	Inoculante	NaOH	CaOH	
pH Inicial ²	5,60c	5,58c	4,59c	11,20a	8,77b	36,58
pH Final	3,72b	3,90b	3,81b	4,87a	3,99b	11,14
MS, %	25,70	28,25	27,26	26,34	26,69	6,69
MO	94,65a	94,13a	92,04ab	76,95b	93,38a	1,99
PB	4,75	5,73	4,87	5,17	5,75	18,87
FDN	84,54ab	82,83ab	88,28a	72,82b	79,82ab	7,43
FDA	58,40	55,66	58,76	54,94	58,29	13,61
Hemicelulose	26,14ab	27,17ab	29,52a	17,88b	21,53ab	26,65

¹Controle: silagem de cana-de-açúcar sem aditivo; Uréia: cana-de-açúcar + uréia; Inoculante: cana-de-açúcar + inoculante bacteriano; NaOH: cana-de-açúcar + hidróxido de sódio; CaOH: cana-de-açúcar + hidróxido de cálcio.

²pH Inicial: pH da cana-de-açúcar picada antes da ensilagem; pH Final: pH da silagem após a abertura dos silos experimentais Médias seguidas de letras diferentes na linha diferem pelo teste Tukey ($P < 0,05$); CV: coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração dos autores.

Após a abertura, a silagem com hidróxido de sódio apresentou os maiores valores de pH (4,87), valor semelhante ao relatado por Siqueira et al. (2007) de 4,60 para a silagem de cana-de-açúcar aditivada com 1% hidróxido de sódio, porém maiores em relação aos valores relatados por Ribeiro et al. (2010) de 4,27 e 4,21 para as variedades CB45-3 e RB72-454 de cana-de-açúcar, respectivamente.

O pH final da silagem é resultado da extensão da fermentação, principalmente aquela realizada pelos microrganismos homofermentativos. Em silagens com alta capacidade tamponante, característica de silagens tratadas com hidróxido de sódio, a quantidade de moles de ácido láctico necessária para reduzir o pH em uma unidade é maior que a necessária para silagens com baixa capacidade

tamponante. Além disso, os ácidos orgânicos produzidos durante a fermentação encontram-se dissociados, elevando a capacidade tamponante (LOPES; EVANGELISTA, 2010).

As silagens controle e aquelas aditivadas com uréia e inoculante bacteriano, apresentaram acréscimo para os valores de pH após a abertura do silo, uma vez que antes do processo essas forragens apresentaram os menores valores para esta variável. Em relação á uréia, a elevação do pH pode ser atribuída ao aumento da concentração de amônia nessas silagens (KUNG JUNIOR; STOKES; LIN, 2003).

De acordo com Schmidt et al. (2007a) a variação estatística entre os valores de pH encontrados nas silagens tem pouca importância biológica. Estudos confirmam que o pH não é o ponto crítico em silagens de cana-de-açúcar e tampouco indicador de qualidade fermentativa desse material, uma vez que a produção de etanol mediada por leveduras ocorre mesmo sob pH inferior a 3,5 (McDONALD; HENDERSON; HERON, 1991).

Não houve diferença para os teores de MS, PB e FDA entre as silagens avaliadas, com valores médios de 26,85; 5,25 e 57,21, respectivamente.

De acordo com Siqueira et al. (2007) as diferenças entre os teores de MS das silagens após a abertura dos silos decorrem das perdas de MS durante o processo de fermentação da forrageira. Em virtude de não haver diferença ($P>0,05$) entre os teores de MS para os diferentes aditivos (Tabela 1), pode-se inferir que as perdas de carboidratos solúveis durante o processo de fermentação foi semelhante para todas as silagens.

O teor de MO verificado para a silagem aditivada com hidróxido de sódio (76,95%) foi muito superiores àqueles relatados na literatura (PINTO et al., 2007; SCHIMIDT et al., 2007; FREITAS, 2005), sugerindo que houve contaminação do material durante a coleta das amostras para análises laboratoriais.

Os menores teores de FDN foram verificados para a silagem aditivada com hidróxido de sódio, esta silagem foi a que apresentou maior porcentagem para a fração solúvel (A) e menor fração indigestível (C) para a MS (Tabela 2), o que sugere a ocorrência de hidrólise alcalina com solubilização parcial de hemicelulose, uma vez que este componente nutritivo foi menor ($P<0,05$) para este tratamento (Tabela 1).

Tabela 2. Valores das frações solúveis (A), insolúvel potencialmente degradável (B), indigestível (C), taxa de degradação (kd), tempo de colonização (LT), degradabilidade potencial (DP) e degradabilidade efetiva (DE) da matéria seca das silagens incubadas.

(%)	Silagem					CV (%)
	Controle ¹	Uréia	Inoculante	NaOH	CaOH	
A	25,64bc	21,97c	22,85c	45,86a	29,47b	9,19
B	35,06b	36,42b	39,71ab	44,26a	37,26b	6,60
C	39,30ab	41,62a	37,44b	9,88d	33,26c	5,13
kd (%/h)	2,73bc	1,82c	3,04b	5,02a	2,60bc	18,01
LT	3,58bc	3,33c	3,80ab	4,01a	3,48bc	4,61
DP	57,59c	51,14d	60,39bc	89,74a	63,03b	3,04
DE3	42,07c	35,37d	42,84bc	73,54a	46,74b	4,72
DE5	37,83b	31,46c	37,87b	68,01a	42,23b	5,29
DE8	34,44bc	28,63d	33,79c	62,91a	38,65b	5,78

¹Controle: silagem de cana-de-açúcar sem aditivo; Uréia: cana-de-açúcar + uréia; Inoculante: cana-de-açúcar + inoculante bacteriano; NaOH: cana-de-açúcar + hidróxido de sódio; CaOH: cana-de-açúcar + hidróxido de cálcio.

DE3, DE5, DE8 – Degradabilidades efetivas com 3; 5 e 8%/h como valores de taxa de passagem. CV – coeficiente de variação Médias seguidas de letras diferentes na linha diferem pelo teste Tukey ($P<0,05$); CV: coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração dos autores.

A degradabilidade efetiva da MS, estimada para valores de taxa de passagem de 3; 5 e 8%, foi maior para as silagem contendo hidróxido de sódio e menor para a silagem contendo uréia. Embora estatisticamente semelhantes, maior valor numérico para o teor de FDN da silagem contendo uréia em relação à silagem contendo hidróxido de sódio (Tabela 1) pode justificar, parcialmente, as diferenças quanto à degradabilidade efetiva desses volumosos. Além disso, de modo geral, o tratamento de volumosos com substâncias alcalinas proporciona aumento na degradabilidade da MS. Cavali (2006) verificou que a fração solúvel (A) da MS foi de 30,58 e 58,75%, respectivamente para silagens de cana-de-açúcar aditivada com 0 e 2% de óxido de cálcio.

Pinto et al. (2007) verificaram 55,20% de desaparecimento da MS em 144 h de incubação para a cana-de-açúcar *in natura* e, ao tratarem a cana-de-açúcar com 4 e 6% de hidróxido de sódio o desaparecimento da MS foi de 58,03 e 62,26%, respectivamente. A justificativa para o emprego de álcalis reside no fato da lignina de gramíneas ser

particularmente susceptível ao ataque hidrolítico dessas substâncias nas ligações covalentes do tipo éster entre lignina e a parede celular (VAN SOEST, 1994). Neste estudo, a menor porcentagem da fração indigestível (C) para as silagens aditivadas com hidróxido de sódio e de cálcio, parece corroborar com esta teoria.

Em relação à degradabilidade potencial da MO, os maiores valores foram observados para a silagem contendo hidróxido de sódio (87,12%) e os menores para a silagem contendo inoculante bacteriano (58,90%) (Tabela 3). Schmidt et al. (2007b) também verificaram menor degradação potencial da MO para as silagens inoculadas com aditivo microbiano (*Lactobacillus plantarum*), com redução de 2,2 pontos percentuais em relação a silagem controle. A degradabilidade potencial da MO, para todas as taxas de passagem avaliadas, foi maior para a silagem contendo hidróxido de sódio, não havendo diferença para este parâmetro entre os demais aditivos avaliados. Este resultado parece corroborar a eficiência de substâncias alcalinas em promover aumento na degradabilidade de volumosos (CAVALI, 2006).

Tabela 3. Valores das frações solúveis (A), insolúvel potencialmente degradável (B), indigestível (C), taxa de degradação (kd), tempo de colonização (LT), degradabilidade potencial (DP) e degradabilidade efetiva (DE) da matéria orgânica das silagens incubadas.

(%)	Silagem					CV (%)
	Controle ¹	Uréia	Inoculante	NaOH	CaOH	
A	23,36bc	24,43b	18,24c	30,95a	26,13ab	11,01
B	37,21c	37,12c	43,06b	56,63a	39,97bc	5,51
C	39,43a	38,45a	38,70a	12,39c	33,87b	4,9
kd (%/h)	2,70b	3,04b	3,05b	4,95a	2,57b	14,63
LT	3,66bc	3,68bc	3,90b	4,33a	3,56c	3,45
DP	57,20c	59,24bc	58,90c	87,12a	62,48b	2,73
DE3	40,70b	42,93b	39,93b	66,24a	44,56b	5,13
DE5	31,94b	33,81b	30,96b	53,23a	34,91b	8,29
DE8	28,36b	30,04b	26,53b	46,70a	31,08b	9,66

¹Controle: silagem de cana-de-açúcar sem aditivo; Uréia: cana-de-açúcar + uréia; Inoculante: cana-de-açúcar + inoculante bacteriano; NaOH: cana-de-açúcar + hidróxido de sódio; CaOH: cana-de-açúcar + hidróxido de cálcio.

DE3, DE5, DE8 – Degradabilidades efetivas com 3; 5 e 8%/h como valores de taxa de passagem. CV – coeficiente de variação Médias seguidas de letras diferentes na linha diferem pelo teste Tukey (P<0,05); CV: coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração dos autores.

Schmidt et al. (2007b) relataram degradação efetiva da MO de 48,80; 43,50 e 41,20%, respectivamente para taxa de passagem de 2; 5 e 8%/h, para silagem de cana-de-açúcar adicionada de uréia, valores superiores aos encontrados neste estudo (Tabela 3) provavelmente em decorrência do menor teor de FDN da cana-de-açúcar utilizada pelos autores (61,50 *versus* 82,83%).

De acordo com Souza et al. (2001) o tratamento químico de volumosos com amônia anidra ou

uréia eleva o teor de nitrogênio e aumenta a disponibilidade deste componente nutritivo para os microrganismos ruminais. Fato não observado neste estudo, uma vez que a fração solúvel (A) e potencialmente degradável (B) (Tabela 4) para a silagem adicionada de uréia foi semelhante a silagem controle, sugerindo que a liberação de amônia, ao se dissolver a uréia na água, gera perdas significativas de nitrogênio.

Tabela 4. Valores das frações solúveis (A), insolúvel potencialmente degradável (B), indigestível (C), taxa de degradação (kd), tempo de colonização (LT), degradabilidade potencial (DP) e degradabilidade efetiva (DE) da proteína bruta das silagens incubadas.

(%)	Silagem					CV (%)
	Controle ¹	Uréia	Inoculante	NaOH	CaOH	
A	75,65ab	77,26ab	72,46b	78,23a	74,74ab	3,35
B	8,97b	7,51b	9,14b	17,19a	12,30ab	30,68
C	15,38ab	15,22b	18,4a	4,58c	12,95b	11,87
kd (%/h)	2,14b	2,92ab	1,85b	4,08a	2,75ab	32,71
LT	2,19b	2,05b	1,84b	2,88a	2,29ab	15,05
DP	83,09c	84,11bc	79,50d	95,01a	85,87b	1,30
DE3	79,25b	80,81b	75,65c	88,09a	80,54b	1,97
DE5	78,26bc	79,90b	74,71c	85,93a	79,06b	2,33
DE8	77,50bc	79,17b	74,01c	84,02a	77,88bc	2,60

¹Controle: silagem de cana-de-açúcar sem aditivo; Uréia: cana-de-açúcar + uréia; Inoculante: cana-de-açúcar + inoculante bacteriano; NaOH: cana-de-açúcar + hidróxido de sódio; CaOH: cana-de-açúcar + hidróxido de cálcio.

DE3, DE5, DE8 – Degradabilidades efetivas com 3; 5 e 8%/h como valores de taxa de passagem. CV – coeficiente de variação Médias seguidas de letras diferentes na linha diferem pelo teste Tukey (P<0,05); CV: coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração dos autores.

A degradabilidade *in situ* dos carboidratos estruturais (FDN e FDA) diferiu entre os diferentes aditivos (Tabelas 5 e 6). Teoricamente, a proporção da fração solúvel (A) para a FDN e FDA deveria ser próxima a zero por ser uma fração prontamente solúvel no rúmen no tempo zero de incubação. Contudo, exceto para a silagem adicionada de inoculante, os valores foram superiores a 12%, possivelmente em virtude da perda de partículas

diminutas durante a lavagem dos sacos não incubados. O mesmo foi observado por Schmidt et al. (2007b) para silagem de cana-de-açúcar incubada com diferentes aditivos químicos e biológicos. Os autores relataram ainda que em quatro das 25 observações foram obtidos valores negativos para a fração solúvel da FDN e FDA e atribuíram esse ocorrido aos desvios na predição desta fração pelo programa utilizado (FitCurve 6), em decorrência do elevado coeficiente de variação para estas variáveis.

Tabela 5. Valores das frações solúveis (A), insolúvel potencialmente degradável (B), indigestível (C), taxa de degradação (kd), tempo de colonização (LT), degradabilidade potencial (DP) e degradabilidade efetiva (DE) da fibra em detergente neutro das silagens incubadas.

(%)	Silagem					CV (%)
	Controle ¹	Uréia	Inoculante	NaOH	CaOH	
A	12,42b	17,12b	16,56b	28,20a	17,83b	24,00
B	42,88b	43,35b	44,32b	61,38a	61,38a	8,42
C	44,70a	39,54b	39,12b	10,42c	39,14b	6,12
kd (%/h)	3,46ab	2,87ab	3,52ab	4,36a	2,62b	23,63
LT	3,87bc	3,80bc	3,96ab	4,24a	3,60c	4,26
DP	52,43c	57,46b	59,09b	88,44a	57,38b	3,19
DE3	34,39b	38,14b	40,22b	64,45a	37,94b	8,04
DE5	29,18b	32,79b	34,64b	56,73a	32,68b	10,13
DE8	24,82b	28,47b	29,93b	49,83a	28,49b	12,14

¹Controle: silagem de cana-de-açúcar sem aditivo; Uréia: cana-de-açúcar + uréia; Inoculante: cana-de-açúcar + inoculante bacteriano; NaOH: cana-de-açúcar + hidróxido de sódio; CaOH: cana-de-açúcar + hidróxido de cálcio.

DE3, DE5, DE8 – Degradabilidades efetivas com 3; 5 e 8%/h como valores de taxa de passagem. CV – coeficiente de variação. Médias seguidas de letras diferentes na linha diferem pelo teste Tukey (P<0,05); CV: coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração dos autores.

Tabela 6. Valores das frações solúveis (A), insolúvel potencialmente degradável (B), indigestível (C), taxa de degradação (kd), tempo de colonização (LT), degradabilidade potencial (DP) e degradabilidade efetiva (DE) da fibra em detergente ácido das silagens incubadas.

(%)	Silagem					CV (%)
	Controle ¹	Uréia	Inoculante	NaOH	CaOH	
A	30,20a	21,97ab	4,98bc	13,81bc	21,78ab	28,84
B	31,21c	36,41c	54,71b	69,91a	40,76c	12,00
C	38,59a	41,63a	41,33a	16,27b	37,45a	7,11
kd (%/h)	2,80b	1,82b	2,79b	4,49a	2,56b	24,99
LT	3,48c	3,33c	3,99ab	4,39a	3,61bc	5,74
DP	58,91b	51,14c	54,79bc	82,57a	58,48b	4,07
DE3	45,05b	35,37cd	30,26d	55,51a	40,51bc	6,69
DE5	41,25ab	31,46c	23,51d	46,72a	35,65bc	8,85
DE8	38,19ab	28,58c	18,08d	38,83a	31,78bc	11,52

¹Controle: silagem de cana-de-açúcar sem aditivo; Uréia: cana-de-açúcar + uréia; Inoculante: cana-de-açúcar + inoculante bacteriano; NaOH: cana-de-açúcar + hidróxido de sódio; CaOH: cana-de-açúcar + hidróxido de cálcio.

DE3, DE5, DE8 – Degradabilidades efetivas com 3; 5 e 8%/h como valores de taxa de passagem. CV – coeficiente de variação. Médias seguidas de letras diferentes na linha diferem pelo teste Tukey (P<0,05); CV: coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração dos autores.

A fração potencialmente degradável (B) e indigestível (C) para a FDN e FDA foram, respectivamente maiores e menores para a silagem aditivada com hidróxido de cálcio e de sódio em relação à silagem controle (Tabelas 5 e 6), indicando que a utilização de substâncias alcalinas como aditivos para ensilagem da cana-de-açúcar melhora a degradabilidade dos componentes da

parede celular. Esta melhora na degradabilidade da fração fibrosa pode resultar em aumento no consumo voluntário, uma vez que um dos fatores que limitam a utilização da cana-de-açúcar na alimentação de ruminantes é a baixa degradação da fibra no rúmen, limitando a taxa de reciclagem ruminal e ocasionando baixo consumo (RAVELO, GONZALEZ; DEB HOVELL, 1978).

Os efeitos positivos de substâncias alcalinas sobre a parede celular da cana-de-açúcar foram relatados por diversos autores. Ezequiel et al. (2005) verificaram aumento de 71,76 e 45,24% na digestibilidade da FDN e FDA, respectivamente, quando a cana-de-açúcar antes do processo de ensilagem foi hidrolisada com solução de hidróxido de sódio 50%. Pinto et al. (2007) ao avaliarem a degradabilidade da cana-de-açúcar *in natura* tratada com diferentes níveis de hidróxido de sódio, concluíram que a inclusão de 6% desta substância alcalina promoveu maior degradabilidade da fração fibrosa da cana-de-açúcar o que, de acordo com os autores, justifica a utilização desta substância química.

Franzolin e Franzolin (2000) avaliaram a cinética de degradação da cana-de-açúcar em bovinos e bubalinos e verificaram valores médios para a fração potencialmente degradável (B), indigestível (C) e degradabilidade potencial da FDN de 52,91; 1,8 e 70,29%, respectivamente. Os valores obtidos por esses autores para a cana-de-açúcar fresca são bastante superiores aos verificados neste experimento, contudo, esses autores não informaram a composição bromatológica do volumoso, o que limita a comparação dos resultados.

A utilização de inoculante microbiano não proporcionou melhora na degradabilidade efetiva da FDN em relação a silagem controle (Tabela 5). No entanto, quando avaliado este mesmo parâmetro para a FDA, houve redução, em relação a silagem controle, de 14,79; 17,74 e 20,11 %, respectivamente para a degradabilidade efetiva a 3; 5 e 8%/h (Tabela 6).

Os efeitos da utilização de inoculantes microbianos sobre a degradabilidade da fração fibrosa em silagens de cana-de-açúcar são variáveis. Schmidt et al. (2007b) ao avaliar a utilização de *Lactobacillus buchneri* e *Lactobacillus buchneri* concluíram que esses aditivos não influenciaram a degradabilidade dos componentes da parede celular. Pedroso et al. (2007) verificaram que a inoculação da cana-de-açúcar com *L. buchneri* resultou em

diminuição no teor de FDN e menor redução da digestibilidade *in vitro* da matéria seca quando comparada àquela sem aditivo, no entanto quando o inoculante utilizado foi *L. plantarum*, esse efeito não foi verificado.

Conclusões

O uso de aditivos na ensilagem da cana-de-açúcar promoveu alterações na degradabilidade ruminal dos componentes nutritivos avaliados.

A utilização do hidróxido de sódio possibilitou obtenção de menores teores de FDN nas silagens e maiores valores para as degradabilidades potencial e efetiva dos componentes da parede celular deste volumoso, indicando que este aditivo químico pode melhorar o valor nutritivo da cana-de-açúcar ensilada.

Referências

- CAVALI, J. *Cana-de-açúcar ensilada com óxido de cálcio, capim elefante ou inoculante bacteriano*. 2006. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- EZEQUIEL, J. M. B.; QUEIROZ, M. A.; GALATI, R. L.; MENDES, A. R.; PEREIRA, E. M. O.; FATURI, C.; NASCIMENTO FILHO, V. F.; FEITOSA, J. M. Processamento da cana-de-açúcar: efeitos sobre a digestibilidade, o consumo e a taxa de passagem. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 34, n. 5, p. 1704-1710, 2005.
- FRANZOLIN, R.; FRANZOLIN, M. H. T. População protozoários ciliados e degradabilidade ruminal em búfalos e bovinos sob dietas à base de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 29, n. 6, p. 1853-1861, 2000.
- FREITAS, A. R. *Avaliação de aditivos químicos na ensilagem de cana-de-açúcar*. 2005. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga.
- FREITAS, A. W. P.; PEREIRA, J. C.; ROCHA, F. C.; DETMANN, E.; RIBEIRO, M. D.; COSTA, M. G.; LEONEL, F. P. Características da silagem de cana-de-açúcar tratada com inoculante bacteriano e hidróxido de sódio e acrescida de resíduo da colheita de soja. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 35, n.1, p. 48-59, 2006.

- KUNG JUNIOR, L.; STOKES, M. R.; LIN, C. J. Silage additives. In: BUXTON, D. R.; MUCK, R. E.; HARRISON, J. H. (Ed.). *Silage science and technology*. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 2003. p. 251-304.
- LOPES, J.; EVANGELISTA, A. R. Características bromatológicas, fermentativas e população de leveduras de silagens de cana-de-açúcar acrescidas de uréia e aditivos absorventes de umidade. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 39, n. 5, p. 984-991, 2010.
- MCDONALD, P.; HENDERSON, A. R.; HERON, S. J. E. *The biochemistry of silage*. 2. ed. Marlow: Chalcombe Publications, 1991. 340 p.
- MIZUBUTI, I. Y.; PINTO, A. P.; PEREIRA, E. S.; OLIVEIRA, B. M. *Métodos laboratoriais de avaliação de alimentos para ruminantes*. Londrina: EDUEL, 2009. 226 p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 6. ed. Washinton, D.C.; 1996. 381 p.
- NUSSIO, L. G.; SCHMDT, P.; PEDROSO, A. F. Silagem de cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO DE FORRAGICULTURA E PASTAGENS: TEMA EM EVIDÊNCIA – SUSTENTABILIDADE, 9., 2003, Lavras. *Anais...* Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2003, p. 49-74.
- ORSKOV, E. R.; DeB HOVELL, F. D.; MOULD, F. The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. *Tropical Animal Production*, Santo Domingo, v. 5, n. 3, p. 195-213, 1980.
- ORSKOV, E. R.; McDONALD, I. The estimation of protein degradability in the rúmen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *Journal of Agriculture Science*, Cambridge, v. 92, n. 2, p. 499-503, 1979.
- PEDROSO, A. F.; NUSSIO, L. G.; LOURES, D. R. S.; PAZIANI, S. F.; IGARASI, M. S.; COELHO, R. M.; HORII, J.; RODRIGUES, A. A. Efeito do tratamento com aditivos químicos e inoculantes bacterianos nas perdas e na qualidade de silagens de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 36, n. 3, p. 558-564, 2007.
- PINTO, A. P.; MIZUBUTI, I. Y.; RIBEIRO, E. L. A.; ROCHA, M. A.; SILVA FILHO, M. F.; KURAOKA, J. T. Degradabilidade ruminal da cana-de-açúcar integral tratada com diferentes níveis de hidróxido de sódio. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 28, n. 3, p. 503-512, 2007.
- RAVELO, G.; GONZALEZ, F.; DEB HOVELL, F. D. The effect of fistula feeding sugar cane or wheat bran on the voluntary intake of sugar cane. *Tropical Animal Production*, Santo Domingo, v. 3, n. 3, p. 237-242, 1978.
- RIBEIRO, L. S. O.; PIRES, A. J. V.; CARVALHO, G. G. P.; SANTOS, A. B.; FERREIRA, A. R.; BONOMO, P.; SILVA, F. F. Composição química e perdas fermentativas de silagem de cana-de-açúcar tratada com uréia ou hidróxido de sódio. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 39, n. 9, p. 1911-1918, 2010.
- ROSSIJUNIOR, P.; SCHOGOR, A. L. B. Degradabilidade in situ de cana-de-açúcar ensilada com uréia e milho em diferentes proporções. *Archives of Veterinary Science*, Curitiba, v. 11, n. 3, p. 15-18, 2006.
- SAS INSTITUTE. *SAS/STAT user's guide*. Cary: SAS Institute Inc., 2003.
- SCHMIDT, P.; MARI, L. J.; NUSSIO, L. G.; PEDROSO, A. F.; PAZIANI, S. F.; WECHSLER, F. S. Aditivos químicos e biológicos na ensilagem de cana-de-açúcar. 1. Composição química das silagens, ingestão, digestibilidade e comportamento ingestivo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 36, n. 5, p. 1666-1675, 2007a. Suplemento.
- SCHMIDT, P.; NUSSIO, L. G.; ZOPOLLATTO, M.; RIBEIRO, J. L.; SANTOS, V. P.; PIRES, A. V. Aditivos químicos ou biológicos na ensilagem de cana-de-açúcar. 2. Parâmetros ruminais e degradabilidade da matéria seca e das frações fibrosas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 36, n. 5, p. 1676-1684, 2007b. Suplemento.
- SIQUEIRA, G. R.; REIS, R. A.; SCHOCKEN-ITURRINA, R. P.; BERNARDES, T. F.; PIRES, A. J. V.; ROTH, M. T. P.; ROTH, P. T. P. Associação entre aditivos químicos e bacterianos na ensilagem de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 36, n. 4, p. 789-798, 2007.
- SOUZA, A. L.; GARCIA, R.; PEREIRA, O. G.; CECON, P. R.; VALADARES FILHO, S. C.; PAULINO, M. F. Composição químico-bromatológica da casca de café tratada com amônia anidra e sulfeto de sódio. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 30, p. 983-991, 2001. Suplemento, 1.
- VALVASORI, E.; LUCCI, C. S.; ARCARO, J. R. P.; PIRES, F. L.; ARCARO JÚNIOR, I. Avaliação da cana-de-açúcar em substituição à silagem de milho para vacas leiteiras. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, São Paulo, v. 32, n. 4, p. 224-228, 1995.
- VAN SOEST, P. J. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2. ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994. 476 p.

