

COMPOSIÇÃO QUÍMICO-BROMATOLÓGICA DE CANA-DE-AÇÚCAR HIDROLISADA COM CAL VIRGEM¹

CARLOS HENRIQUE SILVEIRA RABELO^{2*}, ADAUTON VILELA DE REZENDE², FLÁVIO HENRIQUE SILVEIRA RABELO³, DENISMAR ALVES NOGUEIRA⁴, PAULO DE FIGUEIREDO VIEIRA²

RESUMO - Com esta pesquisa objetivou-se avaliar a composição químico-bromatológica da cana-de-açúcar *in natura* em função da hidrólise com cal virgem. O trabalho foi conduzido no setor de Forragicultura da Faculdade de Zootecnia na Universidade José do Rosário Vellano (UNIFENAS), campus de Alfenas (MG). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente ao acaso em arranjo fatorial 4x5, sendo estudadas quatro doses de cal (0; 0,5; 1,0 e 2,0% com base na matéria natural) em cinco tempos de exposição aeróbia (0, 6, 12, 24 e 48 horas), com quatro repetições. A inclusão de cal à cana-de-açúcar promoveu menores temperaturas até 12 horas de estocagem, sendo que a partir deste ponto não houve mais efeito da cal no controle da temperatura. O teor de matéria seca e cinzas aumentou linearmente com a adição de cal, enquanto que o teor de proteína diminuiu. A cal não promoveu queda nos teores de fibra insolúvel em detergente neutro e lignina, no entanto, os teores de fibra insolúvel em detergente ácido diminuíram, com maior contundência quando se utilizou 0,5 e 2,0% de cal virgem. A utilização de cal virgem na hidrólise da cana-de-açúcar altera a composição químico-bromatológica, todavia, o seu uso não é justificado, pois não há efeito positivo sobre o teor de fibras. A cana-de-açúcar *in natura* e hidrolisada apresentam melhor composição imediatamente após a desintegração.

Palavras-chave: Matéria seca. Óxido de cálcio. Parede celular.

CHEMICAL-BROMATOLOGIC COMPOSITION OF HIDROLYZED SUGARCANE WITH WHITE-WASH

ABSTRACT - Through this research work, evaluating the chemical-bromatologic composition of *in natura* sugar cane as related to hydrolysis with whitewash. The work was conducted in the Forage Culture Sector of the Animal Science College at José do Rosário Vellano University (UNIFENAS), campus of Alfenas (MG). The experimental design utilized was the completely randomized in a factorial arrangement 4x5, four doses of whitewash were studied (0.0; 0.5; 1.0 and 2.0% on the basis of natural matter) in five times aerobic exposure (0, 6, 12, 24 and 48 hours), with four replicates. The addition of whitewash to sugar cane promoted lower temperatures till 12 hours of storage, from this point on, there no further effects of whitewash upon temperature control. The content of dry matter and ashes increased linearly with addition of whitewash, while protein content decreased. Whitewash promote no fall in the contents of water-neutral detergent-insoluble fiber and lignin, nevertheless, the contents of acid detergent insoluble fiber decreased, with more forceful when using 0.5 and 2.0% of whitewash. The use of whitewash in the hydrolysis of sugar cane alters the chemical-bromatologic composition, however, the use of this additive is unjustified, because is not effect positive on the fiber content. The sugar cane *in natura* and hydrolyzed present the best composition immediately after the desintegration.

Keywords: Dry matter. Calcium oxide. Cell wall.

*Autor para correspondência.

¹Recebido para publicação em 14/05/2010; aceito em 28/08/2010.

²Departamento de Zootecnia da UNIFENAS, Caixa Postal 23, 37130-000, Alfenas - MG; carlos.zoo@hotmail.com; adauton.rezende@unifenas.br; paulo.vieira@unifenas.br

³Departamento de Agronomia da UNIFENAS, Caixa Postal 23, 37130-000, Alfenas - MG; flaviohsr.agro@yahoo.com.br

⁴Departamento de Ciências Exatas da UNIFAL, Caixa Postal 221, 37130-000, Alfenas - MG; denisnog@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

Devido à escassez de forragem durante o período seco no país, a cana-de-açúcar apresenta-se como boa alternativa para alimentação de ruminantes com bom desempenho animal. Esta gramínea se destaca pelo alto potencial de produção e baixo custo de matéria seca produzida por unidade de área (FERNANDES et al., 2001) aliada à possibilidade de fazer um único corte, sem grandes alterações no seu valor nutritivo, e por isso tem atraído a atenção dos pecuaristas para a utilização de cana-de-açúcar na produção animal (ANDRADE et al., 2001). A cana-de-açúcar vem sendo adotada em substituição às silagens de milho e sorgo, que são as fontes de alimentos volumosos mais utilizados (RANGEL et al., 2008a), observando-se em alguns casos resultados favoráveis à cana-de-açúcar (CÔRREA et al., 2003), o que pode levar em alguns casos a sobrevivência do produtor em ambientes de competição elevada (RANGEL et al., 2008b).

Silagens de cana-de-açúcar apresentam, no entanto, intensa atividade de leveduras que convertem açúcares a etanol, dióxido de carbono e água, causando reduções de até 70% no teor de carboidratos solúveis (CHO's), aumento nos componentes da parede celular e perdas de MS (Pedroso et al., 2005). Portanto, a viabilidade na utilização desta forragem requer o desenvolvimento de metodologias que promovam o rompimento da fração fibrosa, para melhor aproveitamento pelos microrganismos ruminais (OLIVEIRA et al., 2008a), além de manter a qualidade nutritiva deste volumoso por alguns dias sem a necessidade de cortes diários.

Nos últimos anos, vários aditivos vem sendo estudados (OLIVEIRA et al., 2002; SANTOS et al., 2004; EZEQUIEL et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2008a; 2008b) com objetivo de quebrar a estrutura da fibra e solubilizar os componentes, processo conhecido como hidrólise. E entre os reagentes estudados se destacam a amônia anidra (NH_3), hidróxido de sódio (NaOH), e mais recentemente cal virgem (CaO) e cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Os aditivos alcalinos tem por função causar a expansão das fibras, fazendo com que haja a ruptura entre as frações de celulose e hemicelulose, tornando-as mais disponíveis aos microrganismos ruminais (KLOPFENSTEIN, 1980) com ganhos no desempenho animal. Entretanto, a lignina geralmente não é alterada, devido às suas peculiaridades químicas envolvendo ligações com carboidratos estruturais, que conferem grande rigidez parietal (VAN SOEST, 1994). Pedroso et al. (2007) constatou que o tratamento de materiais fibrosos com álcalis melhora a digestibilidade dos alimentos, portanto torna-se pertinente a utilização destes sobre a cana-de-açúcar. Castro Neto et al. (2008) observaram efeitos positivos da hidrólise alcalina sobre o valor nutritivo da silagem de cana-de-açúcar.

Ezequiel et al. (2005) avaliando os efeitos do

processamento da cana-de-açúcar com NaOH sobre a digestibilidade e consumo de matéria seca em bovinos mestiços (Zebu x Holandês) observaram resultados positivos, notando aumento de pelo menos 45% na digestibilidade e 25,0% no consumo de matéria seca em relação a cana-de-açúcar que permaneceu no estado *in natura*. No entanto, Freitas et al. (2008) não observaram melhor desempenho de ovinos alimentados com cana-de-açúcar hidrolisada com 0,5 e 0,9% de cal microprocessada.

Como motivação para novos estudos há o fato dos resultados encontrados serem divergentes, não havendo protocolo que assegure o sucesso deste procedimento sobre a cana-de-açúcar. Desta forma, com esta pesquisa objetivou-se avaliar a influência da cal virgem sobre os parâmetros químico-bromatológicos da cana-de-açúcar *in natura*.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida no setor de Forragicultura da Faculdade de Zootecnia na Universidade José do Rosário Vellano (UNIFENAS), campus de Alfenas (MG), sob delineamento experimental inteiramente ao acaso em esquema fatorial 4x5, constituído por quatro doses de cal virgem (0; 0,5; 1,0 e 2,0%) e cinco tempos de exposição aeróbia (0, 6, 12, 24 e 48 horas), com quatro repetições, totalizando 80 unidades experimentais.

O cultivar utilizado foi SP81-3250, colhida manualmente a 10 cm de altura do solo quando apresentava 12 meses de crescimento (grau brix = 20%). Posteriormente ao corte, realizou-se o transporte da cana-de-açúcar para o setor de Forragicultura da UNIFENAS, onde esta foi desintegrada em picadeira estacionária a fim de obter partículas com 1,0 a 2,0 cm de comprimento. Imediatamente realizado o corte, utilizou-se cal virgem micropulverizada (comercializada como Itaú[®]) como agente hidrolisante sobre a cana-de-açúcar, cuja cal apresentava as seguintes características químicas: teores máximos de óxido de cálcio de 64,0%, teores mínimos de óxido de magnésio de 1,5% e teor de água de 1,0%.

A cal foi misturada à cana-de-açúcar em forma de pó (pois a cana-de-açúcar oferece quantidade de água além da necessária para que ocorra a hidratação da cal) nas proporções de 0,0; 0,5; 1,0 e 2,0 kg de cal para cada 100 kg de cana-de-açúcar, respectivamente, levando-se em conta que o tratamento sem cal (0,0 kg) permaneceu no estado *in natura*. Para tanto, os tratamentos foram homogeneizados cuidadosamente em piso de concreto, e sequencialmente foram confeccionados amontoados de 5 kg mantendo-se as mesmas proporções, permanecendo em repouso por 0, 6, 12, 24 e 48 horas.

Para qualificação do valor nutritivo da cana-de-açúcar foram retiradas amostras nos diferentes tempos, sendo acondicionadas em sacos plásticos previamente identificados e armazenadas em freezer

a -10°C, para posteriormente serem analisadas. Os parâmetros químico-bromatológicos avaliados foram: teor de matéria seca (MS), matéria mineral (MM), matéria orgânica (MO) e proteína bruta (PB), determinados conforme métodos recomendados pela AOAC (1970). As frações da parede celular quantificadas como fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), fibra insolúvel em detergente ácido (FDA) e lignina, foram determinadas conforme as técnicas descritas por Goering e Van Soest (1970). Os valores de pH foram obtidos por meio da leitura em peagâmetro Beckman Expandomatic SS-2[®] após extração do suco celular de 10 g de cana-de-açúcar nos respectivos tratamentos. O teor de nutrientes digestíveis totais (NDT) foi obtido por meio da seguinte equação, conforme descrito por Capelle et al. (2001):

$$\text{equação 1} \rightarrow \% \text{NDT} = 91,6086 - (0,669233 \times \% \text{FDN}) + (0,437932 \times \% \text{PB})$$

em que:

NDT = porcentagem de nutrientes digestíveis totais tomando-se por base a MS; FDN = porcentagem de fibra insolúvel em detergente neutro (% da MS); PB = porcentagem de proteína bruta (% da MS).

Os dados foram submetidos a análise de regressão, na qual se estudou os efeitos de ordem linear, quadrática e cúbica, com posterior ajuste de regressões. Todos os procedimentos estatísticos foram realizados por meio do programa estatístico SISVAR[®] (FERREIRA, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela derivação dos valores de pH da cana-de-açúcar por meio da equação $Y = 5,321 + 2,219x$ ($r^2 = 90,78\%$), notou-se aumento ($P < 0,01$) em 2,21 unidades para cada 1,0% de cal, registrando valores com amplitude de 5,32 a 9,76 (estado *in natura* e hidrólise a 2,0%, respectivamente). Em virtude da natureza alcalina da cal virgem, era esperado que os valores de pH aumentassem mediante sua inclusão. Este fator de acréscimo do pH é preponderante para que as fibras da cana-de-açúcar sejam solubilizadas, promovendo alterações nos demais nutrientes (Oliveira et al. (2008b).

Com relação ao tempo de repouso das massas, foi verificado queda ($P < 0,01$) de 0,12 unidades para cada hora de repouso dos amontoados, conforme demonstrado na equação $Y = 9,599 - 0,129x$ ($r^2 = 82,71\%$). O fato do pH ter diminuído no decorrer do tempo possivelmente está associado a atuação de microrganismos deterioradores, que atuam sobre os carboidratos solúveis presentes na cana-de-açúcar, provocando fermentação do material e consequente acidificação. Trabalhando com hidrólise de cana-de-açúcar por meio da utilização de cal hidratada, Oliveira et al. (2008a) observaram decréscimo de 0,77 e 0,52 unidades nos valores de pH quando a cana-de-

açúcar foi tratada a 0,5 e 0,6%, respectivamente, em comparação ao tratamento que permaneceu *in natura*.

Desdobrando-se a interação dose dentro de tempo ($P < 0,01$), verificou-se decréscimo nos valores de pH em todas as massas de cana-de-açúcar, sendo estas de efeito linear (tratamento *in natura* e hidrolisado a 2,0%) e quadrático (hidrólise a 0,5 e 1,0%). A cana-de-açúcar *in natura* e hidrolisada a 2,0% apresentaram queda de 0,03 e 0,08 unidades por hora de repouso. Já as massas tratadas com 0,5 e 1,0% de cal, tiveram tendência de estabilização nos valores a partir de 24 horas (Figura 1).

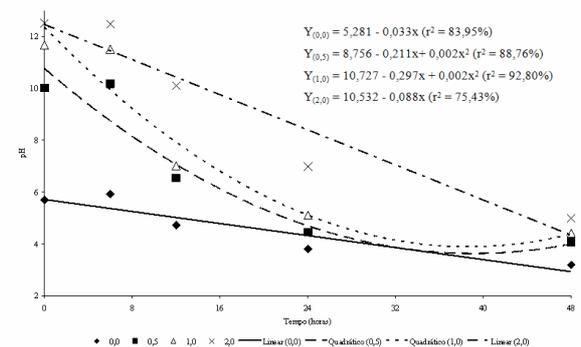


Figura 1. Desdobramento da interação entre tempo de repouso e doses de cal para valores de pH da cana-de-açúcar *in natura* e hidrolisada.

Obteve-se grande amplitude de valores de pH quando as massas foram hidrolisadas, principalmente a 1,0% (12,22 e 4,22 no tempo 0 e após 48 horas, respectivamente), em comparação a cana-de-açúcar *in natura* (5,75 e 3,13, nos mesmos tempos). A premissa de obtenção de altos valores de pH pela utilização de cal virgem foi confirmada no presente trabalho, sendo este efeito marcante principalmente no momento da hidrólise. O fato do pH diminuir ao longo do tempo, pode ser atribuído a ação de microrganismos deterioradores e proteolíticos, que promovem acidificação do material, com consequente queda nos valores de pH. Amaral et al. (2009) observaram decréscimo no pH da cana-de-açúcar *in natura* exposta aerobicamente (5,5 no primeiro dia vs 3,5 após 10 dias), notando ainda efeito reverso quando se adicionou 1,0% de cal virgem à cana-de-açúcar (4,0 e 6,0 no mesmo período).

Obteve-se maiores temperaturas ($P < 0,05$) com a hidrólise da cana-de-açúcar a 0,5 e 1,0% (30,87 e 30,81 °C), notando-se resposta de efeito quadrático nesta variável ($Y = 30,559 - 1,000x + 0,740x^2$; $r^2 = 99,89\%$). Estes resultados, podem estar associados ao ambiente menos propício para o desenvolvimento de microrganismos, principalmente fungos, que em meio aeróbio são os primeiros a se desenvolverem implicando em acréscimo da temperatura por atuarem sobre os substratos, principalmente carboidratos solúveis (SIQUEIRA et al., 2005), causando depreciação no valor nutritivo da cana-de-

açúcar. Ribeiro et al. (2009a) notaram maior estabilidade aeróbia da cana-de-açúcar quando processada com hidróxido de sódio ou óxido de cálcio, comparativamente ao estado *in natura*.

Com relação ao tempo de hidrólise, a temperatura da cana-de-açúcar aumentou ($P < 0,01$) $0,32\text{ }^{\circ}\text{C}$ por hora de repouso ($Y = 24,064 + 0,326x$; $r^2 = 88,22\%$), obtendo-se variação de $24,06$ a $39,72\text{ }^{\circ}\text{C}$ quando a cana-de-açúcar permaneceu em repouso por 0 e 48 horas. Conforme discutido anteriormente, a provável causa para o aquecimento da cana-de-açúcar com o decorrer do tempo está na atuação de microrganismos deterioradores sobre os substratos presentes nesta, causando reações que elevam a temperatura. Os resultados obtidos neste trabalho corroboram Oliveira et al. (2008a) que, registraram acréscimo na temperatura da cana-de-açúcar em $7,29$ e $6,47\text{ }^{\circ}\text{C}$ após 6 e 9 horas de estocagem, comparado ao tempo 0 ($17,69\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Com o desdobramento dos fatores de estudo (tempo dentro de dose), verificou-se acréscimo da temperatura em $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ para todos os tratamentos ($P < 0,05$), obtendo-se maiores valores em 48 horas de repouso (Figura 2).

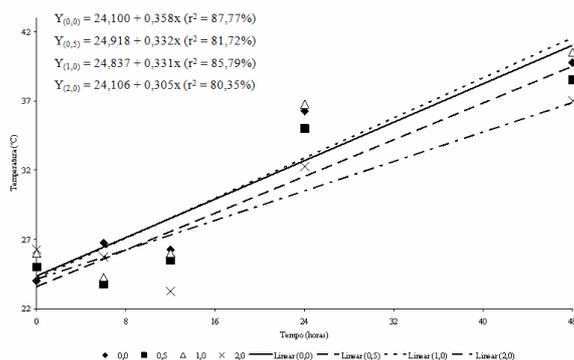


Figura 2. Desdobramento da interação entre tempo de repouso e doses de cal para temperatura ($^{\circ}\text{C}$) da cana-de-

O acréscimo constante das temperaturas no decorrer do tempo, possivelmente está relacionado a ação de microrganismos sobre a cana-de-açúcar, o que é indesejável, pois a alta temperatura verificada poderá influenciar no consumo de MS dos animais, resultando em baixo desempenho. Este problema foi relatado por Moraes et al. (2008), que ao avaliarem alguns parâmetros nutricionais de novilhas de corte alimentadas com cana-de-açúcar tratada com óxido de cálcio associado a diferentes níveis de concentrado, observaram que a hidrólise prejudicou a ingestão de MS ($3,44$ vs. $4,18\text{ kg/MS/dia}$ para cana hidrolisada e *in natura*, respectivamente), concluindo que estes resultados foram em virtude da alta temperatura obtida com a hidrólise da cana-de-açúcar.

O teor de MS aumentou $0,78$ unidades percentuais ($P < 0,05$) para cada $1,0\%$ de cal virgem adicionada à cana-de-açúcar. Este resultado era esperado, pois a cal virgem utilizada no presente trabalho

apresentou $99,0\%$ de MS, contribuindo de forma decisiva para o aumento desta variável (Tabela 1). Estes resultados são superiores aos registrados por Oliveira et al. (2008b), que notaram acréscimo de $0,58$ e $0,83$ unidades percentuais no teor de MS da cana-de-açúcar quando tratada com $0,5$ e $1,0\%$ de cal hidratada em relação ao tratamento que permaneceu *in natura* ($25,14\%$).

Como era de se esperar, o teor de MS da cana-de-açúcar aumentou $0,10$ unidades percentuais ($P < 0,01$) por hora em que as massas permaneceram em repouso. Este fato está relacionado ao processo de desidratação sofrido pela cana-de-açúcar em virtude de altas temperaturas verificadas durante os dias de avaliação, principalmente a partir de 24 horas, atribuindo-se parte deste relato ao processo de respiração da planta, que consome carboidratos solúveis e contribui para o acréscimo da MS.

Observou-se que ao proceder o desdobramento da interação entre doses de cal virgem e tempo de exposição aeróbia ($P < 0,05$), o teor de MS da cana-de-açúcar apresentou comportamento linear para hidrólise com $0,5$ e $1,0\%$ de cal, sendo que para cada hora de exposição aeróbia houve acréscimo de $0,06$ e $0,10$ unidades percentuais sobre o teor de MS. Todavia, a cana-de-açúcar *in natura* e hidrolisada a $2,0\%$ tiveram comportamento quadrático, registrando-se maior teor de MS a partir de 24 horas de estocagem (Figura 3).

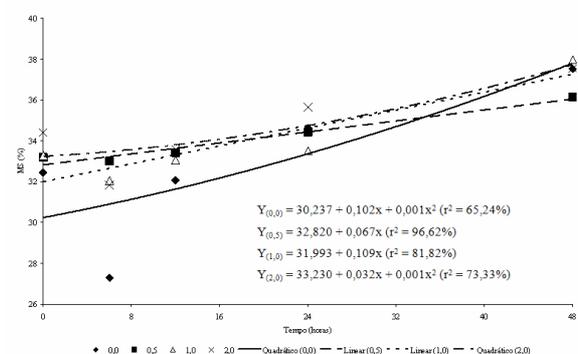


Figura 3. Desdobramento da interação entre tempo de repouso e doses de cal para o teor de MS da cana-de-

O teor de MO diminuiu ($P < 0,01$) em virtude da inclusão de cal virgem à cana-de-açúcar, passando de $98,10\%$ no estado *in natura* para $95,39\%$ na massa hidrolisada com $2,0\%$ de cal (Tabela 1). Tal fato ocorreu devido ao elevado teor de minerais presentes na cal virgem, principalmente óxido de cálcio e óxido de magnésio, que ao serem adicionados à cana-de-açúcar implicaram no acréscimo do teor de minerais.

Nos tempos mais longos de repouso verificou-se maiores teores de MM ($P < 0,01$), o que influenciou negativamente o teor de MO, cujos percentuais variaram de $97,13$ a $96,56\%$ no momento da mistura "cana-cal" e após 48 horas de repouso, respecti-

Tabela 1. Composição químico-bromatológica (% da MS) da cana-de-açúcar em função da adição de cal virgem (%) e tempo de exposição aeróbia (horas).

Dose (%)	MS	MO	MM	PB	FDN	FDA	LIG	NDT
0,0	33,16	98,11	1,89	2,30	43,00	24,86	4,68	63,84
0,5	33,55	97,43	2,57	2,23	42,63	23,18	4,64	64,06
1,0	33,94	96,75	3,25	2,15	42,25	24,02	4,60	64,27
2,0	34,73	95,39	4,61	2,00	41,50	23,27	4,52	64,71
P	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	>0,05	<0,05	>0,05	>0,05
Tempo (horas)								
0	31,90	97,13	2,87	2,21	39,30	22,00	3,67	66,23
6	32,55	97,06	2,94	2,08	40,32	22,61	3,98	65,56
12	33,20	96,99	3,01	2,06	41,33	23,22	4,30	64,89
24	34,49	96,85	3,15	2,19	43,36	24,44	4,93	63,55
48	37,09	96,57	3,43	2,30	47,42	26,88	6,19	60,87
P	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
CV (%)	5,09	0,25	7,74	8,40	5,63	6,76	11,61	2,45

MS = matéria seca; MO = matéria orgânica; MM = matéria mineral; PB = proteína bruta; FDN = fibra insolúvel em detergente neutro; FDA = fibra insolúvel em detergente ácido; LIG = lignina; NDT = nutrientes digestíveis totais.

vamente (Tabela 1). Oliveira et al. (2008b) relataram queda de 4,53 unidades percentuais no teor de MO para adição de 1,0% de cal hidratada à cana-de-açúcar, quando comparado ao tratamento *in natura*.

A porcentagem de PB da cana-de-açúcar diminuiu ($P < 0,01$) 0,15 unidades percentuais para adição de 1,0% de cal virgem ($Y = 2,302 - 0,153x$; $r^2 = 64,10\%$), conforme apresentado na Tabela 1. Conforme descrito por Jackson (1977), a cal virgem age sobre a hemicelulose e celulose, provocando a solubilização parcial da primeira fração e expansão da segunda, deste modo, o novo arranjo estrutural da cana-de-açúcar associada a elevadas temperaturas podem ter causado uma modificação na estrutura da proteína, e de certa forma contribuir no decréscimo da PB.

Ribeiro et al. (2009b) não observaram efeito do óxido de cálcio e hidróxido de sódio sobre o teor de PB da cana-de-açúcar, no entanto, numericamente estes valores foram inferiores quando realizado o processamento da cana-de-açúcar (2,2% *in natura* vs. 1,9 e 1,5% para cana tratada com 2,25% de óxido de cálcio e hidróxido de sódio, respectivamente).

Verificou-se grande variação ($P < 0,01$) da PB nos tempos avaliados, com ajuste cúbico sobre esta variável ($Y = 2,212 - 0,032x + 0,001x^2 - 0,00002x^3$; $r^2 = 66,13\%$). Conforme apresentado na Tabela 1, o teor de PB diminuiu até 12 horas de repouso (2,06%), e a partir daí houve aumento desta variável, atingindo 2,30% em 48 horas de estocagem. O acréscimo no teor de PB a partir de 12 horas pode estar associado ao maior desenvolvimento de microrganismos, pois estes são quantificados como PB em

análises laboratoriais.

Desdobrando-se o efeito dos tempos de exposição aeróbia dentro de doses, foi notado acréscimo no teor de PB ($P < 0,01$) em quase todas as massas ao final das 48 horas de avaliação, exceto para a massa hidrolisada com 1,0% de cal virgem, que apresentou queda de 0,007 pontos percentuais por hora de repouso (Figura 4).

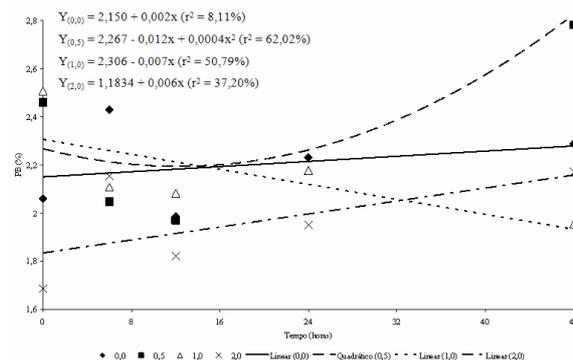


Figura 4. Desdobramento da interação entre tempo de repouso e doses de cal para o teor de PB da cana-de-açúcar

Salienta-se que os valores de PB encontrados nesta pesquisa são extremamente baixos para manutenção da atividade ruminal em condições ideais, portanto faz-se necessário a suplementação protéica da cana-de-açúcar para otimizar a atuação de microrganismos ruminais sobre o alimento, resultando em ganho no desempenho animal.

A fração FDN da cana-de-açúcar não foi alterada em razão da adição da cal virgem ($P > 0,05$),

notando-se teores de 43,0 e 41,5% quando permaneceu *in natura* e hidrolisada a 2,0%, respectivamente (Tabela 1). Segundo Jackson (1977), o efeito dos produtos alcalinos normalmente ocorre pela solubilização parcial da hemicelulose 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 hemicelulose não foi suficiente para reduzir marcadamente o teor de FDN neste trabalho. Este fato está relacionado ao nível de cal empregada no processo hidrolítico, teor de óxido de cálcio, assim como o tempo de contato entre cana e cal para que ocorra devida redução no teor de fibras.

Salienta-se que não houve efeito da cal virgem sobre o teor de FDN pela baixa porcentagem de óxido de cálcio (64,0%) presente na cal virgem utilizada nesta pesquisa, sendo que este fator está intimamente associado ao sucesso do processo hidrolítico, portanto, possivelmente ter-se-ia maior sucesso com teor de óxido de cálcio mais elevado. Pinto et al. (2007) relataram acréscimo nos percentuais de celulose ao compararem a cana-de-açúcar no estado *in natura* e processada com 6,0% de NaOH (28,97 e 32,59%).

O teor de FDN aumentou ($P < 0,01$) 0,16 pontos percentuais por hora de repouso ($Y = 39,301 + 0,169x$; $r^2 = 98,50\%$), obtendo-se variação de 39,30 a 47,42%, teores estes registrados no tempo 0 e após 48 horas de repouso (Tabela 1). Este aumento percentual ocorreu em virtude da maior intensidade e, em menor tempo, da atividade de leveduras e fungos filamentosos (AMARAL, et al, 2009) que possivelmente consumiram os carboidratos solúveis presentes na cana-de-açúcar.

Procedendo-se ao desdobramento da interação entre doses de cal e tempo de repouso ($P < 0,05$), foi relatado acréscimo no teor de FDN da cana-de-açúcar *in natura* em 0,11 unidades percentuais por hora. Já as massas hidrolisadas apresentaram menor teor de FDN no momento da hidrólise, todavia, o aumento verificado no tempo foi mais acentuado do que o verificado no tratamento *in natura*. Quando as massas foram hidrolisadas com 0,5; 1,0 e 2,0% de cal virgem, a cana-de-açúcar teve acréscimo de 0,21; 0,18 e 0,15 unidades percentuais por hora no teor de FDN, respectivamente (Figura 5).

A possível explicação para este fato foi que a hidrólise da cana-de-açúcar favoreceu o ataque de microrganismos sobre a fração solúvel e em menor escala, as frações de maior digestibilidade presentes no arranjo estrutural da parede celular, como pectinas, fazendo com que refletisse percentualmente no acréscimo da fibra. De acordo com Van Soest (1994), o aumento da disponibilidade de nutrientes ocorre pela quebra entre as ligações lignina e carboidratos da parede celular, resultando na liberação de açúcares solúveis por meio da ação da cal virgem, no entanto, a atuação de microrganismos oportunistas fez com que este efeito não fosse notado neste traba-

lho.

Embora não tenha ocorrido efeito marcante da cal sobre os teores de FDN, notou-se redução da fração FDA ($P < 0,05$) quando adicionado 0,5 e 2,0% de cal virgem à cana-de-açúcar (23,17 e 23,26%), refletindo em reduções de 6,76 e 6,40% em relação ao tratamento controle (24,86%) (Tabela 1). A redução da fração FDA ocorreu principalmente em função da expansão da celulose, que torna a fração fibrosa de melhor qualidade (KLOPFENSTEIN; KRAUS, 1972), e por conseguinte pode afetar positivamente o desempenho animal. Ribeiro et al. (2009a) verificaram que o teor médio de FDA foi de 41,4% para a cana-de-açúcar sem aditivo e de 34,3 e 33,5% para a cana-de-açúcar hidrolisada com 2,25% de NaOH e CaO, respectivamente, o que indica redução de 17,1 e 19,1%.

Como esperado, a fração FDA aumentou 0,10 unidades percentuais ($P < 0,01$) por hora de repouso, obtendo-se amplitude de valores de 22,0 a 26,88%, registrados no momento da mistura “cana-cal” e após 48 horas de exposição aeróbia. Resultados semelhantes foram reportados por Mota et al. (2010), que notaram acréscimo de 2,6 pontos percentuais no teor de FDA após 36 horas de estocagem em comparação a 12 horas (17,60%).

Ao desdobrar tempo dentro de dose, verificou-se acréscimo ($P < 0,05$) de 0,10; 0,18 e 0,10 pontos percentuais no teor de FDA por hora de exposição aeróbia quando adicionado 0,5; 1,0 e 2,0% de cal virgem à cana-de-açúcar, respectivamente (Figura 6).

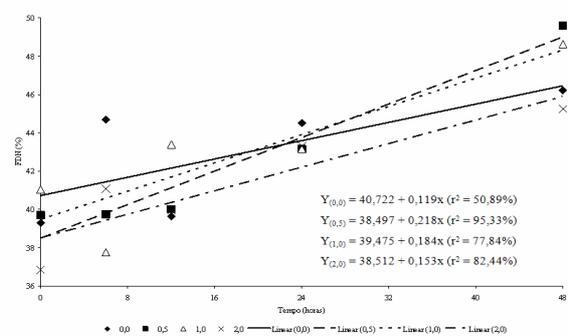


Figura 5. Desdobramento da interação entre tempo de repouso e doses de cal para o teor de FDN da cana-de-açúcar *in natura* e hidrolisa.

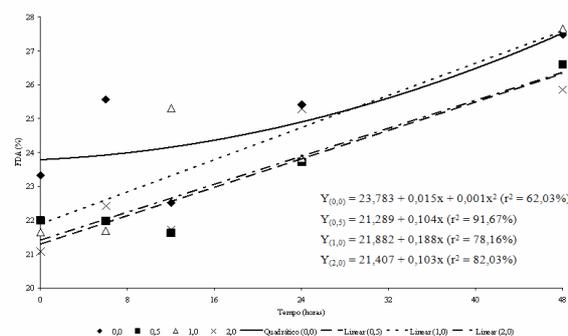


Figura 6. Desdobramento da interação entre tempo de repouso e doses de cal para o teor de FDA da cana-de-açúcar *in natura* e hidrolisa.

Neste trabalho não foi verificado efeito da cal sobre a expansão da celulose, portanto, era de se esperar que não houvesse queda da variável FDA ao longo do tempo. Outro fator relacionado ao acréscimo da FDA, possivelmente foi a atuação de microrganismos indesejáveis sobre a fração solúvel presente na cana-de-açúcar, refletindo percentualmente no acréscimo da FDA no decorrer do tempo. No entanto, estes resultados corroboram Mota et al. (2010), que avaliando a hidrólise da cana-de-açúcar pela utilização de cal virgem ou cal hidratada, verificaram acréscimo da celulose ao longo do tempo, passando de 13,11 para 15,77% em 12 e 36 horas de repouso, respectivamente.

Segundo Oliveira et al. (2008a), o poder hidrolítico está diretamente relacionado ao teor de óxido de cálcio e óxido de magnésio presentes na cal, e nesta pesquisa estes percentuais foram respectivamente de 64,0 e 1,5%. Domingues et al. (2007) observaram que a fração FDA da cana-de-açúcar aumentou no decorrer dos dias avaliados, variando de 20,5% no momento da mistura entre cana-de-açúcar e cal virgem microprocessada para 24,2% após 96 horas.

A fração lignina não foi alterada pela inclusão de cal ($P > 0,05$), corroborando com a hipótese de que o uso de álcalis no processamento da cana-de-açúcar não altera os teores de lignina, por não ocorrer efeito químico da cal sobre esta fração (KLOPFENSTEIN, 1980). No entanto, a fração lignina aumentou 0,05 unidades percentuais por hora de repouso ($P < 0,01$), resultando na amplitude de valores de 3,66 e 6,18% no momento da mistura “cana-cal” e após 48 horas, respectivamente (Tabela 1).

Ao desdobrar tempo dentro de dose, notou-se grande variação da fração lignina ($P < 0,01$) na cana-de-açúcar hidrolisa com 1,0% de cal virgem, com maiores teores após 24 horas de exposição aeróbia (Figura 7).

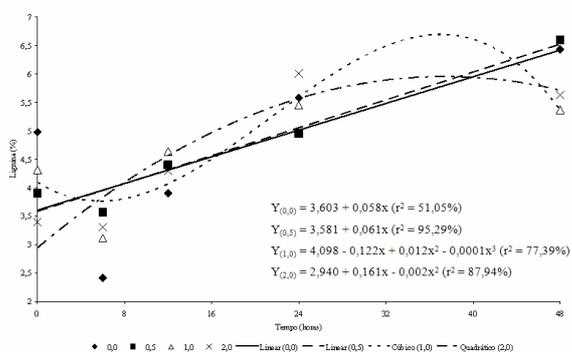


Figura 7. Desdobramento da interação entre tempo de repouso e doses de cal para o teor de lignina da cana-de-

açúcar *in natura* e tratada com 0,5% de cal, apresentaram acréscimo em 0,05 e 0,06 pontos percentuais no teor de lignina por hora, e para adição de 2,0%, notou-se queda desta fração após 24 horas de repouso (Figura 7). Mota et al. (2010) não

verificaram efeito das doses e tempo sobre a fração lignina.

Não houve efeito da hidrólise da cana-de-açúcar sobre o NDT ($P > 0,05$), restando a expectativa de manter em níveis próximos a digestibilidade da cana-de-açúcar *in natura* e hidrolisada. Este resultado corrobora Oliveira et al. (2008b), que ao avaliarem a inclusão de cal hidratada sobre a composição químico-bromatológica da cana-de-açúcar não notaram efeito do aditivo sobre o teor de NDT.

Contudo, o teor de NDT diminuiu 0,11 unidades percentuais por hora ($P < 0,01$), o que refletiu a atuação dos microrganismos sobre os açúcares solúveis presentes na cana-de-açúcar, obtendo desta forma amplitude de valores de 66,23 a 60,87% nos tempos 0 e 48 horas, respectivamente (Tabela 1).

Com o desmembramento de tempo dentro de doses, foi notado que em todos os tratamentos houve queda ($P < 0,05$) linear no teor de NDT (Figura 8).

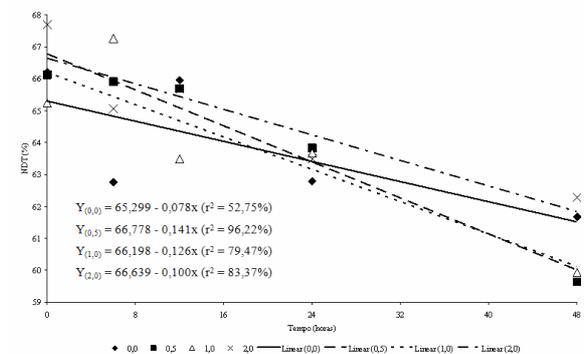


Figura 8. Desdobramento da interação entre tempo de repouso e doses de cal para o teor de NDT da cana-de-açúcar *in natura* e hidrolisa.

Conforme apresentado na figura acima, os tratamentos apresentaram queda ao longo do tempo em menor (*in natura*) ou maior (0,5% de cal) escala, refletindo o efeito da atuação dos microrganismos sobre o consumo de açúcares solúveis, conforme relatado por Amaral et al. (2009) e Mota et al. (2010).

CONCLUSÕES

A utilização de cal virgem na hidrólise da cana-de-açúcar altera a composição químico-bromatológica, contudo, o seu uso não é justificado, pois não há efeito positivo sobre o teor de fibras. A cana-de-açúcar *in natura* e hidrolisada apresentam melhor composição imediatamente após a desintegração.

REFERÊNCIAS

AMARAL, R. C. et al. Cana-de-açúcar *in natura* ou ensilada com e sem aditivos químicos: estabilidade

- aeróbia dos volumosos e das rações. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, n. 10, p. 1857-1864, 2009.
- ANDRADE, J. B.; FERRARI JÚNIOR, E.; BRAUN, G. Valor nutritivo de cana-de-açúcar tratada com hidróxido de sódio e acrescida de rolão-de-milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 10, p. 1265-1268, 2001.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 11. ed. Washington, DC: AOAC International, 1970. 1015 p.
- CAPPELLE, E. R. et al. Estimativas no valor energético a partir de características químicas e bromatológicas dos alimentos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 30, n. 6, p. 1837-1856, 2001.
- CASTRO NETO, A. G. et al. Parâmetros de fermentação de silagens de cana-de-açúcar submetidas a diferentes tratamentos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 60, n. 5, p. 1150-1156, 2008.
- CORREA, C. E. S. et al. Performance of Holstein cows fed sugarcane or corn silages of different grain textures. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 4, p. 621-529, 2003.
- EZEQUIEL, J. M. B. et al. 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.
- FERNANDES, A. M. et al. Estimativas da produção de leite por vacas holandesas mestiças, segundo o sistema CNCPS, em dietas contendo cana-de-açúcar com diferentes valores nutritivos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 30, n. 4, p. 1350-1357, 2001.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Científica Symposium**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 36-41, 2008.
- FREITAS, A. W. P. et al. Consumo de nutrientes e desempenho de ovinos alimentados com dietas à base de cana-de-açúcar hidrolisada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 11, p. 1569-1574, 2008.
- GOERING, H. K.; VAN SOEST, P. J. **Forage fiber analysis** (Apparatus, reagents, procedures and some applications). Washington, DC: USDA, 1970. (Agricultural Handbook, 379).
- JACKSON, M. G. Review article: the alkali treatment of straws. **Animal Feed Science and Technology**, v. 2, n. 2, p. 105-130, 1977.
- KLOPFENSTEIN, T. J. **Increasing the nutritive value of crop residues by chemical treatments**. In: UPGRADING RESIDUES AND PRODUCTS FOR ANIMALS. Boca Raton: Ed. CRC Press, 1980, p. 40-60.
- KLOPFENSTEIN, T. J.; KRAUS, M. J. Chemical treatment of low quality roughages. **Journal of Animal Sciences**, v. 35, p. 418-422, 1972.
- MORAES, K. A. K. et al. Parâmetros nutricionais de novilhas de corte alimentadas com cana-de-açúcar tratada com óxido de cálcio e diferentes níveis de concentrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 37, n. 7, p. 1301-1310, 2008.
- MOTA, D. A. et al. Hidrólise da cana-de-açúcar com cal virgem ou cal hidratada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 39, n. 6, p. 1186-1190, 2010.
- OLIVEIRA, M. D. S. et al. Efeito da hidrólise com NaOH sobre a digestibilidade *in vitro* da matéria seca da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Ars Veterinaria**, Jaboticabal, v. 18, n. 2, p. 167-173, 2002.
- 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.
- PEDROSO, A. F. et al. Fermentation and epiphytic microflora dynamics in sugar cane silage. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 5, p. 427-432, 2005.
- PEDROSO, A. F. et al. 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, v. 36, n. 3, p. 558-564, 2007.
- PINTO, A. P. et al. 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.
- RANGEL, A. H. N. et al. Alimentação de novilhas com silagem de milho ou cana-de-açúcar corrigida com uréia - análise econômica. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 2, p. 68-72, 2008a.

RANGEL, A. H. N. et al. Produção, composição do leite e concentração de nitrogênio uréico no soro de vacas alimentadas com cana-de-açúcar corrigida. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 4, p. 06-11, 2008b.

RIBEIRO, L. S. O. et al. Valor nutritivo da cana-de-açúcar hidrolisada com hidróxido de sódio ou óxido de cálcio. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 61, n. 5, p. 1156-1164, 2009a.

RIBEIRO, L. S. O. et al. Degradabilidade da matéria seca e da fração fibrosa da cana-de-açúcar tratada com hidróxido de sódio ou óxido de cálcio. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 10, n. 3, p. 573-585, 2009b.

SANTOS, J. et al. Efeito dos tratamentos físicos e químicos no resíduo de lixadeira do algodão. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 4, p. 919-923, 2004.

SIQUEIRA, G. R.; BERNARDES, T. F.; REIS, R. A. Instabilidade aeróbia de silagens: efeitos e possibilidades de prevenção. In: REIS, R. A. et al. (Ed.) **Volumosos na produção de ruminantes**. Jaboticabal: Funep, 2005. p. 25-60.

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