

Tratamento do bagaço de cana-de-açúcar para alimentação de ruminantes

Missio, R.L.

Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco. PR. Brasil.

RESUMO

PALAVRAS CHAVE ADICIONAIS

Bagaço hidrolisado.
Composição bromatológica.
Desempenho animal.

Objetivou-se revisar o conhecimento sobre o tratamento do bagaço de cana-de-açúcar para a alimentação de ruminantes. A produção de bagaço *in natura* de cana-de-açúcar no Brasil é de aproximadamente 192,63 milhões de toneladas, representando uma fonte de alimento abundante para a alimentação animal. Este alimento é caracterizado como uma fonte de fibra íntegra, composto basicamente pelos componentes da parede celular (hemicelulose, celulose e lignina), sendo de baixo aproveitamento pelos ruminantes. Apesar disso, o bagaço *in natura* pode ser amplamente utilizado em dietas com elevada proporção de concentrado para ruminantes, compondo entre 10 e 20% da matéria seca das dietas, sem grandes prejuízos sobre o desempenho animal. O tratamento por vapor e pressão reduz componentes da parede celular, aumentando a digestibilidade do bagaço da cana-de-açúcar. No entanto, este tratamento reduz o pH do bagaço, o que exige a utilização de tamponantes nas dietas para impedir a redução da digestibilidade da fibra. Em virtude do baixo estímulo à ruminação, o bagaço tratado por pressão e vapor deve ser utilizado juntamente com uma fonte de fibra íntegra o que possibilita o aumento da utilização do bagaço da cana-de-açúcar na dieta. Os tratamentos químicos com hidróxido de sódio, óxido de cálcio ou hidróxido de cálcio apresenta similar modo de ação, que culmina na redução da fibra em detergente neutro do bagaço da cana-de-açúcar. Apesar de mais eficiente, o tratamento com hidróxido de sódio é de difícil manipulação e pode gerar danos ao meio ambiente. A utilização de cales microprocessadas é de mais fácil manipulação e menos danosas ao meio ambiente. O tratamento com produtos alcalinos reduz o custo em relação ao tratamento com pressão e vapor. O tratamento com amônia anidra e uréia melhora o valor nutritivo pelo enriquecimento do bagaço com nitrogênio não proteico. Os tratamentos biológicos possibilitam a deslignificação do bagaço da cana-de-açúcar, aumentando a digestibilidade e o conteúdo proteico. Apesar disso, estes tratamentos não foram adaptados às condições de campo, o que dificulta sua utilização. O uso do bagaço da cana-de-açúcar na alimentação de ruminantes, independente do tratamento utilizado antes de seu fornecimento (físico, químico ou biológico), deve estar associado à quantidade de concentrado que possibilite a complementação dos nutrientes da dieta e o atendimento das exigências nutricionais dos animais.

Treatment of sugarcane bagasse for ruminant feed

SUMMARY

The objective was to review the existing knowledge about the treatment of sugarcane bagasse for ruminants feed. The production of sugarcane bagasse in Brazil is approximately 192.63 million of tons, representing a source of abundant food for animal feed. This food is characterized because of being a source of effective fiber, mainly composed of the cell wall components (hemicellulose, cellulose and lignin), of low utilization by ruminants. Nevertheless, the sugarcane pulp can be widely used in diets with high concentrate for beef cattle, comprising from 10 to 20% of the dry matter from diets, without great losses on animal performance. Treatment by pressure steam reduces cell wall components, increasing the digestibility of sugarcane bagasse. However, this treatment reduces the pH of the sugarcane bagasse, which requires the use of the buffering in the diets to avoid reducing the digestibility of the fiber. Because of its low stimulating rumination, the sugarcane bagasse treated with steam and pressure must be used along with an effective fiber source, which enables an increased use of sugarcane bagasse in the diet. The chemical treatment with sodium hydroxide, oxide or calcium hydroxide has similar mode of action, culminating in the reduction of neutral detergent fiber of sugarcane bagasse. Although more efficient, the treatment with sodium hydroxide is difficult to handle and can cause environmental damage. The use of microprocessor limes is easier to handle and less harmful for the environment. Treatment with alkaline products reduces the cost compared to treatment with pressure and steam. Treatment with anhydrous ammonia and urea improves the nutritive value of sugarcane bagasse for providing non-protein nitrogen, mainly. The delignification by biological treatments increases the digestibility and protein content of the sugarcane bagasse. However, these treatments have not been adapted to field conditions, which hinders their use. The use of bagasse from sugarcane for ruminant feed, regardless of the treatment used (physical, chemical or biological), must be linked to the amount of additional feed concentrate, enabling the completion of dietary nutrients and meeting the nutritional requirements of the animals.

ADDITIONAL KEYWORDS

Hydrolyzed bagasse.
Chemical composition.
Animal performance.

INFORMACIÓN

Cronología del artículo.
Recibido/Received: 02.03.2015
Aceptado/Accepted: 12.02.2016
On-line: 11.06.2016
Correspondencia a los autores/Contact e-mail:
regisluismissio@gmail.com

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar foi introduzida no Brasil em 1532 e sempre teve importância destacada na economia brasileira (Conab, 2015). A partir do programa Proálcool, na década de 70, a cultura da cana-de-açúcar recebeu atenção especial, avançando em tecnologias e lançamento de variedades com grande potencial de produção de biomassa e açúcar, observando-se difusão desta cultura para regiões tradicionais na produção de grãos e pecuária, viabilizando sua utilização como forragem na alimentação de ruminantes. De forma geral, o calendário de colheita da cana-de-açúcar coincide com o período de escassez de forragem no Brasil, o que beneficia sua utilização para a alimentação animal, bem como de seus subprodutos. Segundo a Conab (2015), o país apresenta dois calendários de colheita, um para a região nordeste (setembro a abril) e outro para o restante do país (maio a novembro).

O Brasil não é só o maior produtor de cana-de-açúcar, seguido por Índia e China, mas também o maior produtor de açúcar e etanol de cana-de-açúcar. A produção nacional de cana-de-açúcar na safra 2013/14 foi de 658,8 milhões de toneladas (Conab, 2015). Deste total, estima-se que 10% seja destinada diretamente para a alimentação animal (Landell *et al.*, 2002), o que representa aproximadamente 65,88 milhões de toneladas de massa verde. No entanto, no que tange a alimentação de ruminantes, deve-se considerar também a possibilidade de utilização dos subprodutos provenientes do processamento da cana-de-açúcar. Segundo Ezequiel *et al.* (2006), nas regiões sucroalcooleiras, notadamente no sudeste do Brasil, determinados subprodutos como o bagaço de cana-de-açúcar pode se acumular nas usinas com o término da safra e apresentar preços vantajosos, despertando interesse de pecuaristas pela oportunidade de redução do custo com alimentação e possibilidade de aumento da rentabilidade do sistema de produção.

O bagaço da cana-de-açúcar é o principal subproduto da indústria da cana-de-açúcar (Panday *et al.*, 2000). Considerando a quantidade de cana-de-açúcar destinada para a produção de açúcar e etanol (642,09 milhões de toneladas) e o rendimento de bagaço de 30%/tonelada de cana-de-açúcar (Schlittler, 2006), estima-se que a produção para a safra 2014/15 seja em torno de 192,63 milhões de toneladas de bagaço de cana-de-açúcar. Além do aspecto custo, a utilização deste subproduto para a alimentação de ruminantes atende as atuais demandas de mercado na medida em que proporciona adequado destino aos materiais remanescentes da indústria, deixando de serem poluentes ao meio ambiente. Por outro lado, sua utilização permite a intensificação do sistema de produção de ruminantes, aumentando a produtividade e diminuindo a pressão para aumento de áreas de pastagens. No entanto, o bagaço a cana-de-açúcar é considerado como de baixo valor nutritivo (Soares *et al.*, 2015), o que limita sua utilização na alimentação animal.

Considerando o exposto, a presente revisão objetivou revisar o conhecimento sobre o tratamento do bagaço de cana-de-açúcar para a alimentação de ruminantes.

Tabela I. Composição nutricional do bagaço *in natura* obtido pelo método convencional (Nutritional composition of *in natura* sugarcane bagasse obtained by the conventional method).

Autores	Características nutricionais, % da matéria seca								
	MS	MO	PB	EE	FDN	FDA	LDA	NDT	DIVMS
Carvalho <i>et al.</i> (2006)	40,1	—	2,3	—	59,0	38,3	7,3	—	32,9
Carvalho <i>et al.</i> (2009)	41,7	—	2,4	—	63,3	54,8	6,5	—	50,3
Ezequiel <i>et al.</i> (2006)	91,9	97,3	1,2	—	90,5	64,4	—	—	49,2
Manzano <i>et al.</i> (2000)	42,0	—	0,8	—	88,3	54,4	12,6	—	32,4
Rodrigues e Peixoto (1993)	15,6	—	2,6	—	75,6	52,9	8,5	—	—
Pires <i>et al.</i> (2004)	50,0	—	1,8	—	94,3	62,7	16,5	—	31,8
Pires <i>et al.</i> (2006)	58,4	—	—	—	97,4	81,1	15,5	—	25,7
Valadares Filho <i>et al.</i> (2006)	48,2	92,6	1,8	0,9	89,1	61,2	13,4	43,52	33,0

MS= matéria seca; MO= matéria orgânica; PB= proteína bruta; EE= extrato etéreo; FDN= fibra em detergente neutro; FDA= fibra em detergente ácido; LDA= lignina; NDT= nutrientes digestíveis totais; DIVMS= digestibilidade *in vitro* da matéria seca.

DESENVOLVIMENTO

BAGAÇO *IN NATURA*

O bagaço *in natura* é obtido após a moagem da cana-de-açúcar e extração dos açúcares (principalmente sacarose), tendo como resultado um resíduo rico em parede celular com reduzida digestibilidade, proteína bruta, carboidratos de reserva e energia (**tabela I**). A partir desta tabela verifica-se que o bagaço *in natura* não apresenta potencial nutritivo para ser utilizado em grandes proporções na dieta de ruminantes quando se visa desempenho animal de moderado a alto. O baixo valor nutritivo do bagaço de cana-de-açúcar pode ser atribuído à composição químico-bromatológica da cana-de-açúcar, diferenças nutricionais entre as variedades de cana-de-açúcar, condições climáticas, manejo e condições de cultivo, idade e número de cortes da cana-de-açúcar, e com as etapas que envolvem o processamento da cana-de-açúcar junto à indústria.

A extração dos açúcares da cana-de-açúcar é realizada por meio de moendas ou difusores. No método de moendas, a extração dos açúcares é realizada pela passagem da cana-de-açúcar entre dois rolos, resultando em uma porção de volume de caldo e outra de bagaço. Já no método de difusão, segundo Bastos Neto (2007), aproveitam-se etapas do método convencional, sendo a extração da sacarose realizada por um processo de lavagem repetitiva utilizando água. A utilização de moendas proporciona extração de 90% a 93% do total de açúcares, enquanto a utilização de difusores extrai entre 96% a 98% do total de sacarose (Delgado *et al.*, 1975). Como resultado destes processos, o bagaço produzido é de reduzida densidade (**tabela I**), o que pode determinar restrições de ordem logística (transporte) e de custo, sendo sua utilização na alimentação animal

Tabela II. Aspectos da terminação de novilhos não castrados em confinamento com silagem de milho e bagaço *in natura* associados ao grão de milho seco ou úmido (Aspects of termination of steers not castrated feedlot with corn silage and *in natura* sugarcane bagasse associated with the dry corn or wet).

Variáveis	Dietsas			
	Si-MS	Si-MU	BIN-MS	BIN-MU
Peso final, kg	450 ^a	447 ^a	436 ^b	423 ^b
Consumo de matéria seca, % do PC	2,20	2,27	2,14	2,23
Ganho de peso, kg/dia	1,54 ^a	1,46 ^a	1,35 ^b	1,26 ^b
Eficiência alimentar, kg ganho/kg de MS ingerida	0,19 ^a	0,18 ^a	0,17 ^b	0,16 ^b
Peso da carcaça quente, kg	256,0 ^a	257,6 ^a	242,3 ^b	231,3 ^b
Rendimento de carcaça, %	56,88 ^a	57,63 ^a	55,57 ^b	54,69 ^b
Espessura de gordura, mm	7,83 ^a	8,36 ^a	7,28 ^b	5,57 ^b

Adaptado de: Enrique *et al.* (2007); Si= silagem de milho (20% da matéria seca); MS= milho seco; MU= milho úmido; BIN= bagaço *in natura* de cana-de-açúcar (12% da MS); MS= matéria seca; PC= peso corporal. Médias seguidas de letras diferentes na linha demonstram efeito significativo dos volumosos.

facilitada em regiões próximas às indústrias sucroalcoleiras.

A utilização do bagaço *in natura* na dieta de bovinos foi avaliada por Rabelo *et al.* (2008), que avaliaram dietas com bagaço tratado por pressão e vapor associado ao bagaço *in natura* (5% da matéria seca da dieta) obtido pelo método convencional e, três níveis de bagaço *in natura* (5, 10 e 15% da matéria seca da dieta) obtido pelo método de difusão. Estes pesquisadores verificaram que o bagaço *in natura* obtido pelo método convencional proporcionou às dietas menor teor de fibra em detergente neutro e maior teor de proteína bruta, resultando em maior consumo de nutrientes em relação às dietas contendo bagaço *in natura* obtido pelo método de difusão. Apesar disso, não foi verificada diferença para a digestibilidade aparente das dietas e desempenho produtivo dos animais alimentados com o bagaço *in natura* obtido pelos dois processos de extração de açúcar da cana-de-açúcar. Vale lembrar que o bagaço de cana-de-açúcar pode ser definido como fonte de fibra íntegra, já que, de forma geral, é composto basicamente por componentes da parede celular. Segundo Karp *et al.* (2013) o bagaço de cana de açúcar apresenta em torno de 32-44% de celulose, 27-32% de hemicelulose e 19-24% de lignina. Na prática, esta característica se torna importante para formulação de dietas com elevadas proporções de concentrado. O grande mérito da utilização do bagaço *in natura* da cana-de-açúcar neste tipo de dieta é incentivar a atividade de ruminação (Mendes *et al.*, 2010) e, por consequência, manter condições favoráveis do ambiente ruminal para digestão dos alimentos (Bulle *et al.*, 2002).

Levando em consideração as características nutricionais do bagaço *in natura*, deve-se ficar claro que sua utilização não deve ser encarada como opção para substituição integral de volumosos tradicionais como a silagem de milho ou sorgo. A inclusão deste subproduto em dietas para ruminantes deve ser encarada

como alternativa para redução de custos, através da substituição parcial destes volumosos em dietas com baixas proporções de concentrado e/ou como fonte de fibra de baixo custo em dietas com elevados teores de grãos para o período de terminação. Na **tabela II** são apresentados os resultados obtidos por Henrique *et al.* (2007), que verificaram que este subproduto pode contribuir com elevado desempenho de tourinhos quando utilizado em pequenas quantidades na dieta. A inviabilidade do uso do bagaço *in natura* da cana-de-açúcar em elevadas proporções em dietas para ruminantes ocorre em razão de seu alto teor em fibra, baixo teor de proteína (inferior a 2% na matéria seca) e alto teor de lignina, que determinam baixa digestibilidade (25 a 35%), associados a outros fatores não menos importantes como a baixa densidade e os baixos teores de minerais, que levam a redução do consumo e desempenho animal (Torres *et al.*, 2003; Soares *et al.*, 2015). No que se refere ao nível de inclusão do bagaço *in natura* na dieta de bovinos, Leme *et al.* (2003) verificaram que o aumento do nível (15, 21 e 27% da matéria seca) de bagaço *in natura* na dieta novilhos reduziu o consumo de matéria seca, mas não alterou o desempenho animal. Valadares Filho *et al.* (2006) verificaram, a partir de uma meta-análise, que a estimativa máxima do consumo de matéria seca ocorreu para dietas com 19% de bagaço (base na matéria seca), enquanto o desempenho animal máximo ocorreu em dietas com 17% de bagaço (base na matéria seca). Segundo estes pesquisadores, em dietas com baixos níveis de bagaço *in natura*, ou seja, altos níveis de concentrado, o excesso de energia limita o consumo de alimento e o desempenho animal. A partir dos resultados apresentados é possível inferir que o bagaço *in natura* da cana-de-açúcar se apresenta como excelente fonte de fibra para dietas com elevada proporção de concentrado, podendo compor entre 10 e 20% da matéria seca das dietas sem grandes prejuízos sobre o desempenho animal.

BAGAÇO HIDROLISADO

Em razão das características intrínsecas relacionadas ao elevado teor de componentes lignocelulósicos e seus efeitos sobre a digestibilidade, consumo de matéria seca e desempenho animal, o bagaço *in natura* tem sido fonte de diversos estudos para melhoria de sua qualidade através do tratamento físico ou químico (Rabelo *et al.*, 2008; Ahmed *et al.*, 2013; Ahmadi *et al.*, 2015). Estes tratamentos visam diminuir os efeitos prejudiciais da lignina sobre a degradação ruminal de compostos celulósicos através da ruptura das complexas ligações químicas da lignina com a celulose e hemicelulose, possibilitando, dessa forma, adesão e colonização microbiana, aumentando a degradação ruminal através da hidrólise dos carboidratos pelas enzimas fibrolíticas (Van Soest, 1994).

HIDROLISE POR PRESSÃO E VAPOR

A hidrólise do bagaço da cana-de-açúcar por pressão e vapor consiste em submeter este subproduto a um tratamento com alta pressão de vapor por um período de tempo pré-determinado antes do fornecimento aos animais. O tratamento do bagaço por pressão de vapor é um processo físico-químico, que se convencionou chamar de auto-hidrólise.

Tabela III. Características do bagaço auto-hidrolisado e *in natura* conforme diferentes estudos (Characteristics of *in natura* sugarcane bagasse hydrolyzed and sugarcane bagasse fresh in different studies).

Itens (% da matéria seca)	Autores			
	Manzano <i>et al.</i> (2000)		Burgi (1985)	Nussio e Balsalobre (1993)
	BIN	BAH	BIN	BAH
Matéria seca, %	—	—	43,2-48,2	40,3
Matéria mineral	1,4	1,4	2,7	4,8
Proteína bruta	0,8	0,8	1,9	1,7
Extrato etéreo	0,6	0,8	2,3	4,9
Fibra em detergente neutro	88,3 ^a	61,3 ^b	85,2-94,8	58,2
Fibra em detergente ácido	54,4	51,8	62,3-63,4	62,6
Celulose	47,1	41,2	44,7	44,0
Hemicelulose	34,0 ^a	9,4 ^b	22,9	—
Lignina	12,6	10,6	14,9	15,1
DIVMS	—	—	33,0	64,8
pH	—	—	5,5	3,0
Densidade, kg/m ³	—	—	100-150	300-400

BIN= bagaço *in natura*; BAH= bagaço auto-hidrolisado (17 kg/cm² e 5 min); DIVMS= digestibilidade *in vitro* da matéria seca. Médias seguidas de letras distintas diferem estatisticamente.

No tratamento do bagaço por vapor de pressão três variáveis são manipuladas: pressão, temperatura e tempo de tratamento. Destas, a pressão de vapor é a variável mais importante, em que o aumento desta característica, dentro de certos limites, eleva a digestibilidade do bagaço da cana-de-açúcar (Rabelo, 2002). Nesse processo, a hemicelulose é quase totalmente solubilizada, pelo rompimento das ligações tipo éster com a lignina, em que a liberação dos resíduos de ácido acético (originados durante o processamento) favorece a hidrólise ácida. Concomitantemente, ocorre hidrólise da parte mais amorfa da celulose, produzindo açúcares redutores. A lignina é parcialmente degradada aumentando a liberação de compostos fenólicos e furfural. Num segundo momento, a descompressão rápida vaporiza a água, mesmo dentro da fibra, promovendo dilatação e o afrouxamento da estrutura fibrosa da parede celular, tornando a fibra permeável e susceptível à degradação pelos microrganismos do rúmen (Nussio e Balsalobre, 1993; Castañón-Rodríguez *et al.*, 2015). O tratamento não pode ser drástico a ponto de se produzir, por reações secundárias, quantidades de furfural e compostos fenólicos que inibam a microflora do rúmen. A descompressão no processo de hidrólise por pressão de vapor não altera a eficiência alimentar de ruminantes, sendo a descompressão rápida alternativa para economia de energia (Lanna *et al.*, 1998).

O tratamento do bagaço da cana-de-açúcar por vapor de pressão reduz componentes da parede celular, aumentando a digestibilidade deste subproduto (tabela III). Além disso, observa-se que o bagaço tratado por vapor de pressão apresenta maior densidade e menor pH em relação ao bagaço *in natura*. Esta maior densidade pode ser importante em razão de melhorar as condições de transporte, viabilizando sua utilização

em regiões mais afastadas do setor industrial, e por reduzir a capacidade de enchimento do reticulorúmen, podendo ser incluído em maiores quantidades na dieta. O menor pH do bagaço tratado por pressão e vapor em relação ao bagaço *in natura*, por outro lado, pode influenciar negativamente o pH ruminal, prejudicando a digestão da fibra.

O menor pH ruminal associado ao reduzido tamanho de partículas, neste contexto, pode determinar baixo estímulo à ruminação, menor tempo de permanência da fibra no rúmen, podendo gerar problemas metabólicos e prejudicar o desempenho produtivo de ruminantes (Lanna *et al.*, 1999). A diminuição da granulometria do bagaço tratado por pressão e vapor pode alterar o trânsito deste alimento pelo trato digestivo, inibindo a formação de um emaranhado de fibras característico de dietas com fibra longa (Bulle, 2000). A falta desta camada, responsável pela retenção de partículas pequenas de baixa digestibilidade, leva as partículas sólidas a deixar o rúmen mais rapidamente, sendo menos digeridas (Van Soest, 1994). Em função disso, é possível inferir que este subproduto não seja indicado como único volumoso em dietas com elevado teor de grãos, pois o aumento da digestibilidade a partir do tratamento do bagaço por pressão e vapor pode não compensar a redução da digestão em razão do aumento da taxa de passagem. Para contornar estes problemas algumas alternativas têm sido utilizadas, tais como tamponantes químicos, ionóforos e fontes de fibra íntegra, os quais auxiliam na utilização do bagaço auto-hidrolisado pelos animais (Rabelo, 2002).

Rabelo *et al.* (2008) utilizaram o bagaço *in natura* como fonte de fibra íntegra para manutenção da atividade de ruminação em dietas com o bagaço auto-hidrolisado para bovinos de corte (tabela IV). Estes autores verificaram que baixos teores de fibra íntegra associada ao bagaço auto-hidrolisado proporcionaram valores de pH ruminal superiores a 6,2, valor conside-

Tabela IV. Variáveis relacionadas com o consumo e aspectos da digestão ruminal de bovinos alimentados com bagaço auto-hidrolisado e fonte de fibra íntegra (Variables related to consumption and aspects of ruminal digestion of cattle fed sugarcane bagasse hydrolyzed and fiber effective source).

Itens	Dietas			
	5% BINt	5% BINd	10% BINd	15% BINd
	+ 45% BTPV	+ 45% BTPV	+ 40BTPV	+ 35BTPV
Consumo da matéria seca, kg/dia	9,8a	8,6b	8,9b	7,4b
DIVMS, % da matéria seca	68,4	66,8	66,9	66,6
DIVFDN, % da matéria seca	53,6	55,1	54,9	54,2
pH	6,6	6,6	6,6	6,7
N-NH ₃ , mg/dL	14,7	14,5	14,3	16,1

Adaptado de: Rabelo *et al.* (2008); Médias seguidas de letras distintas diferem estatisticamente; BINt= bagaço *in natura* obtido pelo método tradicional; BINd= bagaço *in natura* obtido pelo método de difusão; DIVMS= digestibilidade *in vitro* da matéria seca; DIVFDN= digestibilidade *in vitro* da fibra em detergente neutro.

rado limite a partir do qual sua redução prejudica a digestão da fibra (Mertens, 1992). Além disso, os teores de nitrogênio amoniacal encontrados por estes autores foram próximos aos recomendados por Van Soest (1994), o qual propõe valores próximos a 10 mg/dL de nitrogênio amoniacal para máxima fermentação ruminal. Se considerado os valores de consumo obtidos por Rabelo *et al.* (2008) e os requerimentos de ingestão de matéria seca para bovinos de corte estimados pelo NRC (1996), o ganho de peso dos animais poderia atingir entre 700 e 950 g/dia, demonstrando a potencialidade da utilização do bagaço auto-hidrolisado associado a uma fonte de fibra como alternativa para dietas com menores proporções de concentrado.

HIDRÓLISE POR PRODUTOS ALCALINOS

A hidrólise do bagaço da cana-de-açúcar com produtos alcalinos consiste em submeter este subproduto a um tratamento com agentes alcalinizantes, que podem ser aplicados dissolvidos em água ou a seco, durante período de tempo pré-determinado antes do fornecimento aos animais. A hidrólise do bagaço por produtos alcalinos é um processo químico, convencionalmente denominado de hidrólise alcalina.

Os produtos alcalinos agem sobre a fração fibrosa dos alimentos volumosos promovendo ruptura das pontes de hidrogênio, levando à expansão das moléculas de celulose que se tornam mais susceptíveis à ação das enzimas celulolíticas. Além disso, provocam a solubilização da hemicelulose em função do rompimento das ligações do tipo éster entre a hemicelulose e a lignina, aumentando a disponibilidade de açúcares solúveis (Reis *et al.*, 1993; Van Soest, 1994; Neiva *et al.*, 1998). As ligações tipo éster entre açúcares presentes nas cadeias ramificadas de hemicelulose, pectina e ácidos precursores da lignina (ácido ferúlico e p-coumárico), são hidrolisadas por reação de saponificação. A ação dos agentes hidrolizantes proporciona ainda que ligações cruzadas entre lignina e polissacarídeos da parede celular sejam hidrolisadas resultando na liberação do carboidrato livre da lignina (Jung, 1996), além de solubilizarem parte da hemicelulose ligada à celulose. O processo de hidrólise permite a expansão das fibras e consequente hidratação destas possibilitando maior acesso ao ataque microbiano (Klopfenstein, 1978). O teor de lignina normalmente não é alterado pelo tratamento químico, mas a ação desse tratamento leva ao aumento da taxa de digestão da celulose e hemicelulose pela quebra de ligações entre essas frações (Klopfenstein, 1980; Reis *et al.*, 1993). Os microrganismos ruminais degradam hemicelulose e celulose com relativa facilidade, mas à medida que aumenta o teor de lignina ocorre complexação destes carboidratos, o que diminuiu a degradação ruminal, que pode chegar a zero, dependendo da intensidade da lignificação. Cada tipo de complexo lignocelulósico tem um grau máximo de degradação, que pode ser alterado pelo tratamento químico (Silva, 1984).

HIDRÓXIDO DE SÓDIO

O hidróxido de sódio (NaOH) apresenta maior potencial hidrolizante (base forte) em relação à outros agentes como o hidróxido de cálcio [Ca(OH)₂] e óxido de cálcio (CaO). A utilização desses agentes no trata-

Tabela V. Composição do bagaço *in natura* ou hidrolisado com hidróxido de sódio (NaOH) (Composition of *in natura* sugarcane bagasse hydrolyzed with sodium hydroxide (NaOH) or sugarcane bagasse fresh).

Itens (% da matéria seca)	BIN	BH
Matéria seca, %*	95,6	90,6
Matéria mineral*	1,7	28,0
Proteína bruta*	1,8	2,2
Fibra em detergente neutro*	64,9	47,7
Fibra em detergente ácido*	43,4	35,0
Celulose*	36,2	31,1
Hemicelulose*	21,5	12,7
Lignina*	7,2	4,0
Digestibilidade da matéria seca	42,6 ^b	73,9 ^a

Adaptado de: Gomes *et al.* (2015); *Dados não analisados estatisticamente; BIN= bagaço *in natura*; BH= bagaço hidrolisado (solução de NaOH a 50% na proporção de 80 mL para 100g de BIN); Médias seguidas de letras distintas diferem estatisticamente.

mento do bagaço *in natura* da cana-de-açúcar reduz os teores de fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido e celulose, aumentando a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (Pires *et al.*, 2006). Isso ocorre em razão da solubilização parcial da hemicelulose e expansão da celulose, o que favorece o ataque dos microrganismos do rúmen à parede celular (Van Soest, 1994; Ahmadi *et al.*, 2015).

Na **tabela V** pode-se verificar os resultados obtidos por Gomes *et al.* (2015), que avaliando a biodegradação do bagaço *in natura* e do bagaço hidrolisado com hidróxido de sódio por microrganismos ruminais de ovinos e caprinos verificaram que a digestibilidade *in vitro* aumentou 73,5% pelo tratamento alcalino. Embora os dados relacionados com a composição bromatológica não tenham sido submetidos à análise estatística, verifica-se que o conteúdo de fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido e hemicelulose foram reduzidos drasticamente pelo tratamento do bagaço com o hidróxido de sódio, o que justifica, de certa forma, o aumento da digestibilidade da matéria seca. Por outro lado, verifica-se que o conteúdo de proteína bruta não apresentou diferença numérica elevada, o que, por outro lado, foi verificado estatisticamente por Pires *et al.* (2006). Ahmadi *et al.* (2015), entretanto, verificaram que a hidrólise alcalina (hidróxido de sódio+cal virgem) provocou degradação da fração proteica, sendo o teor proteico reduzido em 28,1%, passando de 1,64% no bagaço *in natura* para 1,28% no bagaço hidrolisado.

Na **tabela VI** são apresentados os resultados obtidos por Castañón-Rodríguez *et al.* (2015), avaliando o tratamento do bagaço tratado com pressão e vapor e hidróxido de sódio. Verifica-se que a utilização do hidróxido de sódio elevou, de forma geral, a produção de glicose, o que demonstra que o tratamento alcalino melhorou o aproveitamento deste subproduto. Estes resultados demonstram também que a hidrólise alcalina pode ser combinada com o pré-tratamento com pressão e vapor. Percebe-se que os valores de glicose resultantes da combinação de ambos os tratamentos foram numericamente superiores aos valores obtidos a partir do bagaço submetido somente ao tratamento com hidróxido de sódio, o que pode estar indican-

Tabela VI. Efeito de diferentes concentrações de NaOH sobre a produção de glicose do bagaço de cana-de-açúcar submetido ao pré-tratamento ou não com vapor de pressão (Effect of different NaOH concentrations on production of glucose of sugarcane bagasse subjected to steam pressure).

Doses de NaOH (% MS)	BIN	BH
0	1,2 ^b	18,9 ^e
3	8,7 ^a	21,8 ^b
6	8,9 ^a	25,9 ^a
10	8,8 ^a	19,1 ^c

Adaptado de: Castañón-Rodríguez *et al.* (2015). BIN= bagaço in natura; BH= bagaço hidrolisado (vapor de pressão). Médias seguidas de letras distintas, na coluna, diferem estatisticamente.

do que a combinação de métodos de hidrólise pode resultar em melhores índices de deslignificação de alimentos fibrosos.

A utilização do hidróxido de sódio, entretanto, pode gerar danos ao meio ambiente (Lendowski *et al.*, 2015). Além disso, devem-se levar em consideração os perigos relacionados com acidentes de trabalho quando da utilização do hidróxido de sódio no tratamento de volumosos, pois não são incomuns relatos de intoxicação, lesões epiteliais e queimaduras químicas pelo uso deste produto (Silva, 2012). No que tange à alimentação animal, alguns cuidados devem ser tomados, dentre os quais àqueles relacionados com a quantidade de sódio na dieta, uma vez que o tratamento com doses crescentes de hidróxido de sódio pode elevar o conteúdo de sódio do bagaço da cana-de-açúcar (Pires *et al.*, 2006). Sendo assim, presume-se que o tratamento do bagaço da cana-de-açúcar com hidróxido de sódio deve estar associado ao ajuste da quantidade de NaCl da dieta. Além disso, a utilização do NaOH tem ação corrosiva sobre os equipamentos, o que pode levar ao aumento dos custos com depreciação. Os problemas relacionados à utilização do NaOH tem se pesquisado outros agentes hidrolizantes, como a cal virgem e hidratada.

CALES MICROPULVERIZADAS

As cales micropulverizadas são provenientes de rochas calcíticas, que depois de britadas, peneiradas e calcinadas em temperaturas entre 800 e 1100°C, fornecem como produto final o óxido de cálcio, também conhecido como cal virgem. A reação do óxido de cálcio com água produz o hidróxido de cálcio, uma base da família dos metais alcalinos terrosos que apresenta grau de dissociação elevado e solubilidade em água reduzida, porém superior aos produtos que lhe deram origem (Sforcini, 2014).

A ação das cales depende de vários fatores, principalmente do teor de óxido de cálcio, que deve ser superior a 90% em virtude deste componente químico ser o principal atuante sobre a parede celular das forragens (Oliveira *et al.*, 2008). Quando se utiliza cales com baixa concentração de óxido de cálcio é necessário doses maiores para hidrólise eficiente dos componentes da fibra. Neste caso, além de aspectos desfavoráveis quanto à ação do agente hidrolizante, existe possibilidade de inclusão de metais pesados e proporcionar alterações da relação cálcio e fósforo da forragem. Do-

mingues (2009) verificou presença de chumbo (Pb) na cana hidrolisada com cal virgem, o que demonstra a importância para os cuidados na formulação de dietas que contenham o bagaço hidrolisado com cales micropulverizadas.

O tempo de contato da cal com a forragem é fator determinante para o processo de hidrólise. Segundo Côrtes *et al.* (2009) o tempo mínimo de contato da cal com a cana-de-açúcar para ocorrer hidrólise é três horas. Na prática, tem se observado necessidade de tempos maiores de espera após a aplicação da cal em forragens para o fornecimento aos animais, tanto pelo aspecto da atuação da cal, como pela aceitação das forragens pelos bovinos. Nesse sentido, Domingues (2009) e Sforcini (2009) verificaram maiores benefícios da hidrólise, do ponto de vista do desempenho animal e composição química da cana-de-açúcar, em maiores tempos (entre 48 e 72 horas) após a aplicação da cal. Em estudo com o bagaço de cana-de-açúcar hidrolisado com cal virgem, Carvalho *et al.* (2009) verificaram que o aumento do tempo de tratamento de 12 ou 36 horas alterou somente sobre o teor de matéria seca. Estes resultados indicam que a ação da cal sobre os componentes da parede celular do bagaço pode levar mais tempo em relação a cana *in natura*, fato que pode estar associado ao maior conteúdo de fibra do bagaço. No entanto, é importante destacar que a umidade é fator importante para que ocorra a hidrólise, sendo necessário no processo de hidrólise de materiais com baixa umidade o umedecimento do volumoso (Rosa e Fadel, 2001), tal como no caso do bagaço de cana-de-açúcar. Segundo Moraes *et al.* (2008) os requisitos mínimos de umidade para utilização da cal em pó em volumosos é de 1,0 mol de H₂O para cada mol de CaO. Além disso, a extensão da hidrólise é influenciada pela dose de cal aplicada ao material. Nesse sentido, vários estudos têm pesquisado a melhor dosagem utilizando cana-de-açúcar (Oliveira *et al.*, 2007; Domingues, 2009; Dias, 2009). Nesses estudos tem se verificado que do ponto de vista da digestibilidade, da composição química e mineral da cana-de-açúcar hidrolisada e do desempenho animal, que as melhores doses de cal situam-se entre 0,5 e 1,0% da matéria natural. No entanto, em estudos com bagaço de cana-de-açúcar a dosagem de cal deve ser superior para que ocorram melhorias do ponto de vista da composição química do material hidrolisado (**tabela VII**).

Em estudo com ovinos Santa Inês, Murta *et al.* (2011) verificaram que o ganho médio diário aumentou linearmente com o aumento da dose de cal virgem aplicada ao bagaço de cana-de-açúcar (50% da matéria seca da dieta), resultado do aumento da digestibilidade da fibra em detergente neutro. O ganho de peso dos animais do estudo citado foi de 195; 214,5; 229,9 e 228 g/dia para as doses de 0; 0,75; 1,5 e 2,25% de cal virgem na matéria natural, respectivamente. O elevado ganho de peso dos animais do estudo de Murta *et al.* (2011) evidenciam a potencialidade da utilização do bagaço de cana-de-açúcar hidrolisado com cal, em que a utilização do bagaço hidrolisado aumentou o ganho de peso dos animais em até 15%.

AMÔNIA ANIDRA E URÉIA

A amonização consiste em realizar o pré-tratamento do bagaço com amônia anidra ou ureia antes do fornecimento aos animais. Esta técnica tem sido utilizada para melhorar o valor nutritivo de forragens em razão de ser de fácil aplicação (Cândido *et al.*, 1999; Rosa e Fadel, 2001; Carvalho *et al.*, 2006). Além disso, estes compostos não poluem o ambiente, são fontes de nitrogênio não proteico, proporcionam decréscimo no conteúdo de fibra em detergente neutro, favorecendo a solubilização parcial da hemicelulose, aumentando a digestibilidade e o consumo de alimento pelos ruminantes (Rosa e Fadel, 2001; Pires *et al.*, 2004; Carvalho *et al.*, 2006), além de atuarem no controle de fungos, beneficiando a conservação do material amonizado (Pires, 1995).

A amônia anidra (NH₃), possui elevado teor de nitrogênio (82%), sendo obtida no estado líquido em baixas temperaturas ou pressões relativamente altas. Já a uréia possui em média 44% de nitrogênio, sendo encontrada na forma sólida e necessita de umidade e presença da enzima urease para produzir 2NH₃ + CO₂, para cada molécula de ureia (Pires *et al.*, 2004). No tratamento de volumosos com uréia ocorrem dois processos dentro da massa da forragem tratada: ureólise, reação que transforma uréia em amônia, gerando efeitos nas células vegetais (Garcia e Pires, 1998). A ureólise é uma reação enzimática que requer a presença da enzima urease no meio, sendo praticamente ausente em materiais com elevado teor de matéria seca, como capins secos. De acordo com Willians *et al.* (1984), a urease produzida pelas bactérias ureolíticas, durante o tratamento de resíduos, tais como as palhadas, é suficiente em condições onde a umidade não é limitante. Somente em casos específicos de forragens muito secas, e que não possam ser umedecidas, a adição de urease seria necessária. Em estudo com bagaço de cana-de-açúcar, Cândido *et al.* (1999) verificaram que a adição de uréia não resultou em melhora do valor nutritivo do bagaço da cana-de-açúcar, fato que foi atribuído ao baixo teor de umidade (30%).

O efeito da amônia sobre a fração fibrosa das forragens é explicado por duas teorias. Na primeira, ocorre reação entre a amônia e um éster, produzindo uma amida. Neste caso, as ligações do tipo ésteres entre a hemicelulose e a lignina com grupos de carboidratos são rompidas com a consequente formação de amida (Rosa e Fadel, 2001). A segunda teoria baseia-se na característica da amônia em apresentar alta afinidade com água, resultando na formação de uma base fraca, o hidróxido de amônio (NH₄OH). Neste processo, ocorre hidrólise alcalina resultante da reação do hidróxido de amônio com as ligações ésteres entre os carboidratos estruturais (Buettner, 1978).

Avaliando o tratamento do bagaço da cana-de-açúcar com amônia anidra e sulfeto de sódio na dieta de novilhas (tabela VIII), Pires *et al.* (2004) verificaram que a adição de sulfeto de sódio (Na₂SO₃) não alterou a composição nem a digestibilidade do bagaço. Entretanto, no bagaço tratado com NH₃, verificou-se aumento da proteína bruta e digestibilidade e, redução da fibra em detergente neutro e hemicelulose, demonstrando a eficiência da NH₃ (4% na matéria seca) no tratamento do bagaço de cana-de-açúcar. Neste mesmo estudo, o bagaço de cana-de-açúcar tratado com amônia anidra proporcionou maior consumo de matéria seca e ganho de peso em relação ao fornecimento de bagaço de cana-de-açúcar sem tratamento.

A uréia é um sólido cristalino produzido a partir da amônia e dióxido de carbono, contendo aproximadamente 28% de equivalente proteico, sendo solúvel em água, formando amônia na presença de urease (Rosa e Fadel, 2001; Pires *et al.*, 2004). Seu uso é alternativa interessante, devido sua elevada disponibilidade, ser menos perigosa à intoxicação humana e por apresentar menor custo. A amonização com uréia proporciona melhoria no valor nutritivo do bagaço de cana-de-açúcar, em virtude de melhorar o teor de proteína bruta e reduzir o conteúdo de fibra em detergente neutro (tabela IX). No entanto, para que ocorram benefícios da amonização com uréia, a dose a ser utilizada no

Tabela VII. Composição do bagaço in natura ou hidrolisado de acordo com a dosagem de cal virgem (CaO) em diferentes estudos (Composition of sugarcane bagasse hydrolyzed or sugarcane bagasse fresh according to the dosage of lime (CaO) in different studies).

Frações alimentares (% da matéria seca)	Carvalho <i>et al.</i> (2009)				Murta <i>et al.</i> (2011)			
	Doses de cal (%)							
	0,0	1,25	1,5	3,75	0,0	0,75	1,5	2,25
Matéria seca (%)	41,7	42,3	42,3	43,7	92,7	92,5	92,6	92,8
Matéria mineral	—	—	—	—	1,3	3,7	4,5	7,0
Proteína bruta	2,4	2,3	2,5	2,4	1,2	1,0	1,0	0,9
Nutrientes digestíveis totais	—	—	—	—	46,7	47,1	48,7	51,1
Fibra em detergente neutro	63,3	61,6	59,7	56,6	63,8	62,3	60,3	58,8
Fibra em detergente ácido	54,8	53,3	51,5	49,2	49,4	48,6	45,7	41,6
Celulose	47,2	47,4	44,2	41,5	41,6	39,8	39,0	39,0
Hemicelulose	8,5	8,4	8,2	8,4	14,4	13,7	14,6	17,2
Lignina	7,6	5,9	7,3	6,7	11,7	11,2	11,0	10,6
Digestibilidade da matéria seca	50,1	52,6	52,4	55,4	71,8	75,2	71,7	72,9
Digestibilidade da FDN	—	—	—	—	22,1	36,7	33,4	32,3

FDN= fibra em detergente neutro.

Tabela VIII. Composição química do bagaço de cana-de-açúcar tratado ou não com amônia anidra (NH₃) e/ou sulfeto de sódio (Na₂SO₃) e desempenho animal (Chemical composition of sugarcane bagasse treated or not with anhydrous ammonia (NH₃) and/or sodium sulfide (Na₂S) and animal performance).

Composição (% da matéria seca)	Tratamento			
	Controle	Na ₂ S	NH ₃	Na ₂ S+NH ₃
Proteína bruta ¹	1,8	2,6	16,9	19,0
Fibra em detergente neutro ¹	94,7	93,4	75,8	78,7
Fibra em detergente ácido ¹	61,5	63,5	56,4	58,8
Hemicelulose ¹	33,1	29,9	19,4	19,9
Celulose ¹	44,8	44,3	40,8	42,2
Lignina ¹	15,2	17,9	13,5	14,6
Digestibilidade <i>in vitro</i> da matéria seca, % ¹	32,1	32,9	59,8	58,1
Consumo de matéria seca, % do peso vivo	1,9 ^b	2,06 ^b	2,46 ^a	2,42 ^a
Ganho de peso médio diário, kg/dia	0,7 ^b	0,7 ^b	1,0 ^a	1,0 ^a

¹Variáveis não analisadas estatisticamente (Adaptado de Pires *et al.*, 2004).

tratamento do bagaço de cana-de-açúcar deve ser no mínimo 2,62% (Carvalho *et al.*, 2006). Vale destacar que teor de proteína bruta do bagaço tratado com uréia pode reduzir com o avanço do tempo de armazenamento (Sardento *et al.*, 1999), reflexo da volatilização do nitrogênio (Pires, 1995). Para tanto é necessário que o material tratado com uréia seja fornecido num período de tempo relativamente curto (até dois dias), evitando as perdas de nitrogênio.

No que se refere ao desempenho animal, Barros *et al.* (2009) avaliaram o bagaço de cana-de-açúcar amonizado com uréia em substituição (0, 30, 70 e 100%) à silagem de sorgo na dieta de bovinos de corte confinados, onde a proporção de bagaço variou entre 49,8 e 67,6% da matéria seca da dieta. Estes autores verificaram que a utilização do bagaço de cana-de-açúcar amonizado com uréia em níveis crescentes, provocou redução do ganho de peso diário e redução quantita-

tiva e qualitativa da qualidade da carcaça. Vale destacar, no entanto, que a proporção de concentrado utilizada (1,2% do peso vivo) por estes autores não foi suficiente para ajustar os níveis de energia das dietas. Isso demonstra que a adequada utilização do bagaço amonizado com uréia deve estar associada à quantidade de concentrado capaz de atender as exigências nutricionais dos animais de acordo com o potencial de ganho e objetivos do sistema de produção.

TRATAMENTO BIOLÓGICO

O tratamento biológico de alimentos fibrosos, conhecido também como fermentação em estado sólido, consiste na decomposição de substratos sólidos por culturas conhecidas (puras ou mistas) de microrganismos, sobretudo fungos, sob condições controladas, com o objetivo de produzir um produto padronizado de alta qualidade diferente da compostagem. Este tratamento visa degradar o complexo lignocelulósico em lignina, celulose e hemicelulose, e melhorar a digestibilidade, bem como o teor proteico dos alimentos (Abdel-Aziz *et al.*, 2015). Além disso, alimentos submetidos à fermentação por fungos lignolíticos em dietas para ruminantes reduzem a emissão de gases de efeito estufa (especialmente metano) como resultado da melhor digestão e assimilação de nutrientes (Mahesh e Molhini, 2013). Entretanto, os tratamentos biológicos para melhoria do valor nutritivo de forragens ou volumosos de baixa qualidade ainda não são muito utilizados até o presente momento, mas podem vir a ser um dos mais promissores métodos no futuro. O principal entrave do tratamento biológico é encontrar microrganismos que decomponham lignina sem usar muita da hemicelulose e celulose da parede celular (Abdel-Aziz *et al.*, 2015).

Os fungos que degradam biomassas vegetais produzem um extenso conjunto de enzimas carboidratativas, que são específicas para degradar polissacarídeos das plantas. Este conjunto de enzimas difere entre as espécies fúngicas. Por exemplo, *Trichoderma reesei* tem um conjunto de enzimas altamente eficiente na degradação da celulose, enquanto as espécies de *Aspergillus* produzem muitas enzimas para degradar

Tabela IX. Composição química do bagaço de cana-de-açúcar in natura ou hidrolisado com doses crescentes de uréia de acordo com os diferentes estudos (Chemical composition of sugarcane bagasse fresh or hydrolyzed with increasing doses of urea according to the different studies).

Frações alimentares (% da matéria seca)	Sardento <i>et al.</i> (1999)					Carvalho <i>et al.</i> (2006)			
	Doses de uréia, % da matéria natural								
	0,0	2,5	5,0	7,5	10,0	0,0	2,5	5,0	7,5
Matéria seca, %	66,6	64,2	63,7	54,4	60,1	—	—	—	—
Proteína bruta	3,6	5,6	7,7	9,9	12,5	3,8	6,8	9,9	12,9
Fibra em detergente neutro	89,8	89,9	88,8	86,2	85,2	78,1	71,2	64,4	57,6
Fibra em detergente ácido	60,0	61,9	62,3	62,8	61,8	49,0	44,4	39,6	34,9
Celulose	—	—	—	—	—	39,3	36,0	32,7	29,4
Hemicelulose	29,8	28,0	26,5	23,5	23,4	29,0	36,0	32,7	29,4
NIDA	0,21	0,26	0,34	0,37	0,42	0,11	0,13	0,16	0,19
NIDN	—	—	—	—	—	0,14	0,19	0,24	0,29
Digestibilidade da matéria seca	32,9	45,5	48,6	48,4	50,6	33,0	38,2	43,5	48,8

NIDA= nitrogênio insolúvel em detergente ácido; NIDN= nitrogênio insolúvel em detergente neutro.

a pectina (Brink e Vries, 2011). Os fungos lignolíticos, capazes de colonizar diferentes resíduos e aumentar a digestibilidade dos substratos, apresentam as madeiras como habitat, e são classificados em três principais grupos: fungos da podridão marrom, fungos da podridão branca e fungos da podridão mole. Os fungos da podridão marrom atacam preferencialmente celulose e hemicelulose, deixando a lignina intacta, resultando num resíduo deteriorado de cor marrom. Este grupo de fungos não abrem os anéis aromáticos da lignina e, caso consigam algum sucesso nesta tarefa, são incapazes de decompor de forma significativa a lignina. Como exemplo deste grupo de fungo tem-se o *Agrocybe Aegerita* e o *Flammulina velutipes*. Os fungos da podridão mole decompõem celulose e hemicelulose, deixando os materiais lignocelulósicos aguados, sendo exemplo deste grupo o *Chaetomium cellulolyticum*. Os fungos da podridão branca são especializados em degradar lignina, sem afetar muito o conteúdo de celulose e hemicelulose de alimentos lignocelulósicos, resultando em resíduo de cor branca. Estes fungos degradam polissacarídeos a partir de enzimas hidrolíticas como as celulasas e xilanasas, e a lignina por enzimas ligninolíticas oxidativas, tais como: lignina peroxidase, manganês peroxidase e lacase. São exemplos deste grupo: *Abortiporus biennis*, *Agaricus bisporus*, *Dichomitus squalens*, *Phlebia* sp., *Pleurotus* sp., *Phanerochaete chrysosporium*, *Crinipellis* sp., *Pycnoporus sangeus*, *Coriolus versicolor*, *Poria plascenta*, entre outros (Karp *et al.*, 2013; Mahesh e Molhini, 2013).

A degradação seletiva de lignina pelos fungos da podridão branca ocorre durante a fase inicial da colonização, seguido por um estágio de frutificação em que polissacarídeos são degradados. Durante o crescimento dos fungos, o nitrogênio da biomassa lignocelulósica é incorporado nas proteínas fúngicas, que juntamente com a degradação de outros nutrientes, causam um enriquecimento de nitrogênio do resíduo tratado, e assim, uma elevação do conteúdo de proteína bruta pode ser encontrada. Os tratamentos biológicos, no entanto, levam a inevitáveis perdas de matéria orgânica, o que implica na necessidade de aumento da digestibilidade da matéria orgânica para compensar estas perdas (Mahesh e Molhini, 2013). O período de tratamento, neste sentido, segundo Owen *et al.* (2012), dever ser entre 6-8 dias a fim de reduzir perdas de massa seca. Entretanto, o elevado período de tratamento, segundo Karp *et al.* (2013), é uma das principais desvantagens da deslignificação pelo tratamento biológico.

Quanto à utilização para a alimentação de ruminantes, grande parte das pesquisas com animais alimentados com alimentos fibrosos tratados com fungos relataram resposta positiva em termos de utilização de nutrientes, balanço de nitrogênio e ganho de peso corporal (Fazaeli *et al.*, 2002; Omer *et al.*, 2012; Shrivastava *et al.*, 2012), embora estas respostas não sejam compatíveis com todos os tipos de fungos de podridão branca (Mahesh e Molhini, 2013). A título de exemplo, Mahrous *et al.* (2011) avaliaram o tratamento do bagaço da cana-de-açúcar com fungos *Trichoderma viride* sobre a composição nutricional dos alimentos e dietas, bem como sobre o desempenho de cordeiros. Estes autores verificaram que o tratamento biológico elevou o teor de proteína bruta e reduziu o teor de fibra bruta do

Tabela X. Composição do bagaço in natura (BIN) ou bagaço submetido ao tratamento biológico (BT) (Composition of sugarcane bagasse fresh or sugarcane bagasse subject to biological treatment).

Itens (% da matéria seca)	BIN	BT
Matéria orgânica, %	90,5	84,3
Matéria mineral	9,5	15,7
Proteína bruta	2,4	10,3
Fibra em detergente neutro	73,2	60,2
Fibra em detergente ácido	61,5	53,6
Celulose	29,9	37,3
Hemicelulose	11,7	16,6
Lignina	31,6	16,3

Adaptado de: Mahrous *et al.* (2011); Dados não analisados estatisticamente.

Tabela XI. Coeficiente de digestibilidade e valor nutritivo das dietas, e desempenho de cordeiros alimentados com níveis de bagaço tratado com fungos na dieta (Digestibility and nutritional value of diets and performance of lambs fed with levels of bagasse treated with fungi in the diets).

Itens (% da matéria seca)	Controle	15% de bagaço tratado	30% de bagaço tratado
Coeficiente de digestibilidade			
Matéria seca, %	61,5 ^a	58,5 ^b	54,0 ^c
Matéria orgânica, %	66,1 ^a	63,1 ^b	59,8 ^c
Valor nutritivo			
Nutrientes digestíveis totais	58,3 ^a	55,0 ^b	50,8 ^c
Proteína bruta digestível	8,9 ^a	7,2 ^b	6,1 ^c
Parâmetros ruminais			
pH	6,5	6,5	6,5
NH ₃ -N	26,2 ^a	20,4 ^b	18,3 ^c
Desempenho animal			
Peso inicial, kg	20,3	20,1	20,2
Peso final, kg	42,4	38,9	34,8
Ganho médio diário, g	184,1	156,6	121,6
Consumo de alimento			
Consumo de concentrado, g/dia	934,8	607,5	331,8
Consumo de feno, g/dia	623,2	540,0	442,4
Consumo de bagaço, g/dia	—	202,5	331,8

Adaptado de: Mahrous *et al.* (2011). Médias seguidas de letras distintas, na linha, diferem estatisticamente.

bagaço tratado (tabela X). Segundo estes pesquisadores a substituição do concentrado por até 50% de bagaço tratado com fungos, poderia, apesar dos menores coeficientes de digestibilidade e do desempenho animal (tabela XI), apresentar maior lucro em razão do menor custo com alimentação nas dietas com bagaço tratado. Estes pesquisadores chamaram atenção também para a ausência de efeitos adversos para a saúde dos animais. No entanto, segundo Mahesh e Molhini (2013), embora ocorra melhoria do valor nutricional dos alimentos fibrosos tratados biologicamente, muitos processos não são econômicos e ainda não foram adaptados às condições de campo. Dessa forma, para a consolidação desta tecnologia é importante que as pesquisas busquem isolar e identificar novos fungos lignolíticos na

natureza. É importante também o desenvolvimento de biotecnologias para manipulação genética de fungos, de forma que se possam produzir fungos estritamente lignolíticos, ou seja, que não degradem nenhum hidrato de carbono da parede celular (Mahesh e Molhini, 2013).

CONCLUSÕES

O bagaço *in natura* da cana-de-açúcar se apresenta como excelente fonte de fibra para dietas com elevada proporção de concentrado, podendo compor entre 10 e 20% da matéria seca das dietas sem grandes prejuízos sobre o desempenho ruminantes. O bagaço hidrolisado por pressão e vapor, por outro lado, em virtude de seu baixo estímulo à ruminação, deve estar associado a uma fonte de fibra íntegra, tal como o bagaço *in natura*, o que possibilita o aumento da utilização do bagaço da cana-de-açúcar nas dietas.

Quanto à utilização dos bagaços hidrolisados por agentes alcalinos, apesar de apresentarem menor custo que o bagaço hidrolisado por vapor e pressão, é necessário mais estudos para determinar seu melhor nível de inclusão em dietas para ruminantes, assim como, o impacto de sua inclusão sobre os aspectos relacionados com a digestão ruminal.

A utilização de tratamentos biológicos para melhoria do valor nutritivo de forragens ou volumosos de baixa qualidade ainda não são muito utilizados até o presente momento, mas podem vir a ser um dos mais promissores métodos no futuro. A evolução desta tecnologia depende da identificação e cultivo de novos fungos lignolíticos na natureza, bem como pelo desenvolvimento de biotecnologias que possibilitam a manipulação genética, ou seja, criação de fungos estritamente lignolíticos, que não utilizem os componentes da parede celular (celulose e hemicelulose, principalmente) importantes para a nutrição de ruminantes.

A utilização dos subprodutos mencionados nesta revisão deve estar associada à quantidade de concentrado que possibilite a complementação dos nutrientes da dieta, de forma a atender as exigências nutricionais dos animais. Tal consideração evidencia a necessidade de se conhecer a composição química destes subprodutos, assim como, da adequada formulação das dietas.

BIBLIOGRAFIA

Abdel-Aziz, N.A.; Salem, A.Z.M.; El-Adawy, M.M.; Camacho, L.M.; Kholif, A.E.; Elghandour, M.M.Y. and Borhami, B.E. 2015. Biological treatments and feeding sugarcane bagasse in agriculture animals – an overview. *J Integr Agric*, 14: 534-543.

Ahmadi, F.; Zamiri, M.J.; Khorvash, M.; Ziaee, E. and Polikarpov, I. 2015. Pre-treatment of sugarcane bagasse with a combination of sodium hydroxide and lime for improving the ruminal degradability: optimization of process parameters using response surface methodology. *J Appl Anim Res*, 44: 287-296.

Ahmed, H.M.; Babiker, S.A.; Fadel Elseed, A.E.M.A. and Mohammed, M. 2013. Effect of urea-treatment on nutritive value of sugarcane bagasse. *ARPN J Sci Tec*, 3: 834-838.

Barros, R.C.; Rocha Júnior, V.R.; Silva, F.V.; Alves, D.D.; Sales, E.C.J.; Franco, M.O.; Reis, S.T. e Souza, A.S. 2009. Cana-de-açúcar ou bagaço de cana amonizado com uréia em substituição à silagem de

sorgo para bovinos de corte confinados. *Rev Bras Saúde Prod Anim*, 10: 278-292.

Bastos Neto, A.O. 2007. Aspectos da extração de sacarose da cana-de-açúcar por difusão. <http://unisystems.locaweb.com.br/06/09/20011>.

Brink, J.V.D. and Vries, R.P. 2011. Fungal enzyme sets for plant polysaccharide degradation. *Appl Microbiol Biotechnol*, 91: 1477-1492.

Buettner, M.R. 1978. Effects of ammoniation on the composition and digestion of forage fiber. Purdue University. West Lafayette, IN.

Bulle, M.L.M. 2000. Desempenho, composição corporal e exigências líquidas de energia e proteína de tourinhos de dois tipos genéticos alimentados com dietas de alto teor de concentrado. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba. 50 pp.

Bulle, M.L.M.; Ribeiro, F.G.; Leme, P.R.; Titto, E.A.L. e Lanna, D.P.D. 2002. Desempenho de tourinhos cruzados em rações de alto teor de concentrado com bagaço de cana-de-açúcar como único volumoso. *Rev Bras Zootecn*, 31: 444-450.

Burgi, R. 1985. Produção do bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp. L.) auto-hidrolisado e avaliação para ruminantes. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba. 61 pp.

Cândido, M.J.D.; Neiva, J.N.M.; Pimentel, J.C.M.; Vasconcelos, V.R.; Sampaio, E.M. e Neto, J.M. 1999. Avaliação do valor nutritivo do bagaço de cana-de-açúcar amonizado com uréia. *Rev Bras Zootecn*, 28: 928-935.

Carvalho, G.G.P.; Pires, A.J.V.; Veloso, C.M.; Magalhães, A.F.; Freire, M.A.L.; Silva, F.F.; Silva, R.R. e Carvalho, B.M.A. 2006. Valor nutritivo do bagaço de cana-de-açúcar amonizado com quatro doses de uréia. *Pesq Agropec Bras*, 41: 125-132.

Carvalho, G.G.P.; Cavali, J.; Fernandes, F.E.P.; Rosa, L.O.; Olivindo, C.S.; Porto, M.O.; Pires, A.J.V. e Garcia, R. 2009. Composição química e digestibilidade da matéria seca do bagaço de cana-de-açúcar tratado com óxido de cálcio. *Arq Bras Med Vet Zoo*, 61: 1346-1352.

Castañón-Rodríguez, J.F.; Welti-Chanes, J.; Palacios, A.J.; Torresiana-Sanchez, B.; Ramírez De León, J.A.; Velazquez, G. and Aguilar-Uscanga, M.G. 2015. Influence of high pressure processing and alkaline treatment on sugarcane bagasse hydrolysis. *J Food*, 13: 613-620.

Côrtes, V.A.B.; Ferreira, R.F. e Benedetti, E. 2009. Hidrólise com cal em cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) na alimentação de ruminantes - uma revisão. *Rev Eletr Nutr*, 6: 1018-1038.

CONAB. 2015. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. v.1. Brasília. Conab, BR. 27 pp. http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_04_15_15_44_37_boletim_cana_portugues_-_1o_lev_-_14.pdf (25/02/2015).

Delgado, A.A. 1975. Tecnologia dos produtos agropecuários: Tecnologia do açúcar e das fermentações industriais. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba. Brasil. 209 pp.

Dias, A.M. 2009. Hidróxido de cálcio como aditivo para cana-de-açúcar *in natura* para alimentação de bovinos. 2009. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade Estadual de Maringá. Maringá. 106 pp.

Domingues, F.N. 2009. Cana-de-açúcar hidrolisada com doses crescentes de cal virgem e tempos de exposição ao ar para a alimentação de bovinos. Tese (Doutorado em Zootecnia). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal. 93 pp.

Ezequiel, J.M.B.; Galati, R.L.; Mendes, A.R. e Faturi, C. 2006. Desempenho e características de carcaça de bovinos Nelore em confinamento alimentados com bagaço de cana-de-açúcar e diferentes fontes energéticas. *Rev Bras Zootecn*, 35: 2050-2057.

Fazaeli, H.; Jelani, Z.A. and Azizi, A. 2002. Effects of fungal treatment on nutritive value of wheat straw. *Malaysian J Anim Sci*, 7: 61-71.

Garcia, R. e Pires, A.J.V. 1998. Tratamento de volumosos de baixa qualidade para utilização na alimentação de ruminantes. Congresso Nacional dos Estudantes de Zootecnia. Viçosa. Anais... AMEZ. Viçosa. MG. 33 pp.

- Gomes, G.M.F.; Vasconcelos, A.M.; Egito, A.S.; Carneiro, J.C.; Fonteles, N.L.O. e Salles, H.O. 2015. Biodegradação do bagaço de cana-de-açúcar por microrganismos ruminais de caprinos e ovinos. *Biosci J*, 31: 204-214.
- Henrique, W.; Beltrame Filho, J.A.; Leme, P.R.; Lanna, D.P.D.; Alleoni, G.P.; Coutinho Filho, J.L.V. e Sampaio, A.A.M. 2007. Avaliação da silagem de grãos de milho úmido com diferentes volumosos para tourinhos em terminação. Desempenho e características de carcaça. *Rev Bras Zootecn*, 36: 183-190.
- Jung, H.G. 1996. Identification of cell wall traits that can be manipulated to improve forage digestibility. Dairy Forage Industry Conference. Madison. Proceedings... US Dairy Forage Research Center. Madison. 9 pp.
- Karp, S.G.; Woiciechowski, A.L.; Soccol, V.T. and Soccol, C.R. 2013. Pretreatment strategies for delignification of sugarcane bagasse: a review. *Braz Arch Biol Techn*, 56: 679-689.
- Klopfenstein, T. 1978. Chemical treatment of crop residues. *J Ani Sci*, 46: 841-848.
- Klopfenstein, T. 1980. Increasing the nutritive value of crop residues by chemical treatments. In: Huber, J. T. Upgrading residues and products for animals. ed. CRC Press. Boca Raton, FL. 40 pp.
- Leme, P.R.; Silva, S.L.; Pereira, A.S.C.; Putrino, S.M.; Lanna, D.P.D. e Nogueira Filho, J.C.M. 2003. Utilização do bagaço de cana-de-açúcar em dietas com elevada proporção de concentrados para novilhas Nelore em confinamento. *Rev Bras Zootecn*, 32: 1786-1791.
- Lendowski, L.; Färber, H.; Holy, A.; Darius, A.; Ehrich, B.; Wippermann, C.; Küfner, B. and Exner, M. 2015. Accidental contamination of a German town's drinking water with sodium hydroxide. *Int J Hyg Envir Heal*, 218: 366-369.
- Mahesh, M.S. and Molhini, M. 2013. Biological treatment of crop residues for ruminant feeding: A review. *African J Biotech*, 12: 4221-4231.
- Mahrous, A.A.; El-Shafie, M.H. and Abdel-Khalek, T.M.M. 2011. Performance of growing lambs fed fungus treated sugarcane bagasse. *Egyptian J Sheep Goat Sci*, 6: 27-35.
- Manzano, R.P.; Fukushima, R.S.; Gomes, J.D.F. e Garippo, G. 2000. Digestibilidade do bagaço de cana-de-açúcar tratado com reagentes químicos e pressão de vapor. *Rev Bras Zootecn*, 29: 1196-1204.
- Mendes, C.Q.; Turino, V.F.; Susin, I.; Pires, A.V.; Moraes, J.B. e Gentil, R.S. 2010. Comportamento ingestivo de cordeiros e digestibilidade dos nutrientes de dietas contendo alta proporção de concentrado e diferentes fontes de fibra em detergente neutro. *Rev Bras Zootecn*, 39: 594-600.
- Moraes, K.A.K.; Valadares Filho, S.C.; Moraes, H.B.K.; Leão, M.I.; Valadares, R.F.D.; Pereira, O.G. e Soléro, B.P. 2008. Cana-de-açúcar tratada com óxido de cálcio fornecida com diferentes níveis de concentrado para novilhas de corte em confinamento. *Rev Bras Zootecn*, 37: 1293-1300.
- Neiva, J.N.M.; Garcia, R.; Valadares Filho, S.C.; Pereira, O.G.; Pires, A.J.V. e Silva, H.A. 1998. Consumo e digestibilidade aparente de matéria seca e nutrientes em dietas à base de silagens e rolão de milho amonizados. *Rev Bras Zootecn*, 27: 453-460.
- Murta, R.M.; Chaves, M.A.; Pires, A.J.V.; Veloso, C.M.; Silva, F.F. e Neto, A.L.R.; Eustáquio Filho, A. e Santos, P.E.F. 2011. Desempenho e digestibilidade aparente dos nutrientes em ovinos alimentados com dietas contendo bagaço de cana-de-açúcar tratado com óxido de cálcio. *Rev Bras Zootecn*, 40: 1325-1332.
- Nussio, L.G. e Balsalobre, M.A. 1993. Utilização de resíduos fibrosos da industrialização da cana-de-açúcar na alimentação de bovinos. Simpósio Sobre Nutrição de Bovinos. Piracicaba. Anais... Piracicaba. FEALQ/USP. São Paulo. 127 pp.
- Oliveira, M.D.S.; Andrade, A.T.; Barbosa, J.C.; Silva, T.M.; Fernandes, A.R.M.F.; Caldeirões, E. e Carabolante, A. 1997. Digestibilidade da cana-de-açúcar hidrolisada, in natura e ensilada para bovinos. *Ciênc Anim Bras*, 8: 41-50.
- Oliveira, M.D.S.; Santos, J.D.; Domingues, F.N.; Lopes, A.D.; Silva, T.M. e Mota, D.A. 2008. Avaliação da cal hidratada como agente de cana-de-açúcar. *Vet Not*, 14: 9-17.
- Omer, H.A.A.; Ali, F.A.F. and Gad, S.M. 2012. Replacement of clover hay by biologically treated corn stalks in growing sheep rations. *J Agric Sci*, 4: 257-268.
- Owen, E.; Smith, T.; Makkar, H.P.S. 2012. Successes and failures with animal nutrition practices and technologies in developing countries: A synthesis of an FAO e-conference. *Anim Feed Sci Technol*, 174: 211-226.
- Panday, A.P.; Soccol, C.R.; Nigam, P. and Soccol, V.T. 2000. Biotechnological potential of agro-industrial residues. I: sugarcane bagasse. *Bior Technol*, 74: 69-80.
- Pires, A.J.V. 1995. Efeito da amônia anidra sobre a conservação e composição químico-bromatológica da quirela de milho (*Zea mays* L.) com alta umidade. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 70 pp.
- Pires, A.J.V.; Garcia, R.; Valadares Filho, S.V.; Pereira, O.G.; Cecon, P.R.; Silva, F.F.; Silva, P.A. e Veloso, C.M. 2004. Novilhas alimentadas com bagaço de cana-de-açúcar tratado com amônia anidra e, ou, sulfeto de sódio. *Rev Bras Zootecn*, 33: 1078-1085.
- Pires, A.J.V.; Reis, R.A.; Carvalho, G.G.P.; Siqueira, G.R. e Bernardes, T.F. 2006. Bagaço de cana-de-açúcar tratado com hidróxido de sódio. *Rev Bras Zootecn*, 35: 953-957.
- Rabelo, M.M.A. 2002. Efeito de fontes e níveis de fibras integra, em dietas contendo bagaço de cana-de-açúcar tratado sob pressão e vapor, sobre a digestibilidade, desempenho e comportamento ingestivo de bovinos de corte. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba. 60 pp.
- Rabelo, M.M.A.; Pires, A.V.; Susin, I.; Mendes, C.Q.; Oliveira Júnior, R.C. e Ferreira, E.M. 2008. Digestibilidade dos nutrientes e parâmetros ruminais de bovinos de corte alimentados com rações contendo bagaço de cana-de-açúcar obtido pelo método de extração por difusão ou por moagem convencional. *Rev Bras Zootecn*, 37: 1696-1703.
- Rodrigues, R.C. e Peixoto, R.R. 1993. Avaliação nutricional do bagaço de cana-de-açúcar de micro destilaria de álcool para ruminantes. *Rev Bras Zootecn*, 22: 212-221.
- Rosa, B. e Fadel, R. 2001. Uso de amônia anidra e de uréia para melhorar o valor alimentício de forragens conservadas. Simpósio sobre Produção e Utilização de Forragens Conservadas. Maringá. Anais... UEM/CCA/DZO. Maringá. 41 pp.
- Sardento, P.; Garcia, R.; Pires, A.J.V. e Nascimento, A. 1999. Tratamento do bagaço de cana-de-açúcar com uréia. *Rev Bras Zootecn*, 28: 1203-1208.
- Schlittler, L.A.F.S. 2006. Engenharia de um bioprocesso para produção de etanol de bagaço de cana-de-açúcar. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 175 pp.
- Sforcini, M.P.R. 2009. Silagem de milho, cana-de-açúcar in natura e hidrolisada, para vacas em lactação. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal. 76 pp.
- Sforcini, M.P.R. 2014. Cana-de-açúcar hidrolisada para vacas em lactação. Tese (Doutorado em Zootecnia). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal. 66 pp.
- Silva, J.F.C. 1984. O ruminante e o aproveitamento de subprodutos fibrosos. *Inf Agropec*, 10: 8-15.
- Silva, I.M.C.B. 2012. Métodos de preparação industrial de solventes e reagentes químicos. *Rev Virtual Quim*, 4: 73-83.
- Shrivastava, B.; Nandal, P.; Sharma, A.; Jain, K.K.; Khasa, Y.P.; Das, T.K.; Mani, V.; Kewalramni, N.J.; Kundu, S.S. and Kuhad, R.C. 2012. Solid state bioconversion of wheat straw into digestible and nutritive ruminant feed by *Ganoderma* sp. rckk02. *Bioresour Technol*, 107: 347-351.
- Soares, M.S.; Pires, A.J.V.; Silva, L.G.; Guimarães, J.T.; Machado, T.C. e Frazão, O.da.S. 2015. Utilização do bagaço de cana-de-açúcar na alimentação de ruminantes. *Rev Eletron Nutr*, 12: 3837-3855.

- Torres, L.B.; Ferreira, M.A.; Vêras, A.S.C.; Melo, A.A.S. e Andrade, D.K.B. 2003. Níveis de bagaço de cana e uréia como substituto ao farelo de soja em dietas para bovinos leiteiros em crescimento. *Rev Bras Zootecn*, 32: 760-767.
- Van Soest, P. J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. 2 ed. Comstock Publishing Associates. Ithaca. 476 pp.
- Valadares Filho, S.C.; Magalhães, K.A.; Rocha Júnior, V.R. e Capelle, E.R. 2006. Tabelas brasileiras de composição de alimentos para bovinos. 2 ed. UFV. Viçosa. 329 pp.
- Willians, P.E.V.; Innes, G.M. and Brewer, A. 1984. Ammonia treatment of straw via hydrolysis of urea. I. Effects of dry matter and urea concentrations on the rate of hydrolysis of urea. *Anim Feed Sci Technol*, 11: 115-124.