

NÍVEIS DE GLICERINA BRUTA NA ENSILAGEM DE CANA-DE-AÇÚCAR: PERDAS E VALOR NUTRICIONAL¹

J. P. S. RIGUEIRA², F. P. MONÇÃO^{2*}, E. C. J. SALES², L. M. S. BRANT², D. A. A. PIRES², D. D. ALVES², S. T. REIS³

¹Recebido em 23/01/2017. Aprovado em 18/01/2018.

²Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, Minas Gerais, Brasil.

³ Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil

*Autor correspondente: moncaomoncao@yahoo.com.br

RESUMO: Objetivou - se avaliar o efeito e o melhor nível de inclusão de glicerina bruta na ensilagem de cana-de-açúcar sobre os parâmetros da composição química e perdas fermentativas. Os tratamentos consistiram de cinco níveis de inclusão de glicerina bruta (0, 1, 5, 10 e 15% de inclusão na matéria natural) durante a ensilagem de cana-de-açúcar. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado sendo cinco tratamentos com seis repetições. As silagens foram confeccionadas em tubos de PVC. A utilização de glicerina bruta aumentou em média 16,3; 54,1; 24,0 e 17,8% os teores de matéria seca, extrato etéreo, carboidratos não fibrosos e nutrientes digestíveis totais da silagem de cana em relação à silagem de cana sem aditivo (nível 0%; $P \leq 0,05$). Incrementos de 0,56% e 0,18% nos teores de matéria seca e extrato etéreo foram verificados nas silagens de cana para cada 1% de inclusão de glicerina, respectivamente. Entre os níveis de inclusão, a adição de cada unidade percentual de glicerina na matéria natural reduziu 2,3% e 2,1% às perdas por efluentes e perdas por gases, respectivamente. A adição de glicerina bruta na ensilagem de cana-de-açúcar no nível de 15% na matéria natural melhora a composição bromatológica e reduz perdas fermentativas.

Palavras-chave: aditivo, composição química, ensilagem, gramínea, glicerol.

CRUDE GLYCERIN LEVELS IN SUGARCANE SILAGE: LOSSES AND NUTRITIONAL VALUE

ABSTRACT: The objective was to evaluate the effect and the best level of crude glycerin inclusion in sugarcane ensilage on the parameters of the chemical composition and fermentative losses. The treatments consisted of five levels of inclusion of crude glycerin (0, 1, 5, 10 and 15% inclusion in natural matter) during sugarcane silage. A completely randomized design was used, with five treatments with six replicates. The silages were manufactured in PVC pipes. The utilization of crude glycerin increased on average 16.3; 54.1; 24.0 and 17.8% of the dry matter, ether extract, non-fibrous carbohydrates and total digestible nutrients of sugarcane silage, respectively, in relation to silage control sugarcane ($P \leq 0.05$). Increments of 0.56% and 0.18% in the dry matter and ether extract were found in sugarcane silages for each 1% inclusion of glycerin, respectively. Among the inclusion levels, the addition of each percentage unit of glycerin in the natural material reduced by 2.3% and 2.1% to the effluent losses and gases losses, respectively. The addition of 15% of crude glycerin in sugarcane ensilage improves the chemical composition and reduces fermentation losses.

Key words: additive, chemical composition, ensilage, grasses, glycerol.

INTRODUÇÃO

Dentre as forrageiras tropicais, a cana-de-açúcar se destaca pela sua elevada produtividade de massa por área, o que justifica o cultivo para fornecimento aos animais, principalmente, no período de escassez de alimentos. Entretanto, o corte diário da mesma para utilizar na forma *in natura* é um dos grandes entraves nas propriedades rurais. A técnica da ensilagem é uma alternativa, o que pode diminuir o corte frequente, concentrando o trabalho com mão de obra e o deslocamento de máquinas na propriedade (Dias et al., 2014).

Quando não são utilizados aditivos, intensa fermentação pode ocorrer durante o processo de ensilagem da cana-de-açúcar podendo produzir etanol, efluentes e gases gerando perdas no valor nutricional da forragem. Isso acontece devido à atividade de leveduras que utilizam os açúcares para seu crescimento. Mesmo com a queda rápida do pH, conforme verificado por Evangelista et al. (2009), durante a ensilagem da cana-de-açúcar, as leveduras dominam o processo fermentativo, pois não são inibidas pela redução do pH no alimento, o que incrementa as perdas energéticas da silagem.

A glicerina bruta, um subproduto da produção de biodiesel é um aditivo com potencial de utilização na ensilagem de cana-de-açúcar devido à elevada densidade energética, pois, contém em média de 75 a 80% de glicerol, 80 a 90% de matéria seca, o que pode reduzir perdas durante a fermentação, sendo o restante composto por água, ácidos graxos (7 a 13%), minerais oriundos dos catalisadores (2 a 3%; principalmente sódio) e menos de 0,5% de álcool (Kerr et al., 2009). Cerca de 80 gramas de glicerol é produzido para cada litro de biodiesel (Thompson e He, 2006). A estimativa global é que haverá crescimento de mais 1.550% na produção de biodiesel em relação à produção brasileira atual de 2,64 bilhões de litros até 2019 (OECD-FAO, 2010). Assim, provavelmente a oferta da glicerina bruta aumentará para diversas finalidades.

Entretanto, há poucos estudos sobre a utilização, efeito e níveis de glicerina bruta durante o processo de ensilagem em forrageiras; mas, pela grande disponibilidade de glicerina bruta decorrente da produção de biodiesel (255.361 m³/mês; ANP, 2017) e pelo poder de compensar a perda energética da silagem de cana durante a fermentação (Dias et al., 2014; Rigueira et al., 2017), torna-se interessante estudá-la como aditivo na silagem. Dias et al. (2014) verificaram que a glicerina bruta é um aditivo interessante para silagens de cana-de-açúcar,

pois apresenta potencial de melhorar a densidade energética, digestibilidade da matéria seca e reduzir perdas do material ensilado. Borghi et al., (2016) não encontraram efeito residual em derivados de carne de ovinos alimentados com glicerina na dieta (20% de inclusão da matéria seca). Cunha et al. (2016) verificaram que a inclusão de glicerina bruta até 7,5% da matéria seca na dieta para cordeiros Pantaneiros melhora os aspectos nutricionais de gordura. Dias et al., (2014) verificaram que o uso de glicerina bruta na ensilagem de cana-de-açúcar reduz perdas por gases e efluentes durante a fermentação. Rigueira et al., (2017) concluíram que a glicerina bruta como aditivo na ensilagem de forrageiras tropicais eleva o teor de matéria seca, carboidratos não fibrosos e nutrientes digestíveis totais. Ainda são insipientes as pesquisas com glicerina bruta durante a ensilagem de forrageiras e seus efeitos no consumo e desempenho animal. A maioria dos estudos referente ao uso de glicerina bruta na nutrição de ruminantes trata-se da inclusão direta desta na dieta dos animais (Lage et al., 2010; Cunha et al., 2016; San Vito et al., 2016). Em cordeiros, Lage et al., (2010) verificaram que a inclusão de níveis crescente de glicerina bruta acima de 6% da matéria seca da dieta reduz o consumo de matéria seca, não altera a digestibilidade da matéria seca e diminui o desempenho animal. San Vito et al., (2016) verificaram que a inclusão de glicerina bruta, na ordem de até 4% da matéria seca da dieta de bovinos, não altera o consumo de nutrientes, mas reduz a degradação ruminal da fração fibrosa da dieta. Sendo assim, ainda há lacunas quanto ao melhor nível de inclusão e benefícios da glicerina bruta sobre o perfil fermentativo das silagens, valor nutricional da dieta e seus efeitos no consumo e desempenho animal.

Com base no exposto, objetivou-se por meio deste experimento avaliar o efeito e o melhor nível de inclusão de glicerina bruta na ensilagem de cana-de-açúcar sobre perdas durante a fermentação e parâmetros da composição química.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES), *Campus* de Janaúba MG.

Os tratamentos consistiram de silagem de cana-de-açúcar com cinco níveis de inclusão de glicerina bruta (0, 1, 5, 10 e 15% de inclusão na matéria natural) durante a ensilagem. Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado sendo cinco tratamentos com seis repetições.

A composição da glicerina bruta e da cana-de-açúcar *in natura* (Variedade RB 855536) utilizada no experimento pode ser observada na Tabela 1.

A cana-de-açúcar foi coletada em áreas pré-instaladas (dois anos) no campo agrostológico da Fazenda Experimental da UNIMONTES. Foi realizado o corte manual da forrageira, um ano após o último corte e posteriormente triturada em máquina trituradora-picadora acoplada em motor elétrico. As facas da máquina foram reguladas para triturar a forragem e obter tamanho de partículas de 2 cm. Após trituração e homogeneização de todo o material, cinco montes foram formados e adicionados o aditivo nas respectivas proporções e homogeneizadas antes da ensilagem.

Para ensilagem, foram utilizados silos experimentais de PVC, de pesos conhecidos, com 50 cm de comprimento e 10 cm de diâmetro. No fundo dos silos, continham 10 cm de areia seca, separada da forragem por uma espuma para quantificação do efluente produzido. Após a completa homogeneização da forragem com os aditivos, a mesma foi depositada nos silos e compactada com auxílio de um êmbolo de madeira. Para cada tratamento quantificou-se a densidade da silagem e foi ensilado aproximadamente 3 kg do material picado de cada forragem fresca conforme recomendação de Ruppel et al., (1995) com aplicação de uma densidade de compactação de aproximadamente 500kg/m³ por silo. Após o enchimento, os silos foram fechados com tampas de PVC dotados de válvula tipo "bunsen", vedados com fita adesiva e pesados em seguida.

Os silos foram armazenados, mantidos à temperatura ambiente, com a abertura feita 60 dias após a ensilagem. Após a abertura, foram coletadas amostras no meio do silo após o descarte da parte superior das silagens que apresentasse presença de fungos. As amostras foram pré-secas em estufa de ventilação forçada com temperatura de 55°C até apresentarem peso constante. Na sequência, o material pré-seco foi moído em moinho tipo "willey" com peneiras de crivo 1 mm e armazenada em potes plásticos, devidamente identificados.

Para análises de pH foram coletadas subamostras de 25 g e adicionados 100mL de água e, após repouso de 2 horas, realizou-se a leitura de pH, utilizando-se potenciômetro. Para determinação do N-amoniaco (N-NH₃), foi coletada uma subamostra de 25 g, sendo adicionados 200mL de uma solução de H₂SO₄ (0,2 N), permanecendo em repouso por 48 horas e, em seguida, realizou-se a filtração em papel de filtro Whatman 54, sendo que esse filtrado foi armazenado em geladeira para posterior determinação do N-NH₃ (Bolsen et al., 1992).

Para estimativa da atividade de água (Aw) em forragens foi utilizada a seguinte equação proposta por Greenhill (1964), citado por McDonald et al. (1991):

$$Aw = 1 - 0,08/m$$

Aw: atividade de água, determinada em termos da pressão de vapor relativa.

m: umidade da amostra expressa em g de água/kg de MS da forragem.

As perdas de matéria seca nas silagens sob as formas de gases e efluentes foram quantificadas por

Tabela 1. Níveis de garantia de glicerina bruta e composição química da cana-de-açúcar *in natura*, % da matéria seca.

Variáveis	Glicerina Bruta (%)	Cana-de-açúcar (%)
Glicerol Total	86,9	-
Matéria Seca	89,5	27,9
Metanol	<0,01	-
pH	5,3	-
Umidade	9,2	-
Proteína Bruta	0,4	3,2
FDN	-	47,6
FDA	-	28,3
Extrato Etéreo	10,0	2,5
Cinzas	3,2	5,6
Sódio	1,3	-
Cloro	1,9	-
Potássio	<0,1	-

pH - Potencial de hidrogênio; FDN - Fibra em detergente neutro; FDA - Fibra em detergente ácido.

diferença de peso, segundo Schmidt et al. (2011). Pela equação abaixo, foram obtidas as perdas por efluente:

$$E = (Pab - Pen) / (MVfe) \times 1000, \text{ onde:}$$

E: produção de efluentes (kg/tonelada de massa verde);

Pab: peso do conjunto (balde+tampa+areia úmida+pano) na abertura (kg);

Pen: peso do conjunto (balde+tampa+areia seca+pano) na ensilagem (kg);

MVfe: massa verde de forragem ensilada (kg).

A perda de matéria seca na forma de gases foi calculada pela diferença entre o peso bruto da matéria seca ensilada inicial e final, em relação à quantidade de MS ensilada, descontados o peso do conjunto silo e areia seca, conforme a equação abaixo:

$$G = (PCI - PCf) / (MFi \times MSi) \times 100, \text{ em que:}$$

G: perdas por gases (%MS);

PCI: peso do balde cheio no fechamento (kg);

PCf: peso do balde cheio na abertura (kg);

MFi: massa de forragem no fechamento (kg);

MSi: teor de matéria seca da forragem no fechamento.

O material coletado na amostragem foi submetido a análise para determinação dos teores de matéria seca (MS), matéria mineral (cinzas), extrato etéreo (EE), proteína bruta (PB), conforme descrito pela (AOAC, 1990), e os teores de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) pelo método sequencial, conforme procedimentos descritos por Van Soest et al., (1991). Os conteúdos de NIDN e NIDA foram determinados segundo Licitra et al., (1996). O teor de carboidratos totais (CT) foi estimado pela equação: $CT (\%) = 100 - [\% \text{ Umidade} + \% \text{ PB} + \% \text{ EE} + \% \text{ cinzas}]$ e os de carboidratos não fibrosos (CNF) segundo Sniffen et al., (1992). Os nutrientes digestíveis totais (NDT) foram estimados por meio da fórmula $NDT = 40,2625 + 0,1969PB + 0,4028 \text{ CNF} + 1,903 \text{ EE} - 0,1379 \text{ FDA}$ (Weiss, 1998).

Os dados foram submetidos à análise estatística usando o SISVAR (Ferreira, 2014) e quando as variáveis foram significativas pelo teste de F, as doses de inclusão de glicerina bruta foram submetidas à análise de regressão. Foram selecionadas as equações de regressão com base na tendência dos dados e maior coeficiente de determinação (R^2). A probabilidade adotada foi de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme resultados apresentados na Tabela 2, não houve diferença ($P \geq 0,05$) nos valores de pH e nitrogênio amoniacal das silagens de cana-de-açúcar aditivadas com os diferentes níveis de glicerina, apresentando valores médios de 3,4 e 2,4% do nitrogênio total (NT), respectivamente.

Dias et al. (2014) não observaram diferenças no pH de silagens de cana com níveis de glicerina bruta (10, 20, 30 e 40 g/kg) na ensilagem com média de 3,45, também abaixo da faixa de 3,8 a 4,2 recomendada para obtenção de silagens de boa qualidade. A medida do valor de pH em silagens é um importante indicador da qualidade de fermentação, sendo, inclusive, possível classificar as silagens em termos de qualidade (Jobim et al., 2007). Segundo McDonald et al. (1991), quando se trabalha com forragens de alto teor de açúcar e baixo de proteína, a estabilidade do pH ocorre, normalmente, antes do décimo dia de ensilagem. Para Evangelista et al. (2009) mesmo com a queda rápida e baixo valor do pH da silagem, como verificado nesta pesquisa (3,4), durante a ensilagem da cana-de-açúcar, as leveduras não são inibidas pela redução do pH, promovendo perdas de nutrientes.

O conteúdo de nitrogênio amoniacal ($N-NH_3$) das silagens, expresso em porcentagem do nitrogênio total, é amplamente utilizado na

Tabela 2. Perdas por efluentes, perda por gases, pH, nitrogênio amoniacal ($N-NH_3$; % NT) e atividade de água (Aw) da silagem de cana com níveis de glicerina bruta na ensilagem.

Parâmetros	Nível de Inclusão (% MN)					EPM	P valor
	0	1	5	10	15		
pH	3,4	3,4	3,5	3,4	3,2	0,083	0,62
$N-NH_3$ (% NT)	2,4	2,8	2,4	2,0	2,2	0,076	0,51
Efluente (kg/t) ¹	47,4	41,5	42,3	35,6	36,2	1,253	<0,01
Gases (% MS) ²	25,3	27,0	24,2	23,4	18,4	0,988	<0,01
Aw ³	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,014	0,03

¹ $\hat{Y} = -0,6713X + 44,762$, $R^2 = 0,76$, $P = 0,00$; ² $\hat{Y} = -0,4755X + 26,616$, $R^2 = 0,85$, $P = 0,00$; ³ $\hat{Y} = -0,0079X + 1,009$, $R^2 = 0,83$, $P = 0,01$; X- Nível de inclusão (%) da glicerina bruta na MN; P - Probabilidade; MN - Matéria natural; NT - Nitrogênio total; R^2 - Coeficiente de determinação; EPM - Erro padrão da média.

avaliação de silagens. Silagens que apresentam concentração de N-NH₃ inferior a 10% da MS é indicativo que houve menores perdas durante a fermentação, sobretudo de compostos nitrogenados (McDonald et al. 1991). As silagens de cana com ou sem a inclusão de glicerina nesta pesquisa atendem a essas recomendações, com média de 2,4% do NT. Dias et al. (2014) também não observaram diferenças estatísticas no N-NH₃ de silagens de cana-de-açúcar com de 10, 20, 30 e 40 g de glicerina bruta por quilograma de MN, o mesmo observado no presente trabalho quando se adicionou glicerina bruta como aditivo na ensilagem.

Já para perdas por efluentes (kg/t) e gases (% da MS) reduziram linearmente com a adição de glicerina bruta (P<0,01). Para cada unidade de inclusão de glicerina na ensilagem de cana houve redução de 0,6713 kg/t de efluentes e 0,4755% gases, caracterizando a resposta do aditivo em reduzir perdas durante o processo de fermentação. A inclusão de 10% e 15% de glicerina bruta na ensilagem de cana-de-açúcar reduziu em 10% a atividade de água (Aw) em relação à silagem de cana sem glicerina, passando de 1,0 para 0,9, respectivamente. As médias para a Aw adequaram-se ao modelo linear decrescente de

regressão, sendo verificada diminuição de 0,0079 para percentual de inclusão de glicerina. Essa redução foi causada, possivelmente, pelo incremento no teor de MS das silagens com o uso da glicerina bruta, diminuindo assim a disponibilidade de água para os microrganismos. De acordo com McDonald et al., (1991) valores de Aw inferiores a 0,94, conforme verificado nesta pesquisa, são suficientes para inibir o crescimento de microrganismos como leveduras e *Clostridium*. Segundo Ditchfield (2000) o termo atividade da água (Aw) foi criado para denominar a água disponível para crescimento microbiano e reações que possam deteriorar os alimentos. A Aw refere-se à medição da concentração de solutos em água e seus efeitos sobre a atividade química da água. O valor da Aw indica o nível de água em sua forma livre nos materiais e é expresso na escala de 0 a 1. Considera-se o valor 0 para materiais livres de água e 1 para a água em sua forma líquida. No campo da avaliação de alimentos ensilados, a Aw é de grande importância para a qualidade de fermentação durante a ensilagem e para a atividade microbiológica durante a fase de utilização da silagem (Jobim et al., 2007). Neste estudo, verificou-se que até o nível de 5% de inclusão de glicerina na ensilagem de cana, os valores Aw indicam a

Tabela 3. Composição química de silagem de cana-de-açúcar associada com níveis crescente de glicerina bruta na ensilagem.

Variáveis ¹ (%)	Nível de Inclusão (% MN)					EPM	P valor
	0	1	5	10	15		
MS ²	27,0	27,7	32,2	33,6	35,5	0,602	<0,01
Cinzas	5,3	4,7	5,2	5,3	5,4	0,451	0,38
PB	3,0	3,0	3,9	2,9	3,0	0,184	0,19
EE ³	2,1	3,4	4,8	4,8	5,3	0,854	<0,01
FDN ⁴	66,2	62,6	60,5	60,0	58,7	1,315	<0,01
FDA ⁵	50,5	49,7	44,8	44,4	45,3	0,735	<0,01
HEM ⁶	13,1	10,3	14,8	14,8	8,0	1,408	0,02
PIDN	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,031	0,17
PIDA	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,015	0,89
CT ⁷	90,9	89,4	87,5	87,1	87,4	0,607	0,01
CNF ⁸	28,2	32,0	30,3	31,3	54,9	1,433	<0,01
NDT ⁹	49,0	53,4	56,0	58,6	70,3	1,121	<0,01

¹ Base da matéria seca (MS); MN - Matéria natural; PB - Proteína bruta; EE - Extrato etéreo; FDN - Fibra em detergente neutro; FDA - Fibra em detergente ácido; HEM - Hemicelulose; PIDN - Proteína insolúvel em detergente neutro; PIDA - Proteína insolúvel em detergente ácido; CT - Carboidratos totais; CNF - Carboidratos não fibrosos; NDT - Nutrientes digestíveis totais; P - Probabilidade; EPM - Erro padrão da média. ² $\hat{Y} = 0,5668X + 27,686$, $R^2 = 0,92$, $P=0,00$; ³ $\hat{Y} = 0,238X + 2,78$, $R^2 = 0,84$, $P=0,006$; ⁴ $\hat{Y} = -0,403X + 64,099$, $R^2 = 0,75$, $P=0,00$; ⁵ $\hat{Y} = 0,0677X^2 - 1,3564X + 50,595$, $R^2 = 0,97$, $P=0,00$; ⁶ $\hat{Y} = -0,0942X^2 + 1,2163X + 11,273$, $R^2 = 0,76$, $P=0,00$; ⁷ $\hat{Y} = 0,0353X^2 - 0,7262X + 90,488$, $R^2 = 0,95$, $P=0,00$; ⁸ $\hat{Y} = 0,2258X^2 - 1,8917X + 31,22$, $R^2 = 0,92$, $P=0,00$; ⁹ $\hat{Y} = 1,2131X + 49,939$, $R^2 = 0,91$, $P=0,00$; X - Nível de inclusão de glicerina na MN; R² - Coeficiente de determinação.

presença de água na massa, o que é resultante do teor de umidade da cana no momento da ensilagem. Com a inclusão de glicerina, acima de 5% da matéria natural, houve redução de 10% na Aw. Isso ocorreu devido às características físico-química da glicerina bruta.

A adição de glicerina bruta na ensilagem de cana-de-açúcar elevou ($P \leq 0,05$) os teores de matéria seca (MS), extrato etéreo (EE), carboidratos não-fibrosos (CNF) e nutrientes digestíveis totais (NDT) e reduziu os teores de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), hemicelulose (HEM) e carboidratos totais (CT) (Tabela 3). Porém, não afetou ($P \geq 0,05$) os teores de cinzas, proteína bruta (PB), proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN) e proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA) com médias de 5,2; 3,2; 0,18 e 0,16 %, respectivamente.

A glicerina bruta aumentou linearmente em média 16,3% o teor de MS da silagem de cana em relação à silagem de cana controle (0% de glicerina bruta), passando de 27% para 32,25% (média dos tratamentos). Este acréscimo é decorrente do alto teor de MS (89,5%) da glicerina (Tabela 1), sendo uma característica desejável como aditivo para ensilagem de gramíneas com elevado teor de umidade. Para Muck (1988) os teores de MS para forrageiras considerados satisfatórios para ensilagem variam de 28 à 35%, para inibir o crescimento de bactérias do gênero *Clostridium* nas silagens e propiciar um eficiente processo fermentativo. Logo, a adição de 5%, 10% e 15% de glicerina na matéria natural (MN) de cana-de-açúcar na ensilagem proporcionou teor de MS adequado, média de 33,8%, para obter fermentação satisfatória e evitar perdas.

A variação entre o menor (27%) e maior nível (35,5%) de inclusão foi de 22% sobre o teor de MS. Incrementos de 0,5668% no teor de MS foram verificados nas silagens de cana para cada 1% de inclusão de glicerina. Conforme Dias et al., (2014), o incremento no teor de MS é justificado pela densidade da glicerina e suas propriedades higroscópicas, que permitem ligar (ligações covalentes) com os átomos e moléculas de água do material ensilado, aumentando assim a massa seca do material ensilado. Segundo Ítavo et al. (2010), os valores de MS dos tratamentos (5%, 10% e 15%) avaliados por estarem acima de 30% são considerados ideais para confecção de silagens de boa qualidade por proporcionarem facilidade na compactação da massa a ser ensilada, considerando o tamanho de partículas ideal (2 cm), o que pode se refletir na redução das perdas durante a ensilagem.

A inclusão de glicerina bruta aumentou em média 54,1% os teores de EE da silagem de cana, em relação à silagem sem glicerina que apresentou 2,1% de EE ($P \leq 0,05$). Entre os diferentes níveis (controle e maior nível de inclusão), o aumento observado foi de 35,8%, sendo 0,2380% para cada 1% de inclusão de glicerina. O elevado teor de EE na composição da glicerina (10,0%), possivelmente, justifica esse incremento no teor de EE, conforme também verificado por Dias et al., (2014) e Rigueira et al., (2017). A presença de contaminantes como óleo, álcool e catalizador na glicerina bruta foi reportada por Soares et al. (2010) como fator que explicaria a maior proporção de EE (10,0%). Além disso, Dias et al., (2014) definiram que a glicerina pode ser caracterizada como um ingrediente energético, sendo capaz de aumentar a densidade energética da silagem, o que pode ser observado na presente pesquisa com o aumento do EE da silagem de cana. Entretanto, esse incremento, mesmo com a inclusão de 15% de glicerina, não excede o recomendado pelo NRC (2001) que estipula um limite de 6 a 7% desse nutriente (EE). Segundo Palmquist e Jenkins (1980) os ruminantes são relativamente intolerantes a altos níveis de EE na dieta, e a ingestão de matéria seca e digestibilidade da fração fibrosa normalmente reduz quando os níveis de gordura excedem 6% na MS. O teor de extrato etéreo pode afetar a fração fibrosa decorrente da inibição do crescimento de bactérias, especialmente as celulolíticas, e de protozoários (Tamminga e Doreau, 1991), e do recobrimento físico da fibra por lipídeos, que dificultaria a ação dos microrganismos (Jenkins e McGuire, 2006). Logo, o consumo exclusivo de silagem de cana com 15% de glicerina não seria limitado pelo teor de EE e sim por outros nutrientes como a proteína bruta (PB), que apresentou média de 3,2% ($P \geq 0,05$), sendo de 6 a 8% o recomendado para crescimento e desenvolvimento dos microrganismos ruminais (Van Soest, 1994).

Os teores de FDN, FDA e HEM foram influenciadas com a inclusão de glicerina ($P \leq 0,05$). Para unidade de inclusão da glicerina houve redução na ordem de 0,4030% no teor de FDN. Para os teores de FDA e HEM, as médias ajustaram-se ao modelo quadrático de regressão, sendo a dose de glicerina de 11,30% e 6,75% que minimizou a concentração destes na MS. Com base na composição da glicerina (Tabela 1), não há nenhum fator que pode influenciar os componentes da parede celular. No entanto, com a inclusão de glicerina na ensilagem da cana houve efeito de diluição, o que promove diminuição nos componentes da parede celular.

Rigueira et al., (2017) também verificaram efeitos de diluição sobre os teores de FDN e HEM. É válido ressaltar que mesmo com redução dos teores de FDN com a inclusão de glicerina de até 15%, o mínimo de 28% de FDN (Van Soest, 1994) exigido para ruminantes foi mantido.

Os teores de CT, CNF e NDT foram afetados significativamente ($P \leq 0,05$) pelo uso de glicerina na ensilagem da cana-de-açúcar. Para as variáveis CT e CNF as médias ajustaram-se ao modelo quadrático de regressão, sendo a dose de 12,10% e 4,29%, respectivamente. O teor de NDT da silagem de cana-de-açúcar incrementou 1,2131 unidades percentuais para 1% de inclusão de glicerina, chegando há aumentos de 30,3% em relação a silagem sem aditivo (dose 0%) que apresentou 49% de NDT. O componente da glicerina, o glicerol, é o responsável por incrementar grande parte do CNF e NDT da silagem de cana conforme Dias et al. (2014). É interessante destacar que os CNF são rapidamente fermentados no rúmen e convertidos em ácidos graxos de cadeia curta e proteína microbiana principalmente. Segundo Lee et al. (2011), 80% do glicerol é metabolizado no rúmen produzindo principalmente ácido propiônico e apresenta potencial para reduzir metano entérico. Além de incrementar a densidade energética da dieta (Rigueira et al., 2017). Logo, a silagem de cana aditivada com glicerina bruta apresenta grande potencial para reduzir a inclusão de ingredientes energéticos na dieta.

A inclusão de glicerina bruta na silagem de cana-de-açúcar proporcionou incrementos no teor de MS, resultando em efetividade do aditivo em minimizar perdas durante o processo de fermentação (Dias et al., 2014). Assim, os níveis crescentes de glicerina bruta como aditivo na ensilagem da cana-de-açúcar melhoraram a composição nutricional e diminuíram as perdas.

CONCLUSÕES

A adição de glicerina bruta na ensilagem de cana-de-açúcar até 15%, na matéria natural, reduz perdas durante a fermentação e melhora o valor nutricional. Entretanto, há necessidade de mais estudos com a glicerina bruta como aditivo na ensilagem de forrageiras.

AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG, Banco do Nordeste, CNPq e CAPES pelo auxílio financeiro e pelas bolsas de estudo concedidas.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO - ANP. **Boletim mensal do Biodiesel**: Superintendência de Refino, Processamento de Gás Natural e Produção de Biocombustíveis. Fevereiro de 2017. Disponível em http://www.anp.gov.br/wwwanp/images/publicacoes/boletins-anp/Boletim_Mensal_do_Biodiesel/2017/Boletim_Biodiesel_FEVEREIRO_2017.pdf. Acessado em 27 de Novembro de 2017.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Agricultural Chemists**. Official methods of analysis. 16.ed. Washington, D.C.: AOAC, 1990. 1094p.
- BOLSEN, K.K.; LIN, C.; BRENT, B.E.; GADEKEN, D. Effect of silage additives on the microbial succession and fermentation process of alfalfa and corn silages. **Journal of Dairy Science**, v. 75, p.3066-3083, 1992. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(92\)78070-9](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(92)78070-9)
- BORGHI, T.H.; SILVA SOBRINHO, A.G.; MERLIM, F.A.; ALMEIDA, F.A.; ZEOLA, N.M. B.L.; CIRNE, L. G.A.; LIMA, A.R.C. Características qualitativas de hambúrgueres e kaftas elaboradas com carne de cordeiros alimentados com glicerina. **Boletim de Indústria Animal**, v.73, p.290-296, 2016. <https://doi.org/10.17523/bia.v73n4p290>
- CUNHA, C. M.; FERNANDES, A. R. M.; CORNÉLIO, T. C.; RICARDO, H. A.; ALVES, L. G. C.; SENO, L. O.; OSÓRIO, J. C. S. Tissue composition, quality traits and fatty acid profile of longissimus muscle of lambs fed increasing levels of crude glycerin. **Boletim de Indústria Animal**, v.73, p.310-318, 2016. <https://doi.org/10.17523/bia.v73n4p310>
- DIAS, A.M.; ÍTAVO, L.C.V.; ÍTAVO, C.C.B.F.; BLAN, L.R.; GOMES, E.N.O.; SOARES, C.M.; LEAL, E.S.; NOGUEIRA, E.; COELHO, E.M. Ureia e glicerina bruta como aditivos na ensilagem de cana-de-açúcar. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 66, p. 1874-1882, 2014. <https://doi.org/10.1590/1678-7349>
- DITCHFIELD, C. **Estudos dos métodos para a medida da atividade de água**. 2000. 195 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. <https://doi.org/10.11606/d.3.2000.tde-06112001-090117>
- EVANGELISTA, A.R.; SIQUEIRA, G.R.; LIMA, J.A.; LOPES, J.; REZENDE, A.V. Perfil fermentativo de silagens de cana-de-açúcar com e sem inclusão de milho desintegrado com palha e

- sabugo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 20-26, 2009.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v.38, p.109-112, 2014. <https://doi.org/10.1590/s1413-70542014000200001>
- GREENHILL, W.L. Plant juice in relation to silage fermentation. **Journal of the British Grassland Society**, v.19, p.336-339, 1964. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1964.tb01137.x>
- ÍTAVO, L.C.V.; ÍTAVO, C.C.B.F.; MORAIS, M.G.; DIAS, A.M.; COELHO, E.M.; JELLER, H.; SOUZA, A.D.V. Composição química e parâmetros fermentativos de silagens de capim-elefante e cana-de-açúcar tratadas com aditivos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 11, p. 606-617, 2010.
- JENKINS, T.C.; MCGUIRE, M.A. Major advances in nutrition: impact on milk composition. **Journal of Dairy Science**, v. 89, p.1302-1310, 2006. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(06\)72198-1](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(06)72198-1)
- JOBIM, C.C.; NUSSIO, L.G.; REIS, R.A.; SCHMIDT, P. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 101-120, 2007. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982007001000013>
- KERR, B.J.; WEBER, T.E.; DOZIER, W.A.; KIDD, M.T. Digestible and metabolizable energy content of crude glycerin originating from different sources in nursery pigs. **Journal of Animal Science**, v. 87, p. 4042-4049, 2009. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1676>
- LAGE, J.F.; PAULINO, P.V.R.; PEREIRA, L.G.R.; VALADARES FILHO, S.C.; OLIVEIRA, A.S.; DETMANN, E.; SOUZA, N.K.P.; LIMA, J.C.M. Glicerina bruta na dieta de cordeiros terminados em confinamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.1012-1020, 2010. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2010000900011>
- LEE, S.Y.; LEE, S.M.; CHO, Y.B.; KAM, D.K.; LEE, S.C.; KIM, S.H.; SEO, S. Glycerol as a feed supplement for ruminants: In vitro fermentation characteristics and methane production. **Animal Feed Science and Technology**, v.166 - 167, p. 269- 274, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.070>
- LICITRA, G.; HERNANDEZ, T.M.; VAN SOEST, P.J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v. 57, p. 347-358, 1996. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(95\)00837-3](https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00837-3)
- MCDONALD, P.; HENDERSON, A.R.; HERON, S.J.E. **The biochemistry of silage**. 2.ed. Marlow: Chalcomb Publication. 1991. 340p.
- MUCK, R.E. Factors influencing silage quality and their implications for management. **Journal of Dairy Science**, v. 71, p. 2992-3002, 1988. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(88\)79897-5](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(88)79897-5)
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7. ed. Washington: National Academy Press, 2001. 381 p.
- ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - OECD-FAO. **OECD-FAO agricultural outlook 2010-2019**. Paris: OECD Publishing, 2010.
- PALMQUIST, D.L.; JENKINS, T.C. Fat in lactation rations: review. **Journal of Dairy Science**, v. 63, p. 1-14, 1980. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(80\)82881-5](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(80)82881-5)
- RIGUEIRA, J.P.S.; MONÇÃO, F.P.; SALES, E.C.J.; BRANT, L.M.S.; PIRES, D.A.A.; MATOS, A.M.; LEITE, G.D.O.; SILVA, J.T.; FONSECA, J.D.R.; MOURA, M.M.A. ; ROCHA JÚNIOR, V.R. Crude glycerin levels in ensiling grass Tifton 85 (*Cynodon dactylon*): fermentative profile and nutritional value. **Revista de Ciências Agrárias**, v.40, p.654-663, 2017.
- RUPPEL, K.A.; PITT, R.E.; CHASE, L.E.; GALTON, D.M. Bunker silo management and its relationship to forage preservation on dairy farms. **Journal of Dairy Science**, v. 78, p. 141-153, 1995. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(95\)76624-3](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(95)76624-3)
- SANVITO, E.; MESSANA, J.D.; CASTAGNINO, P.S.; GRANJA-SALCEDO, Y.T.; DALLANTONIA, E.E.; BERCHIELLI, T.T. Effect of crude glycerine in supplementon the intake, rumen fermentation, and microbial profile of Nellore steers grazing tropical grass. **Livestock Science**, v.192, p.17-24, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.08.011>
- SCHMIDT, P.; ROSSI JUNIOR P.; JUNGES D.; DIAS, L.T.; ALMEIDA, R.; MARL, L.J. Novos aditivos microbianos na ensilagem da cana-de-açúcar: composição bromatológica, perdas fermentativas, componentes voláteis e estabilidade aeróbia. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, p.543-549, 2011. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982011000300011>
- SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D.; VAN SOEST, P.J.; FOX, D.G.; RUSSELL, J.B. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability.

- Journal of Animal Science**, v.70, p.3562-3577, 1992. <https://doi.org/10.2527/1992.70113562x>
- SOARES, C.M.; ÍTAVO, L.C.V.; DIAS, A.M.; ARRUDA, E.J.; DELBEN, A.A.S.T.; OLIVEIRA, S.L.; OLIVEIRA, L.C.S. Forage turnip, sunflower, and soybean biodiesel obtained by ethanol synthesis: Production protocols and thermal behavior. **Fuel**, v. 89, p. 3725-3729, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.07.024>
- TAMMINGA, S.; DOREAU, M. Lipids and rumen digestion. In: JOUANY, J.P. (Ed.). **Rumen microbial metabolism and ruminant digestion**. Paris: Institut National de la Recherche Agronomique, 1991. p.151-164.
- THOMPSON, J.C.; HE, B.B. Characterization of crude glycerol from biodiesel production from multiple feed stock. **Applied engineering in agriculture**, v. 22, p.261-265, 2006. <https://doi.org/10.13031/2013.20272>
- VAN SOEST, P. **Nutritional Ecology of the Ruminant**. 2. ed. New York: Cornell University Press, 1994. 476p.
- VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber neutral detergent and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v. 74, p.3583-3597, 1991. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(91)78551-2)
- WEISS, W.P. Estimating the available energy content of feeds for dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.81, p. 830-839, 1998. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(98\)75641-3](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(98)75641-3)