



**GREICIELE DE MORAIS**

**COPRODUTOS DO BIODIESEL NA  
ENSILAGEM DA CANA-DE-AÇÚCAR**

**LAVRAS - MG**

**2012**

**GREICIELE DE MORAIS**

**COPRODUTOS DO BIODIESEL NA ENSILAGEM DA  
CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção e Nutrição de Ruminantes, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Antônio Ricardo Evangelista

**LAVRAS - MG**

**2012**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca da UFLA**

Morais, Greiciele de.

Coprodutos do biodiesel na ensilagem da cana-de-açúcar /  
Greiciele de Moraes. – Lavras : UFLA, 2012.  
56 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: Antônio Ricardo Evangelista.

Bibliografia.

1. Fermentação. 2. Torta do biodiesel. 3. Silagem. 4. Aditivos. I.  
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 636.08552

**GREICIELE DE MORAIS**

**COPRODUTOS DO BIODIESEL NA ENSILAGEM DA  
CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção e Nutrição de Ruminantes, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em \_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

Dr. \_\_\_\_\_

Dr. \_\_\_\_\_

Dr. \_\_\_\_\_

Dr. Antônio Ricardo Evangelista

Orientador

**LAVRAS - MG**

**2012**

**Aos meus pais, que mesmo desconhecendo do que se tratava o Mestrado,  
sempre me apoiaram de todas as maneiras possíveis.**

**Dedico**

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Zootecnia, por viabilizar a execução dessa pesquisa.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Prof. Antônio Ricardo Evangelista, pela orientação e confiança, pela honra de ter partilhado um pouco da sua experiência e pelos ensinamentos, não só acadêmicos, como também sobre a vida e as relações humanas no trabalho.

Ao Prof. Thiago Fernandes Bernardes, pelo investimento desmedido na minha formação profissional. Para mim, também fostes um orientador e levarei sempre seus conselhos.

À Dra. Carla Luiza da Silva Ávila, pelas portas sempre abertas, pelo exemplo, paciência e pelos ensinamentos tão valiosos.

À Profa. Rosane Freitas Schwan, pelos ensinamentos e exemplo de profissionalismo.

Às amigas de Departamento Juliana e Amanda pela doação a essa pesquisa, seja no campo ou laboratório e independente da hora. Vocês foram fundamentais para que ele se concretizasse.

Ao Prof. Mauro da Unesp de Jaboticabal pela solicitude e apoio enquanto estive no Laboratório daquela Instituição.

Aos colegas do Nefor pela colaboração e experiências partilhadas.

Ao Prof. Pedro Castro Neto e ao G-Óleo da UFLA pela doação das tortas e estímulo às pesquisas com coprodutos do biodiesel.

## RESUMO

A utilização da cana-de-açúcar sob a forma de silagem vem aumentando no Brasil, no entanto, durante a fermentação da forrageira o crescimento de leveduras resulta na produção de etanol, com conseqüentes perdas de matéria seca e de valor nutritivo. As tortas obtidas como coprodutos da produção do biodiesel constituem materiais potencialmente utilizáveis para melhorar o processo fermentativo dessa cultura. O objetivo desse estudo foi avaliar o efeito da inclusão das tortas de girassol (*Helianthus annuus L.*) - TG, macaúba (*Acrocomia aculeata (Jacq.)*) - TM e nabo-forrageiro (*Raphanus sativus L.*) - TN como aditivos em silagens de cana-de-açúcar, nas concentrações 0, 5, 10 e 15%, base na matéria fresca de forragem picada. A silagem foi produzida em baldes com capacidade para 15 L, que permaneceram fechados durante 152 dias. A qualidade das silagens foi avaliada por meio de análises químicas e microbiológicas. A matéria seca das silagens foi aumentada em função da inclusão crescente dos aditivos, com médias de 24.5, 27.3, 29.9 e 33.3%, respectivamente ( $P < 0,05$ ). Silagens contendo TG tiveram a produção de etanol reduzida, além de apresentarem incremento protéico e teores de fibra nutricionalmente interessantes. Todavia, fermentações secundárias ocorreram e os teores elevados de extrato-etéreo podem ser limitantes para a utilização das silagens como volumoso único. Silagens contendo TM apresentaram perfil fermentativo adequado, todavia o aditivo não foi efetivo em reduzir o teor de etanol das silagens. Além disso, o valor nutritivo foi prejudicado em função de teores elevados de fibra. As silagens acrescidas de TN apresentaram melhorias nas características nutricionais, porém a inclusão da torta resultou em perfil fermentativo inadequado, com teores elevados de etanol, ácido propiônico e ácido butírico. Dessa forma, silagens contendo TG podem ser utilizadas na inclusão de 5%, em mistura com outro volumoso de menor teor de gordura e outras formas de utilização para TM e TN devem ser preferidos, em vez de sua aplicação como aditivos em silagens de cana-de-açúcar.

Palavras-chave: Fermentação. Torta do biodiesel. Silagem. Aditivos.

## ABSTRACT

The sugarcane use in the form of silage is increasing in Brazil, however, during fermentation of forage the yeast growth results in the production of ethanol, with consequent loss of dry matter and nutritive value. Cakes obtained as co-products of biodiesel production are potentially useful materials to improve the fermentation process of this culture. The aim of this study was to assess the inclusion effect of sunflower (*Helianthus annuus L.*) cake - SC, macauba (*Acrocomia aculeata (Jacq.)*) cake - MC and forage-turnip (*Raphanus sativus L.*) cake - TC as additives in sugarcane silages at concentrations 0, 5, 10 and 15%, based on fresh matter of chopped forage. The silage was produced in buckets with a capacity of 15 L, which remained closed for 152 days. The silage quality was evaluated by means of chemical and microbiological analyzes. The dry matter of silage was increased due to the increasing inclusion of additives, with averages 24.5, 27.3, 29.9 and 33.3%, respectively ( $P < 0.05$ ). Silages containing SC had production of ethanol reduced, in addition to having increased protein and fiber contents nutritionally interesting. However, secondary fermentation occurred and the high levels of ether-extract may be limiting for the use of silage as single roughage. Silages containing MC showed adequate fermentation profile, however the additive was not effective in reducing the ethanol content of the silage. In addition, the nutritional value has been damaged due to high levels of fiber. The silages added TC showed improvements in nutritional characteristics, however the inclusion of the cake has resulted in inadequate fermentation profile, with high levels of ethanol, propionic acid and butyric acid. Thus, silages containing SC can be used in the inclusion of 5%, in mixture with other roughage lower fat content and other uses for MC and TC are preferred, instead of its application as additives in sugarcane silage.

Keywords: Fermentation. Biodiesel cake. Silage. Additives.



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Caracterização química de tortas do biodiesel utilizadas como aditivos .....	26
Tabela 2	Composição química da cana-de-açúcar <i>in natura</i> acrescida ou não de tortas do biodiesel utilizadas como aditivos no momento da ensilagem.....	27
Tabela 3	Composição química de silagens de cana-de-açúcar acrescidas ou não das tortas de girassol, macaúba e nabo-forrageiro, como aditivos .....	35
Tabela 4	Características fermentativas de silagens de cana-de-açúcar acrescidas ou não das tortas de girassol, macaúba e nabo-forrageiro, como aditivos .....	43

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	12
<b>2.1</b>	<b>O papel da cana-de-açúcar e das oleaginosas na matriz energética brasileira</b> .....	12
<b>2.2</b>	<b>Cana-de-açúcar: ensilagem</b> .....	13
<b>2.3</b>	<b>Aditivos absorventes de umidade</b> .....	14
<b>2.4</b>	<b>Coprodutos do biodiesel: Tortas</b> .....	17
<b>2.4.1</b>	<b>Torta de Macaúba</b> .....	17
<b>2.4.2</b>	<b>Torta de Nabo-forrageiro</b> .....	19
<b>2.4.3</b>	<b>Torta de Girassol</b> .....	21
<b>2.5</b>	<b>Os ácidos graxos e o crescimento microbiano</b> .....	22
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	25
<b>3.1</b>	<b>Obtenção de amostras e procedimentos analíticos</b> .....	27
<b>3.2</b>	<b>Delineamento e Análises estatísticas</b> .....	30
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	31
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	46
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	47

## 1 INTRODUÇÃO

O biodiesel é resultado de um processo de transesterificação, que é a reação de um óleo vegetal ou gordura animal com álcool, na presença de um catalisador. Como produtos, são gerados os ésteres, nome químico do biodiesel e a glicerina. Além disso, são obtidos diversos coprodutos como as tortas e farelos (ABDALLA et al., 2008).

A composição nutricional das tortas do biodiesel é variável, sobretudo quanto ao teor de gordura, com variações de 3 a 24%, sendo empregadas mais comumente em adubação orgânica, geração de energia e alimentação animal (ABDALLA et al., 2008). A utilização das tortas na alimentação animal é feita, basicamente, na forma de alimento concentrado alternativo para rações (COSTA et al., 2005; GOES et al., 2010; OSUJI; SIBANDA; NS AHLAI, 1993).

Poucos trabalhos têm avaliado a utilização das tortas como aditivos em silagens e, normalmente, essa inclusão é feita para elevar o teor de MS em silagens de forrageiras com alta umidade, como o capim-elefante (NEIVA JÚNIOR et al., 2010; PATIÑO-PARDO et al., 2008), não sendo encontrados relatos de avaliações do potencial das tortas como aditivos em silagens de cana-de-açúcar.

A cana-de-açúcar é estrategicamente fornecida sob a forma de silagem para rebanhos leiteiros e de corte no Brasil, pois essa prática resolve os problemas logísticos do fornecimento da cana-de-açúcar in natura picada. Trata-se de uma cultura com elevada capacidade fermentativa (KAISER; WEIB; POLIP, 2002), devido aos teores adequados de matéria seca, baixo poder tamponante e riqueza em açúcares solúveis. Todavia, a fermentação é marcada por atividade intensa de leveduras, com conseqüentes produção de etanol e perdas de matéria seca (PEDROSO et al., 2005).

O emprego de aditivos em silagens de cana-de-açúcar visa melhorar o processo fermentativo da cultura, porém, os resultados ainda são bastante variáveis (SCHMIDT et al., 2009). Recentemente, perspectivas positivas quanto ao uso de aditivos microbianos foram observadas para a inoculação com novas cepas de microrganismos isolados da própria cultura da cana-de-açúcar (ÁVILA et al., 2008, 2009, 2010).

Dentro do contexto do uso de aditivos sequestradores de umidade resultados satisfatórios foram obtidos para silagens de cana-de-açúcar acrescida de rolão de milho (ANDRADE et al., 2001; BERNARDES et al., 2007) e de resíduo de colheita da soja (FREITAS et al., 2006a, 2006b), por exemplo.

A utilização das tortas do biodiesel como aditivo em silagens implicará na adição de ácidos graxos de cadeia longa ao processo fermentativo e, nesse aspecto, pesquisas com cultivos *in vitro*, confirmaram que alguns ácidos graxos, como o oléico, estimularam o crescimento de microrganismos do gênero *Lactobacillus* (CORCORAN et al., 2007; ENDO et al., 2006; PARTANEN et al., 2001) e que outros, como cáprico e caprílico, apresentam efeito inibitório sobre fungos e leveduras em silagens (ABEL et al., 2002; WOOLFORD, 1984).

Isso sugere a possibilidade de que as tortas oriundas do processo de produção do biodiesel, por terem alta MS e serem ricas em ácidos graxos, possam atuar favoravelmente como aditivos para a obtenção de silagens de cana-de-açúcar de qualidade.

O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da inclusão das tortas de girassol, macaúba e nabo-forrageiro sobre aspectos nutricionais e fermentativos de silagens de cana-de-açúcar.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 O papel da cana-de-açúcar e das oleaginosas na matriz energética brasileira**

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar e etanol do mundo e o combustível produzido no Brasil, a partir da cana-de-açúcar, conta com projeções positivas para os próximos anos, devidas principalmente, ao crescimento do consumo interno. A produção projetada para 2019 é de 58,8 bilhões de litros, mais que o dobro da registrada em 2008. O consumo interno está projetado em 50 bilhões de litros e as exportações em 8,8 bilhões (BRASIL, 2012).

A regulamentação da produção do biodiesel determinou a obrigatoriedade de inclusão de 5% do biocombustível no óleo diesel de petróleo comercializado em território nacional (BRASIL, 2005). No ano de 2010, a capacidade produtiva nominal foi de cerca de 5,8 bilhões de litros, entretanto, a produção efetiva foi de 2,4 bilhões de litros, o que correspondeu a 41% da capacidade total (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO - ANP, 2011).

A produção do biodiesel é dependente das produtoras de óleo vegetal, uma vez que cerca de 80% do biocombustível é produzida a partir da soja. Outras fontes graxas usadas em 2010 foram: sebo bovino, óleos de palma, algodão, girassol, sésamo, amendoim, nabo-forrageiro e óleo de fritura usado, além das gorduras de frango e porco, entre outras (ANP, 2011).

## 2.2 Cana-de-açúcar: ensilagem

A cana-de-açúcar mantém seu valor nutritivo durante os meses de inverno, sendo tradicionalmente fornecida picada aos animais. A ensilagem dessa cultura tem sido utilizada para evitar as operações diárias de corte e transporte, além de poder colaborar para o aumento da produtividade e da vida útil dos canaviais pela maior eficiência nos cuidados pós-colheita, como capina e fertilização, além de prevenir a perda total da forragem em casos de incêndio ou geada (PEDROSO, 2007).

Diversas características favoráveis da cana-de-açúcar para produção de silagem devem ser ressaltadas, como a riqueza em carboidratos solúveis, variando de 17,8 a 23% (BERNARDES et al., 2007; PEDROSO et al., 2005; SANTOS et al., 2008); o baixo poder tamponante, variando de 7 a 10,04 e.mg de HCl/100g de MS (BERNARDES et al., 2007; SANTOS et al., 2008; SIQUEIRA et al., 2007a) e o adequado teor de MS, variando de 26 a 37,2% (BERNARDES et al., 2007; FREITAS et al., 2006b; SANTOS et al., 2008; SCHMIDT et al., 2007; SIQUEIRA et al., 2007a, 2011), características que, em conjunto, favorecem um rápido abaixamento do pH dessas silagens, conforme constatado por Evangelista et al. (2009) e Pedroso et al. (2005).

No entanto, a atividade fermentativa de leveduras resulta na produção de altas concentrações de etanol, desencadeando perdas de MS (PEDROSO et al., 2005), além de deterioração das silagens, com aumento do pH e risco de desenvolvimento de microrganismos patogênicos oportunistas (PEDROSO, 2007).

Em condições anaeróbicas, as leveduras competem com as bactérias ácido-láticas (BAL) por carboidratos (WOOLFORD, 1984). Segundo McDonald, Henderson e Heron (1991), as leveduras são capazes de sobreviver sob baixas concentrações de oxigênio e em ambientes com pH muito ácido (pH

< 4,0). Essas características lhes conferem vantagens para que dominem o processo fermentativo em silagens de cana-de-açúcar. Desse modo, durante o período de armazenamento da silagem, açúcares como glicose, maltose e sacarose são fermentados ativamente pelas leveduras, gerando como principais produtos o etanol e o CO<sub>2</sub> (PAHLOW et al., 2003).

Dessa forma, com vistas a controlar as perdas que ocorrem tanto no armazenamento quanto após exposição de silagens de cana-de-açúcar ao ar, o uso de aditivos é apontado como uma importante ferramenta na ensilagem dessa cultura (PEDROSO et al., 2005; SIQUEIRA et al., 2007a, 2007b, 2010).

### **2.3 Aditivos absorventes de umidade**

A inclusão de materiais absorventes em silagens promove aumento no teor de MS, podendo garantir melhores condições para as fermentações desejáveis (JONES; JONES, 1995).

Além de reduzir a produção de efluentes e o risco de poluição, melhorias na fermentação das silagens podem ocorrer caso o material adicionado seja rico em açúcares. A incorporação de alimentos secos de alta qualidade pode melhorar ainda o consumo animal, principalmente se for obtida uma mistura homogênea, o que pode dispensar ou reduzir também a necessidade de fornecimento de alimentos em separado, bem como sua estocagem. Como desvantagens do seu uso, destacam-se a necessidade de mão-de-obra e de maquinário para aplicação (JONES; JONES, 1996).

A capacidade de reter água de diversos aditivos é variável, conforme avaliado por Dexter (1961), que identificou influência da moagem e do tipo de absorvente, com maior poder de retenção para os materiais processados finamente e para os materiais ricos em fibra, como fenos e palhas, que se mostraram mais eficientes do que grãos moídos finos.

Segundo McDonald, Henderson e Heron (1991), um conteúdo de MS superior a 20% e um nível adequado de carboidratos solúveis são suficientes para garantir um processo fermentativo de qualidade. Isso sugere a necessidade de cautela na inclusão de aditivos absorventes de umidade em silagens de cana-de-açúcar sob pena de dificuldades de compactação e aeração excessiva da massa caso o teor de matéria seca seja elevado em demasia.

Alguns resultados envolvendo o uso de aditivos seqüestradores de umidade em silagens de cana-de-açúcar apontaram efeitos positivos desses materiais sobre a qualidade das silagens. Bernardes et al. (2007) trabalharam com milho desintegrado com palha e sabugo – MDPS, nas doses 0, 5 ou 10%, base na matéria verde. O pH das silagens não foi influenciado pelos tratamentos e se manteve na faixa de 3,4 a 3,7. A adição de MDPS promoveu redução do teor de N-NH<sub>3</sub>, além de maiores valores de PB, indicando que a redução da atividade de água (Aw) das silagens pode provocar menor atividade de clostrídeos. O teor de etanol foi discretamente reduzido com a inclusão do aditivo.

Evangelista et al. (2009) avaliaram a inclusão de 10% de MDPS, base na matéria natural, observando elevação no valor de pH de 0,09 unidades em relação à silagem controle e elevação dos teores de N-NH<sub>3</sub>, apesar de os valores finais terem sido considerados baixos (inferiores a 3%, base N total). O aditivo reduziu as perdas de MS, que foram da ordem de 14,1 unidades percentuais nas silagens controle e de 8,8 unidades percentuais naquelas com MDPS. Quanto à fração fibrosa, apesar dos menores valores observados nas silagens tratadas, não se pode dizer que o MDPS foi eficiente no controle da elevação da FDN, pois o aumento foi de 20 e 17 unidades percentuais nas silagens controle e com MDPS, respectivamente, esse último resultado relacionado ao menor teor de FDN no aditivo.



Resultados de controle da fermentação alcoólica foram apresentados por Andrade et al. (2001), que trabalharam com MDPS nas doses 0, 4, 8 e 12%, base na matéria verde, em cana-de-açúcar acrescida de 0,5% de uréia. Observou-se um decréscimo linear na produção de etanol, à medida que a matéria seca da silagem foi aumentada pela inclusão do aditivo. Não houve significância entre os tratamentos quanto ao pH, nitrogênio amoniacal e teores de ácido acético e láctico. Não foi detectado ácido butírico e os teores de ácido propiônico se mantiveram baixos próximo a 0,04%, sendo as silagens classificadas como de qualidade pelos autores.

Trabalhando com resíduo da colheita de soja (10% de inclusão, base na matéria verde) como aditivo único ou associado a aditivos microbianos, Freitas et al. (2006a) constataram menores concentração dos constituintes da fibra e maiores teores de MS para os tratamentos com inclusão do resíduo. Isso foi confirmado pela maior concentração de carboidratos solúveis no tratamento somente com resíduo e pelos menores valores de perda total de MS nos tratamentos com resíduo nas silagens. Todavia, tanto as perdas de MS quanto os teores de etanol foram considerados elevados. A inclusão do resíduo elevou significativamente os valores de pH, que variaram de 3,5 (controle) a 3,9 (tratamento somente com resíduo). Os tratamentos com o resíduo apresentaram média de 4,7% de N-NH<sub>3</sub> (60% inferior aos demais tratamentos). A população de leveduras não foi controlada pelo aumento de matéria seca das silagens, porém, esse aumento foi considerado eficiente em diminuir sua atividade, o que foi evidenciado pelos menores teores de etanol presentes nos tratamentos com teores de MS mais elevados. Freitas et al. (2006b) observaram da mesma forma, eficiência do resíduo de colheita de soja em promover melhorias nutricionais na silagem e reduzir as perdas de matéria seca e a produção de etanol das silagens.

Lopes e Evangelista (2010) avaliaram os aditivos uréia, exclusiva ou associada aos aditivos absorventes milho e mandioca desidratada; além de

amiréia e da cana-de-açúcar controle. Esses autores observaram que o maior teor de MS e o menor teor FDN foram obtidos com a associação de uréia e milho, com reflexos positivos sobre o padrão fermentativo da silagem. Esse tratamento (0,5 de uréia + 4% de milho) foi associado à inibição do crescimento de leveduras, todavia o mesmo não foi observado quando a uréia estava associada à mandioca desidratada.

## **2.4 Coprodutos do biodiesel: Tortas**

As tortas são obtidas após a extração mecânica do óleo das sementes e os farelos após a extração por solventes. Desse modo, os farelos constituem um resíduo bastante inferior em óleos, da ordem de 1,5%, o que resulta em maior teor de proteína bruta. Deve-se salientar que, apesar de ser menos eficiente na retirada da fração lipídica, a extração mecânica por prensa constitui o sistema mais viável em pequena escala, por não depender das exigências de instalações e segurança inerentes ao processamento com uso de solvente (SOUZA et al., 2009).

A obtenção dos coprodutos varia de acordo com a cultura oleaginosa. Como exemplo, os teores mínimos de farelo produzidos a partir do processamento da soja, palma, algodão, amendoim e mamona são de 72, 22, 80, 48 e 50%, respectivamente (BRASIL, 2009).

### **2.4.1 Torta de Macaúba**

A macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lood. ex Mart.] é uma palmeira arborecente, espinhosa, com mais de 16 m de altura (SCARIOT et al., 1991, 1995). Cada inflorescência produz em média 60 frutos, de textura lisa, formato globoso, com 2,5 a 5,0 cm de diâmetro, coloração marrom-amarelada,

apresentando mesocarpo branco ou amarelado, fibroso e mucilaginoso. O fruto da macaúba contém uma amêndoa oleaginosa, contendo de um a três embriões viáveis, envolvida por um endocarpo rígido. A macaúba frutifica principalmente de setembro a janeiro (LORENZI, 1992; NUCCI, 2007; SCARIOT et al., 1995).

A capacidade de produção de óleo vegetal da macaúba pode chegar a 4.000 L ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, lembrando que através de plantios racionais e de programas de melhoramento genético, esse valor pode aumentar consideravelmente, oferecendo potencial para produção de biodiesel, proporcionando vantagens ambientais, econômicas e sociais (NUCCI, 2007).

O interesse pelo óleo de macaúba é crescente, devido a alta qualidade do mesmo, com valores nutricionais próximos ao azeite de oliva. Após o processo de extração, são obtidos dois tipos de óleo: o da polpa, que é esverdeado e aproveitado como biodiesel ou na indústria de cosméticos e o óleo da amêndoa, que é mais nobre, de coloração amarelada, podendo ser empregado na indústria alimentícia e cosmética (CIPRIANO, 2006).

O óleo da polpa apresenta alto teor de ácido oléico, próximo ao encontrado em óleos como o de oliva, amendoim e girassol. O óleo da amêndoa, por sua vez, apresenta não só altos teores de ácido oléico como também de ácido láurico, em comparação a óleos como o do babaçu, coco e palmiste (ALMEIDA et al., 1998).

O estado de Minas Gerais apresenta três áreas de ocorrência da macaúba: Alto Paranaíba, Zona Metalúrgica e Montes Claros, sendo que ela acompanha áreas de solos com fertilidade natural mais elevada e vegetação primitiva de fisionomia florestal (MOTTA et al., 2002).

A composição química da torta de macaúba foi determinada por Barreto (2008), que caracterizou o coproduto como altamente energético e fibroso, com modesto teor protéico, encontrando como valores de matéria seca de 87,81% e

para os demais parâmetros, com base na matéria seca os seguintes teores: Cinzas = 5,27; PB = 7,55; EE = 12,82; FDN = 62,68; FDA = 46,87 e NDT = 64,38.

#### **2.4.2 Torta de Nabo-forrageiro**

O nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg.) pertence à família das crucíferas, sendo uma planta anual, herbácea, ereta, muito ramificada, com altura variando entre 1,0 a 1,8m de altura (DERPSCH; CALEGARI, 1992). Essa cultura apresenta crescimento inicial extremamente rápido, cobrindo 70% do solo aos 60 dias após emergência (CALEGARI, 1990). Tal cultura é relevante como planta de cobertura de solo devido ao controle de plantas daninhas que exerce, além do bom efeito residual nas culturas de verão, especialmente quanto à incorporação de nitrogênio por meio de seus resíduos (MONEGAT, 1991). Recentemente, além do emprego em manejos conservacionistas, o nabo-forrageiro tem despertado interesse quanto ao emprego de seu óleo na produção de biocombustíveis.

Segundo Abdalla et al. (2008), o nabo-forrageiro é uma cultura presente nas regiões Sul, Sudeste e Centro Oeste do país, cultivada em ciclo curto, que vai de 100 a 120 dias. As plantas apresentam teor de óleo de 29% e produtividade de 500 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> o que gera um rendimento de óleo de 145 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Mandal et al. (2002) analisaram um grande banco de germoplasma de brássicas da Índia, e obtiveram teores de gordura para o nabo-forrageiro entre 30,7 e 35,6%, com média de 33,0%.

Ferrari, Regitano-d'Arce e Ribeiro (2005), pesquisando a fração lipídica do nabo-forrageiro, observaram teores de ácidos graxos insaturados superiores ao da soja, com destaque para os ácidos oléico, linoléico e linolênico. Na composição do óleo também foi encontrada a presença de ácido erúxico, o que determina a necessidade de maiores estudos quanto ao seu uso em rações devido

à possível presença de glucosinolatos (fatores antinutricionais encontrados na colza).

Sob o aspecto nutricional, a torta obtida da extração do óleo do nabo-forrageiro destaca-se pelo elevado teor protéico-energético e pela baixa constituição em fibra. Abdalla et al. (2008) realizaram uma compilação de dados sobre a composição química da torta, encontrando variações nos teores de PB de 34 a 38% e de EE entre 22 e 24%. Fortaleza (2007) obteve 15,43% de FDN para esta torta, enquanto Cleef (2008) encontrou 21,71% dessa fração na torta, baseado na matéria seca.

Neiva Júnior et al. (2010) analisaram a digestibilidade de silagens de capim-elefante aditivadas com tortas de nabo-forrageiro, pinhão manso e tremoço pela técnica de produção de gases, encontrando maiores taxas de degradação e maiores produções de gases para as silagens de capim-elefante adicionadas de tortas de nabo-forrageiro ou tremoço, comparadas àquela adicionada de torta de pinhão manso.

Patiño Pardo et al. (2008) trabalharam com inclusões de 3, 6 e 9% da torta em silagens de capim-elefante. Foram observadas reduções nos teores de MS, com o processo de ensilagem, e estes foram incrementados linearmente conforme a inclusão da torta. Os valores médios de pH e de N-NH<sub>3</sub> mantiveram-se adequados para obtenção de uma boa silagem, já os teores de NIDN e NIDA diminuíram linearmente com a inclusão do coproduto. A DIVMS também foi diminuída linearmente conforme aumentou a inclusão da torta, o que foi atribuído ao teor crescente de extrato etéreo, justificando sua correlação negativa (-0,95) com a digestibilidade. Como conclusão, apesar dos valores adequados de pH e N-NH<sub>3</sub>, os autores recomendam que a inclusão da torta não deve ser feita em níveis maiores que 3% na silagem de capim elefante.

### 2.4.3 Torta de Girassol

O girassol (*Helianthus annuus* L.) caracteriza-se por apresentar uma inflorescência conhecida como capítulo, de formato variando de côncavo a convexo. As plantas apresentam altura variável entre 50 e 400 cm e capítulos com diâmetros de 6 a 50 cm (CASTIGLIONI et al., 1994).

Abdalla et al. (2008) determinaram nas sementes, ou aquênios do girassol, um teor de óleo de 42%. Segundo Weiss (1983), o óleo de girassol é rico em ácidos graxos polinsaturados, com destaque para o ácido linoléico.

Sobre a produção do girassol no Brasil, segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2011), as regiões Centro-Oeste Sul são as principais regiões produtoras do país. A área cultivada com girassol no ano de 2011 foi de 55,2 mil hectares, gerando uma produção de 79.000 t do grão. Desse montante, a região centro-oeste respondeu por 82,73% da área e 85,32% da produção e a região sul, por 14,66% da área e 13,92% da produção nacional, sendo que a produção nacional pode ser considerada pouco expressiva.

No contexto mundial, os maiores produtores de girassol são a Rússia, União Européia e Ucrânia. Informações sobre a produção da torta não foram encontradas, mas quanto à produção mundial de farelo de girassol, a expectativa para a safra 2011/2010 seria de 14,6 milhões de toneladas (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA, 2012).

Análises da composição química da torta de girassol realizadas por Chung et al. (2009) e Neiva Junior et al. (2007) demonstraram que a torta é rica em proteína bruta (31,26; 27,79%, respectivamente), rica em extrato-etéreo (21,6; 19,90%, respectivamente) e com percentual de FDN de 48,35 e 39,63, respectivamente.

## 2.5 Os ácidos graxos e o crescimento microbiano

Pahlow et al. (2003) apontaram os ésteres de ácido oléico como constituintes requeridos para o crescimento de diversas espécies de BAL. De fato, Partanen et al. (2001) constataram resposta positiva em crescimento de cepas de *Lactobacillus delbrueckii*, um microrganismo geralmente utilizado na indústria de lácteos, quando em meio de cultura modificado, com inclusão de ácido oléico. Tal observação não foi confirmada quando se utilizou ácido graxo saturado, uma vez que o ácido láurico promoveu efeito inibitório para as cepas testadas. Da mesma forma, óleos ricos em ácidos graxos insaturados, como de oliva, linhaça e nabo foram mais efetivos, enquanto o óleo extraído de manteiga foi menos efetivo em promover crescimento microbiano.

O ácido oléico é incorporado à membrana das BAL e a seguir convertido em ciclopropano, cuja importância ainda não é bem definida, mas parece estar relacionado à proteção contra efeitos ambientais adversos, como temperaturas extremas, baixo pH, efeitos deletérios do oxigênio e proteção quando se atinge a fase estacionária de crescimento (PARTANEN et al., 2001).

Endo et al. (2006) trabalharam com cepas de *L. gasseri*, *L. plantarum* e *L. reuteri*, em meio de cultura modificado com inclusão de diferentes ácidos graxos. Dentre os ácidos graxos insaturados, o ácido oléico estimulou o crescimento de todas as cepas de *Lactobacillus* enquanto o ácido palmitoléico quase não teve efeito sobre o crescimento microbiano. Os ácidos graxos saturados, como esteárico e palmítico, inibiram ou não afetaram o crescimento das cepas de *Lactobacillus*. Os polinsaturados, como o ácido  $\alpha$ -linolênico, eicosapentaenóico e docosahexaenóico inibiram fortemente o crescimento microbiano. Os ácidos, linoléico conjugado e  $\alpha$ -eleosteárico, atuaram como promotores de crescimento. Resultados positivos sobre crescimento microbiano

em presença de ácido oléico e vaccênico também foram obtidos por Corcoran et al. (2007), trabalhando com *Lactobacillus rhamnosus*.

Confirmando o efeito protetor do ácido graxo ciclopropano produzido na membrana de *Lactobacillus* spp., Couto et al. (1996) pesquisaram a tolerância de *Lactobacillus hilgardii* em meio com elevado etanol e observaram aumento marcante na proporção de ácido lactobacílico (um ácido graxo ciclopropano) e diminuição dos ácidos oléico e vaccênico na composição da membrana plasmática desse microrganismo, com o aumento da concentração de etanol. Essa resposta adaptativa garantia fluidez e integridade da membrana em meio que favoreceria sua rigidez.

Nikkila et al. (1995) reportaram diferenças entre cepas de *Lactobacillus* quanto à capacidade de produzir esses ácidos graxos ciclopropanos. Foram avaliadas quatro cepas de *Lactobacillus buchneri* e duas cepas de *Lactobacillus brevis*, sob crescimento em meio de cultura com e sem Tween 80 (fonte de ácido oléico). Foram identificados dois tipos de ácido graxo ciclopropano, o ácido lactobacílico [cyc-19:0 (11c)] e o ácido dihydrostercúlico [cyc-19:0 (9c)], sendo que, sob crescimento em meio de cultura completo, as cepas de *L. buchneri* apresentaram as duas formas na constituição de suas membranas, enquanto as cepas de *L. brevis* só continham ácido dihydrostercúlico. Em meio de cultura modificado, sem fonte de ácido oléico, as cepas de *L. buchneri* e uma de *L. brevis* passaram a conter somente o ácido lactobacílico, ao passo que a outra cepa de *L. brevis* não sintetizou nenhum ácido graxo ciclopropano, comprovando diferenças no mecanismo biossintético dos microrganismos bem como a necessidade de suplementação com ácido oléico.

Outro aspecto referente aos ácidos graxos e de interesse para a produção de silagens, no período de pós-abertura, é que ácidos graxos de cadeia média parecem ser potenciais aditivos de silagem, por inibirem fungos e leveduras,



especialmente em pH 5 ou menor, com pouco efeito sobre as BAL (WOOLFORD, 1984).

Abel et al. (2002) avaliaram a estabilidade aeróbia de silagens de gramíneas mistas (45% *Lolium perenne*, 30% *Festuca pratensis*, 10% *Phleum pratense*, 7% *Poa pratensis* e 8% *Trifolium repens*) adicionadas de 2% de ácido caprílico ou cáprico. O tratamento com ácido cáprico resultou em alta produção de ácido láctico, diferente do tratamento com ácido caprílico, que exerceu efeito inibidor sobre a produção do ácido láctico. O conteúdo de ácido acético foi baixo em todos os tratamentos e a produção de etanol foi completamente suprimida com a adição de ácido caprílico. A estabilidade aeróbia das silagens aumentou em mais de três vezes com ácido caprílico, e em menor medida com o ácido cáprico. Todavia, os autores ressaltam que, os ácidos graxos de cadeia média utilizados na alimentação de ruminantes podem ter efeitos prejudiciais sobre a população de microrganismos do rúmen, assim como observado por Matsumoto et al. (1991), que, em testes *in vivo* com cabras, constatou poder defaunante do ácido cáprico.

Os resultados da avaliação das silagens em rúmen artificial (RUSITEC) feitos por Abel et al. (2002) sugeriram que a toxicidade dos ácidos foi modificada durante a fermentação no silo, uma vez que a contagem de protozoários não foi afetada pelos tratamentos, da mesma forma que as bactérias metanogênicas. A produção total de ácidos graxos voláteis não foi alterada e a produção líquida de massa microbiana no rúmen por unidade de matéria orgânica aparentemente degradada não foi danificada, apesar de ter diminuído sob tratamento com ácido caprílico.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

A cultivar de cana-de-açúcar utilizada nesse estudo foi a RB72-454, ensilada em 06/11/2010, aos 12 meses de rebrota e apresentando grau brix de 20,2%. O corte da forrageira foi realizado manualmente, com posterior picagem, sem retirada da ponta e da palha, em picadora estacionária regulada para um tamanho de corte de 2 cm.

Foram avaliados os seguintes coprodutos do biodiesel como aditivos: torta de girassol (*Helianthus annuus L.*), torta de macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lood. ex Mart.] e torta de nabo-forrageiro (*Raphanus sativus L.*) (Tab. 1), obtidas a partir de tripla prensagem em uma extratora “expeller” modelo MPE – 40 ERCITEC, para retirada do óleo. Previamente à ensilagem, as tortas foram processadas em desintegrador de grãos e adicionadas à cana-de-açúcar sob inclusões de 0, 5, 10 e 15%, com base na matéria verde de forragem picada. Tais níveis de inclusão foram calculados por quadrado de Pearson, objetivando-se que o teor de matéria seca das misturas não excedesse 45% (Tab. 2).

Tabela 1 Caracterização química de tortas do biodiesel utilizadas como aditivos

	Torta de girassol	Torta de macaúba	Torta de nabo-forrageiro
MS (%)	90,86	90,73	90,82
Cinzas (% MS)	4,11	2,61	4,83
PB (% MS)	25,96	6,43	41,45
EE (% MS)	19,90	13,44	21,48
Ácido Oléico	19,05	48,07	29,18
Ácido Linoléico	67,07	10,54	16,40
Ácido Palmítico	7,50	18,03	6,32
Ácido Láurico	0,00	10,31	0,01
Ácido Esteárico	4,36	2,5	2,20
Ácido Erúcico	-	-	23,22
Ácido Gadoléico	0,13	0,183	8,03
Ácido Mirístico	0,08	2,764	0,06
Ácido Cáprico	0,00	0,00	1,17
Outros ácidos graxos	1,78	6,40	14,53
FDN (% MS)	41,81	63,52	37,11
FDA (% MS)	25,59	51,40	14,26
CHO's (g kg <sup>-1</sup> MS) <sup>1</sup>	5,46	3,70	15,12

<sup>1</sup> CHO's: Carboidratos solúveis totais.

Tabela 2 Composição química da cana-de-açúcar *in natura* acrescida ou não de tortas do biodiesel utilizadas como aditivos no momento da ensilagem

	Controle <sup>1</sup>	Torta de girassol			Torta de macaúba			Torta de nabo-forrageiro		
		5%	10%	15%	5%	10%	15%	5%	10%	15%
MS (%)	25,6	29,3	33,3	38,1	29,0	33,5	41,2	27,6	31,8	39,2
Cinzas (% MS)	2,8	3,5	3,5	3,6	3,3	3,3	3,4	3,4	3,8	4,1
PB (% MS)	2,8	6,6	8,3	10,5	4,2	6,1	7,4	13,3	17,9	22,1
EE (% MS)	1,7	3,7	4,1	6,3	1,9	4,0	4,7	3,8	5,0	6,9
FDN (% MS)	62,2	63,3	59,7	56,3	62,9	62,2	64,2	52,6	49,0	43,7
FDA (% MS)	39,5	39,0	36,8	33,9	40,6	42,2	45,8	34,2	29,4	25,6
CHO's (g kg <sup>-1</sup> MS) <sup>2</sup>	17,6	13,7	12,3	11,2	12,8	12,3	11,6	18,8	16,8	15,8

<sup>1</sup> Controle: Cana-de-açúcar sem aditivo. <sup>2</sup> CHO's: Carboidratos solúveis totais.

Como silos experimentais foram utilizados baldes com capacidade de 15 L. A compactação foi feita com auxílio de bastões de madeira, obtendo-se uma densidade final média de 545kg m<sup>-3</sup> ± 28. Os silos foram vedados com tampas plásticas, envoltas por fita durex ao longo da circunferência e armazenados em local coberto, à temperatura ambiente, durante 152 dias.

### 3.1 Obtenção de amostras e procedimentos analíticos

Antes da ensilagem, a massa de forragem correspondente a cada tratamento foi amostrada em triplicata, procedendo-se a pesagem e secagem em estufa de circulação forçada de ar a 55° por 72 horas. Após secagem, o material foi processado em moinho de facas tipo Willey com peneira de malha de 1,0mm e armazenado em potes plásticos para análises posteriores.

A determinação do teor de matéria seca (MS) foi feita por secagem em estufa a 105°C durante 16 h (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY - AOAC, 2000). As cinzas foram obtidas por combustão das amostras a 600°C durante 4 h (AOAC, 1997). O método de Kjeldahl, utilizando-se bloco digestor foi empregado para determinação do teor de N nas amostras (BREMNER; BREITENBECK, 1983), sendo a proteína bruta (PB) obtida pela relação  $N \times 6,25$ . O extrato etéreo (EE), ou lipídeos totais, foi determinado pelo método de extração Soxhlet segundo AOAC (1997). A fibra em detergente neutro (FDN) foi obtida segundo Soest, Robertson e Lewis (1991), adaptado para realização em aparelho determinador de fibra, sem adição de sulfito de sódio e procedendo-se a correção quanto ao teor de cinzas e PB. A fibra em detergente ácido (FDA) foi determinada sequencialmente e, da mesma forma, o teor dessa fração foi corrigido para cinzas e PB. A análise de carboidratos solúveis totais (CHO's) foi realizada pelo método da Antrona, conforme Dische (1962).

O perfil de ácidos graxos das tortas foi determinado mediante prévia transmetilação dos ácidos graxos contidos na mesma (RODRIGUES-RUIZ et al., 1998) e posterior leitura em cromatógrafo gasoso modelo Focus CG-Finnigan, com detector de ionização de chama, coluna capilar CP-Sil 88 (Varian), com 100 m de comprimento por 0,25  $\mu\text{m}$  de diâmetro interno e 0,20 $\mu\text{m}$  de espessura do filme. Foi utilizado o hidrogênio como gás de arraste, numa vazão de 1,8  $\text{mL min}^{-1}$ . O programa de temperatura do forno inicial foi de 70 °C, tempo de espera 4 min, 175 °C (13°C  $\text{min}^{-1}$ ) tempo de espera 27 min, 215 °C (4 °C  $\text{min}^{-1}$ ) tempo de espera 9 min. e, em seguida aumentando 7 °C  $\text{min}^{-1}$  até 230 °C, permanecendo por 5min., totalizando 65 min. A temperatura do vaporizador foi de 250 °C e a do detector 300 °C.

Após abertura dos silos, as amostras coletadas em triplicada foram subdivididas. A partir da primeira sub-amostra, procedeu-se como descrito

anteriormente para o material fresco, sendo acrescida a análise de digestibilidade verdadeira *in vitro* da matéria seca (DVIVMS), realizada segundo Tilley e Terry (1963) adaptado para uso em incubador Daisy II. A DVIVMS constou da primeira etapa de digestão de 48 h de duração, seguida de digestão em detergente neutro, conforme procedimento para determinação da FDN. O inóculo foi obtido a partir de dois bovinos fistulados, que receberam dieta com relação concentrado:volumoso de 40:60, sendo o concentrado composto, com base na MS, por milho (68,42%), farelo de soja (11,58%), glicerina (14,29%), uréia (1,43%) e sal mineral (4,29%). Como volumoso foi fornecido silagem de milho.

A partir da segunda sub-amostra foi preparado um extrato aquoso, por meio da adição de 270 g de água destilada estéril em 30 g de amostra fresca, seguido de homogeneização durante 4 minutos em Lab-Blender Stomacher® e posteriormente, filtragem em gaze (TABACCO et al., 2009). Uma alíquota do extrato aquoso foi utilizada para leitura do pH em potenciômetro digital e a outra parte foi utilizada para quantificação dos microrganismos presentes nas silagens.

Foram realizadas diluições decimais sequenciais ( $10^{-1}$  a  $10^{-6}$ ) e plaqueamento em duplicata, feito sobre a superfície do meio de cultura. Para contagem de bactérias ácido-láticas (BAL) utilizou-se o Agar MRS acrescido de Nistatina ( $4 \text{ mL L}^{-1}$ ), com incubação a  $35^{\circ}\text{C}$  durante 48hs. A contagem de leveduras foi feita por plaqueamento em Agar Malte, acrescido de Cloranfenicol ( $100 \text{ mg L}^{-1}$ ) seguido de incubação a  $28^{\circ}\text{C}$  durante 48hs.

A terceira sub-amostra foi utilizada para confecção de um extrato ácido, utilizado para as leituras de etanol, ácido lático e dos ácidos monocarboxílicos (acético, propiônico e butírico), sendo preparado por meio da adição de 250 g de ácido sulfúrico  $0,05 \text{ mol L}^{-1}$  em 50 g de amostra de silagem, seguido de homogeneização em Lab-Blender Stomacher® durante 4 minutos e posterior filtragem em gaze (TABACCO et al., 2009). A quantificação os produtos de

fermentação foi feita por meio de técnicas de cromatografia líquida de alta precisão (HPLC), em aparelho Shimadzu modelo LC-10Ai; Shimadzu Corp., Tokyo, Japão, conforme descrito por Ávila, Bravo-Martins e Schwan (2010).

Outra parte do extrato ácido foi utilizada para determinação do teor de nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) das silagens, por meio de destilação com KOH 2N, segundo técnica descrita por Fenner em 1965, adaptada por Vieira (1980).

### 3.2 Delineamento e Análises estatísticas

Os tratamentos foram avaliados em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x4, com três repetições, adotando-se o seguinte modelo estatístico para estudo dos dados:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + D_j + (TD)_{ij} + \varepsilon_{(ij)k}; \text{ em que:}$$

$Y_{ijk}$  = observação referente ao nível  $i$  de torta, no nível  $j$  de dose, na repetição  $k$

$\mu$  = constante inerente a todas as observações

$T_i$  = efeito do nível  $i$  de torta ( $i = 1, 2$  e  $3$ )

$D_j$  = efeito do nível  $j$  de dose ( $j = 1, 2, 3$  e  $4$ )

$(TD)_{ij}$  = interação entre torta e dose

$\varepsilon_{(ij)k}$  = erro experimental que por hipótese tem distribuição normal com média zero e variância  $\sigma^2$ .

Os dados foram avaliados por análise de variância, utilizando-se o Proc GLM do SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE - SAS INSTITUTE, 1999) e as médias comparadas por teste Tukey adotando-se como significância  $P < 0,05$ . No caso das variáveis onde houve efeito de interação, após desdobramento destas a comparação das médias também foi realizada por teste Tukey a 0,05%.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição química das silagens está apresentada na Tabela 3. Obteve-se efeito significativo de interação ( $P < 0,05$ ) entre tortas e doses para as variáveis PB, N-NH<sub>3</sub>, EE, FDN, FDA e DVIVMS. O teor de MS variou em função do efeito de dose ( $P < 0,05$ ), enquanto para o teor de cinzas houve efeito isolado de torta ( $P < 0,05$ ).

Os valores de MS aumentaram em função da inclusão crescente dos aditivos, com médias de 24.5, 27.3, 29.9 e 33.3%, respectivamente. A cana-de-açúcar utilizada nesse estudo apresentou baixo teor de MS no momento do corte (25,6%), justificando inclusões mais elevadas das tortas. Nos casos em que, antes da ensilagem, a forrageira apresentar MS superior a 30%, como relatado em diversos estudos (AMARAL et al., 2009; SIQUEIRA et al., 2011; SOUSA et al., 2008), inclusões desse tipo de aditivo deverão considerar o risco de dificuldades na compactação da massa, já que o teor de água das plantas é um fator decisivo sobre o sucesso da compactação (MUCK; HOLMES, 2000), podendo impactar de forma negativa sobre a fermentação.

A PB das silagens contendo torta de girassol e torta de nabo-forrageiro foi maior na inclusão de 15%, enquanto para a torta de macaúba, estatisticamente, o maior teor protéico foi alcançado na inclusão de 5%, que não diferiu das demais doses. Isso se deve ao menor conteúdo de PB dessa torta, não implicando em alterações significativas ao longo das inclusões, como aconteceu na presença das tortas de girassol e nabo-forrageiro, que são altamente protéicas.

A proteólise em silagens contendo torta de girassol foi significativamente aumentada no nível de inclusão de 5%, que não diferiu das doses seguintes. Apesar do elevado conteúdo protéico, silagens contendo torta de nabo-forrageiro apresentaram teores de N-NH<sub>3</sub> semelhantes entre si, resposta observada também para silagens que continham torta de macaúba.



Para níveis de inclusão superiores a 5%, as tortas de girassol e nabo-forrageiro apresentaram proteólise superior à das silagens contendo torta de macaúba. Dessa forma, a proteólise ocorrida pareceu ser proporcional ao maior conteúdo protéico dessas tortas, disponibilizando aminoácidos em abundância, passíveis de quebra ao longo da fermentação.

O teor máximo de EE foi obtido na dose de 15% para as tortas de girassol e nabo-forrageiro, enquanto nas silagens contendo torta de macaúba, estatisticamente, esse teor foi encontrado para a inclusão de 5% que não variou em relação às doses seguintes. Novamente, tais respostas estão associadas ao fato desse nutriente ser mais abundante nas tortas de girassol e nabo-forrageiro.

Deve ser ressaltado que o teor de óleo das tortas é dependente da forma de extração (ABDALA et al., 2009), incluindo o tipo de prensa, bem como o número de prensagens realizadas, que no caso do presente estudo foi de três para todos os coprodutos. Os teores finais de extrato etéreo nas silagens podem ser considerados elevados, considerando a recomendação do National Research Council - NRC (2001) de 7% de EE total como limite máximo. Dessa forma, as silagens obtidas nesse estudo, se acrescidas de proporções superiores a 5%, não seriam recomendadas para utilização como volumoso único, devendo ser misturadas a outros volumosos de densidade energética menor, sobretudo no caso de silagens de girassol e nabo-forrageiro.

Ludovico e Matos (1997) verificaram poder defaunante do caroço de algodão adicionado até 30% em dietas a base de cana-de-açúcar. No caso do presente estudo, a toxicidade das silagens poderia ser maior em função de as tortas encontram-se desintegradas, o que facilitaria a liberação de ácidos graxos no ambiente ruminal. Por fim, as silagens poderiam impactar negativamente sobre a produção de ácidos graxos voláteis no rúmen, reduzindo a relação acetato: propionato e possivelmente resultando em queda na digestão ruminal da

fibra, conforme discutido por Chalupa (1984), uma vez que são ricas em ácidos graxos insaturados de cadeia longa.

Com relação à fração fibrosa, o teor de FDN em silagens contendo torta de macaúba foi semelhante em todas as doses, incluindo a silagem controle. Nas silagens contendo torta de nabo-forrageiro e de girassol, o menor teor de FDN foi observado para a inclusão de 15%, pois se trata de aditivos menos fibrosos.

Nos teores de FDA das silagens contendo torta de girassol os valores não variaram. Naquelas contendo torta de macaúba, o nível de inclusão de 15% gerou silagens com máximo teor de FDA, enquanto nas silagens contendo torta de nabo-forrageiro, a inclusão de 15% correspondeu ao menor teor de FDA. Como a fibra em detergente ácido foi maior para silagens contendo torta de torta de macaúba, para todos os níveis de inclusão avaliados, pode-se inferir que esse aditivo compromete a qualidade nutricional das silagens devido às características da fibra contida no mesmo.

Efeito de torta foi observado quanto ao teor de cinzas ( $P < 0,05$ ), de modo que silagens contendo torta de nabo-forrageiro apresentaram maior constituição mineral comparado às silagens com torta de girassol; enquanto silagens contendo torta de macaúba apresentaram teor intermediário.

A DVIVMS foi máxima no nível de inclusão de 15% para as tortas de girassol e nabo-forrageiro, com destaque para esta última que apresentou o maior valor de digestibilidade entre as silagens (61,79%). No entanto, apesar das melhores taxas de digestão o incremento em digestibilidade tendeu a ser menor a cada nível de inclusão das tortas de girassol e nabo-forrageiro, sobretudo entre as doses de 10 e 15%, cujo incremento foi de 2,56 e 2,93 pontos percentuais, respectivamente, o que pode ser atribuído ao elevado teor de extrato etéreo dessas tortas. Nesse aspecto, Patiño-Pardo et al. (2008) encontraram correlação negativa (-0,95,  $P < 0,01$ ) entre DIVMS e EE em silagens de capim-elefante

acrescidas de torta de nabo-forageiro, o que em parte foi atribuído ao elevado teor de lipídios dessa torta.

Silagens adicionadas de torta de macaúba apresentaram digestibilidades semelhantes e inferiores ao volumoso in natura e, como a torta de macaúba apresenta menor teor de extrato-etéreo que as demais tortas, provavelmente essa menor digestibilidade esteja relacionada ao elevado teor de fibra de baixa qualidade do aditivo.

Tabela 3 Composição química de silagens de cana-de-açúcar acrescidas ou não das tortas de girassol, macaúba e nabo-forrageiro, como aditivos

Dose	Aditivos (Tortas)			Média	Nível de significância			EPM
	Girassol	Macaúba	Nabo- forrageiro		Torta	Dose	T*D	
Matéria Seca, %								
0	24,54	24,05	24,75	24,45D	0,2053	<0,0001	0,3869	0,3959
5	27,40	27,29	27,06	27,25C				
10	29,99	29,36	30,32	29,89B				
15	33,97	33,06	32,94	33,32A				
Média	28,98	28,44	28,77					
Proteína Bruta (% MS)								
0	2,73Da	3,30Ba	3,54Da	3,19	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,4748
5	10,80Cb	6,06Ac	14,63Ca	10,49				
10	15,13Bb	6,35Ac	19,93Ba	13,80				
15	18,47Ab	7,14Ac	26,09Aa	17,23				
Média	11,78	5,71	16,05					
Nitrogênio Amoniacal (% N total)								
0	1,95Ba	3,87Aa	3,87Aa	3,23	<0,0001	<0,0001	0,0058	0,6152
5	6,44Aa	3,82Aa	5,54Aa	5,27				
10	8,13Aa	3,35Ab	8,04Aa	6,51				
15	7,68Aa	4,23Ab	8,13Aa	6,68				
Média	6,05	3,82	6,40					

“Tabela 3, continuação”

Dose	Aditivos (Tortas)			Média	Nível de significância			EPM
	Girassol	Macaúba	Nabo- forrageiro		Torta	Dose	T*D	
Extrato Etéreo (% MS)								
0	3,45Da	2,88Ba	2,84Ca	3,06	<0,0001	<0,0001	0,0149	0,4983
5	7,32Ca	5,06Aa	6,73BCa	6,37				
10	9,65Ba	6,43Ac	7,77Bb	7,95				
15	11,05Aa	6,76Ab	10,78Aa	9,53				
Média	7,87	5,28	7,03					
Fibra em Detergente Neutro (% MS)								
0	71,86Aa	71,97Aa	69,87Aa	71,23	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,6977
5	65,31Bb	73,86Aa	63,08Bb	67,42				
10	62,42Cb	71,61Aa	55,02Cc	63,01				
15	58,93Db	71,92Aa	50,13Dc	60,33				
Média	64,63	72,34	59,52					
Fibra em Detergente Ácido (% MS)								
0	45,88Aa	45,51Ba	46,99Aa	46,13	<0,0001	0,0019	<0,0001	1,0596
5	43,80Ab	48,90ABa	44,70Aab	45,80				
10	43,53Ab	51,61ABa	36,59Bc	43,91				
15	41,70Ab	52,48Aa	34,02Bc	42,73				
Média	43,73	49,62	40,58					

“Tabela 3, conclusão”

Dose	Aditivos (Tortas)			Média	Nível de significância			EPM
	Girassol	Macaúba	Nabo- forrageiro		Torta	Dose	T*D	
Cinzas (% MS)								
0	2,53	2,34	3,34	2,74	0,0166	0,0413	0,2492	0,3521
5	2,93	3,93	3,86	3,57				
10	3,33	3,59	3,77	3,56				
15	3,60	3,28	4,60	3,83				
Média	3,10b	3,29ab	3,89a					
Digestibilidade Verdadeira <i>in vitro</i> da Matéria Seca (%)								
0	41,83Cb	44,84Aab	49,32BCa	45,33	<0,0001	<0,0001	<0,0001	1,1045
5	49,44Ba	39,14Bb	53,76Ba	47,44				
10	53,12Ab	37,73Bc	58,86ABa	49,90				
15	55,68Ab	36,04Bc	61,79Aa	51,17				
Média	50,02	39,44	55,93					

Média seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os dados médios referentes às características fermentativas estão demonstrados na tabela 4. Houve efeito significativo de interação ( $P < 0,05$ ) entre tortas e doses para as variáveis pH, ácido láctico e ácido propiônico. A contagem de bactérias ácido-láticas foi influenciada pelo efeito de dose ( $P < 0,05$ ), enquanto para leveduras os tratamentos não resultaram em efeitos significativos, assim como para a concentração de ácido butírico ( $P > 0,05$ ). Tanto efeitos de dose ( $P < 0,05$ ) como de torta ( $P < 0,05$ ) foram verificados para etanol e ácido acético.

Os menores valores de pH para as silagens de girassol e nabo-forrageiro foram obtidos no nível de inclusão de 5%. Para a torta de macaúba, o menor valor numérico de pH foi obtido para a dose de 10% (3,66), que não diferiu estatisticamente das inclusões de 5% (3,70) e 15% (3,73), indicando se tratar da torta onde o pH das silagens foi geralmente menor.

A maior contagem de bactérias ácido-láticas foi obtida em silagens de cana-de-açúcar sem aditivo ( $6,86 \log \text{ UFC g}^{-1}$ ). A dose de 10% ( $5,08 \log \text{ UFC g}^{-1}$ ) apresentou contagem intermediária entre a dose controle e as doses 5% e 15%, as quais não diferiram entre si, com valores de 4,56 e 4,44  $\log \text{ UFC g}^{-1}$ , respectivamente.

Quanto ao teor de ácido láctico, para silagens contendo torta de girassol, o ácido orgânico foi aumentado com a inclusão de 5% do aditivo (14,34%), e concentrações semelhantes foram obtidas para as doses seguintes. Na presença de torta de macaúba, silagens que continham 5 e 10% de inclusão apresentaram maior concentração de ácido láctico, sem diferença estatística entre os valores. Sob adição da torta de nabo-forrageiro, o nível de inclusão de 5% gerou maior teor de ácido láctico (14,26%), no entanto, acima dessa dose foram obtidas, de forma semelhante, as menores concentrações do ácido orgânico. Dentre os produtos de fermentação, o ácido láctico é mais efetivo no abaixamento do pH (PAHLOW et al., 2003) e nesse estudo, de modo geral, as respostas observadas em pH foram condizentes com as variações na produção de ácido láctico.

É possível que, na presença dos aditivos, cepas eficientes em produzir ácido láctico tenham sido selecionadas e, mesmo estando sob baixas contagens, resultaram em produções maiores desse ácido orgânico. Outra possibilidade é que o decréscimo na população de BAL em função da inclusão dos aditivos, foi devido à queda do pH, pela elevada quantidade de ácido produzida, uma vez que a sobrevivência de BAL está atrelada à tolerância à acidez dos diferentes gêneros de bactérias desse grupo (WOOLFORD, 1984).

Poderiam-se esperar maiores contagens de BAL nos tratamentos contendo aditivos, em função das tortas serem ricas em óleo residual e dentro dessa fração lipídica conter ácido oléico. Estudos *in vitro* feitos com Agar MRS modificado e enriquecido com fontes desse ácido graxo demonstraram efeito benéfico sobre o crescimento de diferentes espécies do gênero *Lactobacillus* (ENDO et al., 2006; PARTANEN et al., 2001). No entanto, tal efeito não foi observado nesse estudo utilizando-se tortas, cujas características contemplam diversos fatores que poderiam afetar o crescimento de microrganismos, como umidade e outros componentes químicos, além da presença de ácido oléico.

A concentração de ácido acético em silagens contendo torta de girassol foi maior que para as demais tortas. Logo, o uso desse aditivo pode impactar positivamente sobre a qualidade das silagens após exposição ao ar, uma vez que o ácido acético é importante no controle de leveduras e fungos após abertura dos silos (MCDONALD; HENDERSON; HERON, 1991). Sobre o efeito de dose, silagens controle e com inclusão de 5% apresentaram valores semelhantes e maiores que das demais inclusões, indicando que doses mais altas dos aditivos inibiram a atividade de bactérias produtoras de ácido acético.

Dentre os microrganismos de maior importância para a conservação de forragens, diversos grupos de bactérias podem estar envolvidos com a produção de ácido acético dentro do silo, tais como bactérias ácido-láticas heterofermentativas (*Lactobacillus buchneri*, p.e.), clostrídeos proteolíticos,



leveduras, enterobactérias (*Escherichia coli*, p.e.) e alguns bacilos anaeróbios facultativos (PAHLOW et al., 2003), além das bactérias ácido-acéticas propriamente ditas, cujo metabolismo é aeróbio, portanto, mais associado à deterioração das silagens quando em contato com o ar (MCDONALD; HENDERSON; HERON, 1991). Assim, devido aos diferentes nichos e rotas metabólicas utilizadas por estes microrganismos, torna-se difícil fazer inferências sobre o modo como a produção de ácido acético foi afetada, sem que tenha sido feita a identificação dos microrganismos ao longo da fermentação.

A produção de ácido propiônico em silagens contendo torta de macaúba foi menor comparado às demais tortas, em todos os níveis de inclusão do aditivo, exceto o controle. As maiores concentrações de ácido propiônico foram verificadas na dose de 15% para as tortas de girassol e nabo-forageiro, com valores de 4,56 e 4,05%, respectivamente.

A produção de ácido propiônico pode ter sido favorecida devido à afinidade das bactérias do gênero *Propionibacterium* em utilizar o lactato, abundante nas silagens, gerando como principal produto final o ácido propiônico (CUMMINS; JOHNSON, 1992). Em função desse tipo de fermentação, aspectos negativos como possíveis aumentos no pH, já que o lactato é utilizado como substrato, além de perdas sob a forma de CO<sup>2</sup> podem ter ocorrido. No entanto, a produção de ácido propiônico pode ser positiva sob o aspecto de estabilidade das silagens após abertura dos silos, por tratar-se de um eficiente inibidor do crescimento de leveduras (MOON, 1983).

Os teores de ácido butírico das silagens tenderam a variar em função do efeito de torta (P=0,0671), de modo que a concentração deste ácido orgânico em silagens contendo torta de girassol e torta de nabo-forageiro foi maior, ao passo que em silagens contendo torta de macaúba, o ácido butírico não foi detectado. Dentro do gênero *Clostridium*, além das bactérias do tipo sacarolíticas, capazes de fermentar o lactato das silagens, destaca-se o tipo proteolítico, cujo

desenvolvimento pode ter sido favorecido em presença dos coprodutos girassol e nabo-forageiro, altamente protéicos. É possível que, durante a fermentação, a velocidade de queda do pH tenha sido comprometida na presença dos aditivos, ou que nichos de pH mais elevados tenham ocorrido, dificultando um controle eficaz do crescimento de clostrídeos.

Os tratamentos não afetaram significativamente a população de leveduras. Da mesma forma, Bernardes et al. (2007) não observaram efeito da inclusão de até 15% de milho desintegrado com palha e sabugo (MDPS), base matéria verde (MV), obtendo contagem média de 2,2 log UFC g<sup>-1</sup>. Freitas et al. (2006a) obtiveram uma contagem de 5,12 log UFC g<sup>-1</sup>, que foi semelhante à obtida na silagem não aditivada. Sobre a silagem de cana-de-açúcar sem aditivo, as contagens obtidas nesse estudo são superiores ao encontrado por Pedroso et al. (2005), que quantificaram a partir do 120º dia de fermentação menos de 2 log UFC g<sup>-1</sup> e valores indetectáveis aos 180 dias, fato atribuído ao processo gradativo de inibição desses microrganismos pelo etanol presente no meio.

A produção de etanol foi afetada pelo efeito de torta (P<0,05) e silagens acrescidas de torta de girassol apresentaram menos etanol (4,83%) comparado às silagens contendo torta de macaúba (6,06) e torta de nabo-forageiro (6,89), que não diferiram entre si (P=0,0005). É possível que o maior teor de ácido acético das silagens contendo torta de girassol tenha contribuído no controle de leveduras. Esse dado corrobora também o fato de silagens contendo torta de macaúba e torta de nabo-forageiro terem apresentado maior teor de cinzas, o que provavelmente seria em função do metabolismo mais ativo de leveduras nessas silagens, desencadeando o consumo da matéria orgânica fermentescível.

Os teores de etanol variaram em função das doses aplicadas (P<0,05), resultando em decréscimo na produção alcoólica, de 8,57%, na silagem controle, até 4,89% no nível de inclusão de 10%, o qual não diferiu estatisticamente da dose de 15% (4,10%, base na MS).

Apesar da população de leveduras não ter sido estatisticamente alterada em função do uso dos aditivos, pode-se concluir que a atividade desses microrganismos é comprometida devido ao aumento da pressão osmótica do meio. Respostas semelhantes foram obtidas por Andrade et al. (2001), que observaram redução linear da produção de álcool em silagens de cana-de-açúcar sob inclusões crescentes de MDPS. Bernardes et al. (2007) relataram discreta redução no teor de etanol das silagens acrescidas de MDPS, enquanto Freitas et al. (2006a) encontraram marcado efeito do resíduo de colheita de soja sobre a produção de etanol, que passou de 17,8 %MS na silagem controle para 7,6 %MS na presença do aditivo, sendo indicado pelos autores que a redução da umidade da massa com o uso dos aditivos teria resultado em tal efeito.

Tabela 4 Características fermentativas de silagens de cana-de-açúcar acrescidas ou não das tortas de girassol, macaúba e nabo-forrageiro, como aditivos

Dose	Aditivos (Tortas)			Média	Nível de significância			EPM
	Girassol	Macaúba	Nabo- forrageiro		Torta	Dose	T*D	
pH								
0	3,82ABa	3,85Aa	3,81ABa	3,83	0,0018	0,0001	0,0009	0,0466
5	3,72Ca	3,70Bab	3,65Bb	3,69				
10	3,79Bb	3,66Bc	4,01Aa	3,82				
15	3,86Ab	3,73Bc	4,05Aa	3,88				
	3,80	3,73	3,88					
Bactérias ácido-láticas (log UFC g <sup>-1</sup> )								
0	7,81	7,32	5,45	6,86A	0,5185	0,0229	0,1733	0,7509
5	5,06	4,94	3,69	4,56B				
10	4,20	4,87	6,17	5,08AB				
15	4,49	4,68	4,15	4,44B				
	5,39	5,45	4,87					
Ácido Lático (% MS)								
0	6,03Ba	5,94Ca	5,98Ba	5,98	0,0018	<0,0001	0,001	0,9219
5	14,34Aa	11,15ABa	14,26Aa	13,25				
10	13,15Aa	11,94Aa	6,93Bb	10,68				
15	11,98Aa	10,60Ba	6,78Bb	9,79				
	11,38	9,91	8,49					

“Tabela 4, continuação”

Dose	Aditivos (Tortas)			Média	Nível de significância			EPM
	Girassol	Macaúba	Nabo- forrageiro		Torta	Dose	T*D	
Ácido Acético (% MS)								
0	1,26	1,21	1,13	1,20A	<0,0001	<0,0001	0,0623	0,063
5	1,25	0,93	1,03	1,07A				
10	0,92	0,85	0,58	0,78B				
15	0,77	0,56	0,42	0,58C				
	1,05a	0,89b	0,79b					
Ácido Propiônico (% MS)								
0	0,03Da	0,02Ca	0,01Ca	0,02	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,115
5	2,09Cb	0,16Bc	3,24Ba	1,83				
10	3,35Ba	0,14Bb	3,53ABa	2,34				
15	4,56Aa	0,24Ac	4,05Ab	2,95				
	2,51	0,14	2,70					
Ácido Butírico (% MS)								
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0671	0,4692	0,6074	0,3021
5	0,76	0,00	0,45	0,40				
10	0,41	0,00	1,01	0,47				
15	0,55	0,00	0,61	0,39				
	0,43	0,00	0,52					

“Tabela 4, conclusão”

Dose	Aditivos (Tortas)			Média	Nível de significância			EPM
	Girassol	Macaúba	Nabo- forrageiro		Torta	Dose	T*D	
Leveduras (log UFC g-1)								
0	3,96	4,21	< 2 log		0,3709	0,4665	0,1266	1,0708
5	3,16	3,87	< 2 log					
10	< 2 log	3,36	4,06					
15	< 2 log	< 2 log	2,95					
Etanol (% MS)								
0	7,67	7,67	10,37	8,57A	0,0005	<0,0001	0,1099	0,5769
5	5,28	7,13	6,05	6,15B				
10	3,95	5,14	5,59	4,89C				
15	2,44	4,29	5,56	4,10C				
	4,83b	6,06a	6,89a					

Média seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## 5 CONCLUSÃO

A torta de girassol afetou positivamente a qualidade nutricional e reduziu os teores de etanol das silagens de cana-de-açúcar, todavia propiciou fermentações secundárias indesejáveis. A utilização desse aditivo na dose de 5% em silagens de cana-de-açúcar parece mais adequada, devendo ser fornecido em mistura com outro volumoso de menor teor de gordura.

A torta de macaúba, apesar de resultar em adequado perfil fermentativo, não é efetiva em reduzir a produção de etanol, comparada à torta de girassol, além de impactar negativamente sobre a qualidade nutricional das silagens de cana-de-açúcar contendo o aditivo. Outros usos, que não em silagens devem ser priorizados para essa torta.

A torta de nabo-forrageiro influenciou positivamente o aspecto nutricional das silagens de cana-de-açúcar contendo o aditivo, porém implicou em perfil fermentativo inadequado, com teores elevados de etanol e ocorrência de fermentações secundárias indesejáveis. Sua utilização como aditivos em silagens de cana-de-açúcar não é recomendável.

## REFERÊNCIAS

ABDALLA, A. L. et al. Utilização de subprodutos da indústria de biodiesel na alimentação de ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 37, p. 260-258, 2008. Suplemento.

ABEL, H. J. et al. Effect of adding caprylic and capric acid to grass on fermentation characteristics during ensiling and in the artificial rumen system RUSITEC. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 99, n. 1, p. 65-72, Jan. 2002.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis**. Brasília, 2011. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=58071&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1328124968469>>. Acesso em: 10 jan. 2012.

ALMEIDA, S. P. et al. **Cerrado: espécies vegetais úteis**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. 464 p.

AMARAL, R. C. et al. Cana-de-açúcar ensilada com ou sem aditivos químicos: fermentação e composição química. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, n. 8, p. 1413-1421, ago. 2009.

ANDRADE, J. B. et al. Valor nutritivo da silagem de cana-de-açúcar tratada com uréia e acrescida de rolão de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 9, p. 1169-1174, set. 2001.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the Association of Analytical Chemists International**. 16<sup>th</sup> ed. Washington, 1997. 1070 p.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 17<sup>th</sup> ed. Gaithersburg, 2000. 1117 p.

ÁVILA, C. L. S. A.; BRAVO-MARTINS, C. E. C.; SCHWAN, R. F. Identification and characterization of yeasts in sugarcane silages. **Journal of Applied Microbiology**, Washington, v. 109, n. 5, p. 1677-1686, Nov. 2010.



ÁVILA, C. L. S. et al. Chemical and microbiological characteristics of sugar cane silages treated with microbial inoculants. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 1, p. 25-32, 2010.

ÁVILA, C. L. S. et al. Effects of an indigenous and a commercial *Lactobacillus buchneri* strain on quality of sugar cane silage. **Grass and Forage Science**, v. 64, p. 384–394, 2009.

ÁVILA, C. L. S. et al. Qualidade da silagem de cana-de-açúcar inoculada com uma cepa de *Lactobacillus buchneri*. **Acta Scientiarum Animal Sciences**. v. 30, n. 3, p. 255-261, 2008.

BARRETO, S. M. P. **Avaliação dos níveis de inclusão da torta de macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Mart.] na alimentação de caprinos**. 2008. 99 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2008.

BERNARDES, T. F. et al. Avaliação da queima e da adição de milho desintegrado com palha e sabugo na ensilagem de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 36, n. 2, p. 269-275, mar./abr. 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Anuário estatístico da agroenergia**. Brasília, 2009. 160 p.

\_\_\_\_\_. **Cana de açúcar**. Disponível em:  
<<http://www.agricultura.gov.br/portal/page/portal/Internet-MAPA/pagina-inicial/vegetal/culturas/cana-de-acucar>>. Acesso em: 10 jan. 2012.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Resolução nº 3**, de 23 de setembro de 2005. Reduz o prazo de que trata o § 1o do art. 2o da Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Brasília, 2005. Disponível em:  
<[http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/conselhos\\_comite/CNPE/resolucao\\_2005/Resolucao03.pdf](http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/conselhos_comite/CNPE/resolucao_2005/Resolucao03.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2011.

BREMNER, J. M.; BREITENBECK, G. A. A simple method for determination of ammonium in semimicro-Kjeldahl analysis of soils and plant materials using a block digester. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 14, n. 10, p. 905-914, Oct. 1983.

CALEGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno no sudoeste do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1990. 37 p. (Boletim Técnico, 35).

CASTIGLIONI, V. B. R. et al. **Fases de desenvolvimento da planta do girassol**. Brasília: EMBRAPA-CNPSO, 1994. 24 p. (Documentos, 58).

CHALUPA, W. Rumen fermentation in vitro as influenced by long chain fatty acids. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 67, n. 7, p. 1439-1444, July 1984.

CHUNG, S. et al. **Avaliação físico-química da torta de girassol (*Helianthus annuus* L.) para a utilização na alimentação animal**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 19., 2009, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: ZOOTEC, 2009. 1 CD-ROM.

CIPRIANO, R. **Descobrimo o poder da macaúba**. Brasília: EMBRAPA, 2006. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2006/noticia.2006-0403.3722359657/noticia.2006-0426.0919750710/?searchterm=macaúba>>. Acesso em: 28 mar. 2010.

CLEEF, E. H. C. B. van. **Tortas de nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) e de pinhão manso (*Jatropha curcas*): caracterização e utilização como aditivos na ensilagem de capim elefante**. 2008. 77 p. Dissertação (Mestrado em Produção e Nutrição de Ruminantes) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Sistema de avaliação de safras**: levantamento de safra, julho/2011. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/.../11\\_08\\_05\\_12\\_24\\_50\\_girassoljulho2011..pdf](http://www.conab.gov.br/.../11_08_05_12_24_50_girassoljulho2011..pdf)>. Acesso em: 10 dez. 2011.

CORCORAN, B. M. et al. Growth of probiotic lactobacilli in the presence of oleic acid enhances subsequent survival in gastric. **Microbiology**, New York, v. 153, n. 2, p. 291-299, Feb. 2007.

COSTA, M. C. R. et al. Utilização da torta de girassol na alimentação de suínos nas fases de crescimento e terminação: efeitos no desempenho e nas características de carcaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 34, n. 5, p. 1581-1588, set./out. 2005.

COUTO, J. A. et al. Ethanol-induced changes in the fatty acid composition of *Lactobacillus hilgardii*, its effects on plasma membrane fluidity and relationship with ethanol tolerance. **Journal of Applied Microbiology**, Oxford, v. 81, n. 2, p. 26-32, Mar. 1996.

CUMMINS, C. S.; JOHNSON, J. L. The genus *Propionibacterium*. In: BALOWS, H. G. et al. (Ed.). **The Prokaryotes**: Schleifer. New York: Springer, 1992. v. 1, p. 834-849.

DERPSCH, R.; CALEGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno**. Londrina: IAPAR, 1992. 80 p. (Circular, 73).

DEXTER, S. T. Water retaining capacity of various silage additives and silage crops under pressure. **Agronomy Journal**, Madison, v. 53, n. 6, p. 379-381, 1961.

DISCHE, Z. General colors reactions. In: WHISTLER, R. L.; WOLFRAM, M. L. (Ed.). **Carbohydrate chemistry**. New York: Academic, 1962. p. 477-512.

ENDO, Y. et al. Trans fatty acids promote the growth of some *Lactobacillus* strains. **Journal of General and Applied Microbiology**, Tokyo, v. 52, n. 1, p. 29-35, Jan. 2006.

EVANGELISTA, A. R. et al. Alterações bromatológicas e fermentativas durante o armazenamento de silagens de cana-de-açúcar com e sem milho desintegrado com palha e sabugo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, n. 1, p. 20-26, jan./fev. 2009.

FERRARI, R. A.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; RIBEIRO, F. L. F. Biodiesel de óleo de *Raphanus sativus* L. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 2., 2005, Varginha. **Anais...** Lavras: UFLA, 2005. Disponível em: <[http://www.facabiodiesel.com.br/biodiesel/arquivos/Biodiesel\\_de\\_Oleo\\_de\\_Nabo\\_Forageiro.pdf](http://www.facabiodiesel.com.br/biodiesel/arquivos/Biodiesel_de_Oleo_de_Nabo_Forageiro.pdf)>. Acesso em: 2 set. 2010.

FORTALEZA, A. P. S. **Fracionamento in vitro de carboidratos e proteínas e cinética da degradação in situ de alguns alimentos concentrados**. 2007. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2007.

FREITAS, A. W. P. et al. Avaliação da qualidade nutricional da silagem de cana-de-açúcar com aditivos microbianos e enriquecida com resíduo da colheita de soja. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 35, n. 1, p. 38-47, jan./fev. 2006a.

\_\_\_\_\_. Características da silagem de cana-de-açúcar tratada com inoculante bacteriano e hidróxido de sódio e acrescida de resíduo da colheita de soja. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 35, n. 1, p. 48-59, jan./fev. 2006b.

GOES, R. H. T. B. et al. Degradabilidade *in situ* dos grãos de crambe, girassol e soja, e de seus coprodutos em ovinos. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v. 32, n. 3, p. 271-277, 2010.

JONES, D. I. H.; JONES, R. The effect of crop characteristics and ensiling methodology on grass silage effluent production. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 60, n. 2, p. 73-81, Apr. 1995.

JONES, R.; JONES, D. I. H. The effect of in-silo effluent absorbents on effluent production and silage quality. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 64, n. 3, p. 173-186, Sept. 1996.

KAISER, E.; WEIB, K.; POLIP, L. V. A new concept for the estimation of the ensiling potential of forages. In: THE INTERNATIONAL SILAGE CONFERENCE, 13., 2002, Auchincruive. **Proceedings...** Auchincruive: SIS, 2002. p. 344-358.

LOPES, J.; EVANGELISTA, A. R. Características bromatológicas, fermentativas e população de leveduras de silagens de cana-de-açúcar acrescidas de uréia e aditivos absorventes de umidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 39, n. 5, p. 984-991, maio 2010.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum, 1992. 352 p.

LUDOVICO, A.; MATTOS, W. R. S. Avaliação de dietas à base de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) e diferentes níveis de semente de algodão (*Gossypium hirsutum* L.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 26, n. 2, p. 403-410, mar./abr. 1997.

MANDAL, S. et al. Correlation studies on oil content and fatty acid profile of some Cruciferous species. **Genetic Resources and Crop Evolution**, Dordrecht, v. 49, n. 3, p. 551-556, Mar. 2002.

MATSUMOTO, M. et al. Defaunation effects of medium-chain fatty acids and their derivatives on goat rumen protozoa. **Journal of General and Applied Microbiology**, Tokyo, v. 37, n. 3, p. 439-445, Sept. 1991.

MCDONALD, P.; HENDERSON, A. R.; HERON, S. J. E. **The biochemistry of silage**. 2<sup>nd</sup> ed. Marlow: Chalcomb, 1991. 340 p.

MONEGAT, C. **Plantas de cobertura do solo: características e manejo em pequenas propriedades**. Chapecó: Metrópole, 1991. 337 p.

MOON, N.J. Inhibition of the growth of acid-tolerant yeasts by acetate, lactate and propionate and their synergistic mixtures. **Journal of Applied Bacteriology**, Reading, v. 55, p. 453-60, 1983.

MOTTA, P. E. F. et al. Ocorrência da macaúba em Minas Gerais: relação com atributos climáticos, pedológicos e vegetacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 7, p. 1023-1031, set. 2002.

MUCK, R. E.; HOLMES, B. J. Factors affecting bunker silo densities. **Applied Engineering in Agriculture**, Saint Joseph, v. 16, n. 3, p. 613-619, July/Sept. 2000.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of dairy cattle**. Washington: National Academy, 2001. 157 p.

NEIVA JUNIOR, A. P. et al. Avaliação das silagens de capim-elefante aditivadas com nabo forrageiro, pinhão manso e tremoço, pela técnica de produção de gases. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 1024-1030, jul./ago. 2010.

\_\_\_\_\_. **Subprodutos agroindustriais do biodiesel na alimentação de ruminantes**. Brasília: MME, 2007. Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br/docs/congresso2007/coproduto/21.pdf>>. Acesso em: 2 abr. 2009.

NIKKILA, P. et al. The effect of Tween 80 on the fatty acid composition of *Lactobacillus buchneri* and *Lactobacillus brevis*. **Journal of General and Applied Microbiology**, Tokyo, v. 41, n. 4, p. 327-332, Aug. 1995.

NUCCI, S. M. **Desenvolvimento, caracterização e análise da utilidade de marcadores microssatélites em genética de população de macaúba**. 2007. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2007.

OSUJI, P. O.; SIBANDA, S.; NSAHLAI, I. V. Supplementation of maize stover for ethiopian menz sheep: effects of cottonseed, noug (*guizotia-abyssinica*) or sunflower cake with or without maize on the intake, growth, apparent digestibility, nitrogen-balance and excretion of purine derivatives. **Animal Production**, Edinburgh, v. 57, n. 3, p. 429-436, Dec. 1993.

PAHLOW, G. et al. Microbiology of ensiling. In: BUXTON, D. R. et al. (Ed.). **Silage science and technology**. Madison: American Society of Agronomy, 2003. p. 31-94.

PARTANEN, L. et al. Fats and fatty acids as growth factors for *Lactobacillus delbrueckii*. **Systematic and Applied Microbiology**, Stuttgart, v. 24, n. 3, p. 500-506, Mar. 2001.

PATIÑO-PARDO, R. et al. Diferentes níveis de torta de nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) como aditivo na silagem de capim elefante. **Livestock Research for Rural Development**, Amsterdam, v. 20, n. 10, 2008. Disponível em: <<http://www.lrrd.org/lrrd20/10/pati20166.htm>>. Acesso em: 2 set. 2010.

PEDROSO, A. F. Efeito do tratamento com aditivos químicos e inoculantes bacterianos nas perdas e na qualidade de silagens de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 36, n. 3, p. 558-564, maio/jun. 2007.

PEDROSO, A. F. et al. Dinâmica da fermentação e da microflora epifítica em silagem de cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 5, p. 427-432, 2005.

RODRÍGUEZ-RUIZ, J. et al. Rapid simultaneous lipid extraction and transesterification for fatty acid analyses. **Biotechnology Techniques**. v. 12, n. 9, p. 689-691, 1998.

SANTOS, M. C. et al. Influência da utilização de aditivos químicos no perfil da fermentação, no valor nutritivo e nas perdas de silagens de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 37, n. 9, p. 1555-1563, set. 2008.

SANTOS, R. V. et al. Composição química da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) e das silagens com diferentes aditivos em duas idades de corte. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 6, p. 1184-1189, nov./dez. 2006.

SCARIOT, A. et al. Flowering and fruiting phenologies of the palm *Acrocomia aculeata*: patterns and consequences. **Biotropica**, Washington, v. 27, n. 2, p. 168-173, Apr. 1995.

\_\_\_\_\_. Reproductive biology of the palm *Acrocomia aculeata* in Central Brazil. **Biotropica**, Washington, v. 23, n. 1, p. 12-22, Feb. 1991.

SCHMIDT, P. et al. Aditivos químicos e biológicos na ensilagem de cana-de-açúcar: composição química das silagens, ingestão, digestibilidade e comportamento ingestivo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 36, n. 5, p. 1666-1675, 2007. Suplemento.

\_\_\_\_\_. Improved efficiency of sugarcane ensiling for ruminant supplementation. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FORAGE QUALITY AND CONSERVATION, 11., 2009, São Pedro. **Proceedings...** Piracicaba: FEALQ, 2009. v. 1, p. 47-72.

SIQUEIRA, G. R. et al. Associação entre aditivos químicos e bacterianos na ensilagem de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 36, n. 4, p. 789-798, 2007a.

\_\_\_\_\_. Óxido de cálcio e *Lactobacillus buchneri* NCIMB 40788 na ensilagem de cana-de-açúcar in natura ou queimada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 40, n. 11, p. 2347-2358, nov. 2011.

\_\_\_\_\_. Perdas de silagens de cana-de-açúcar tratadas com aditivos químicos e bacterianos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 36, n. 6, p. 2000-2009, 2007b. Suplemento.

\_\_\_\_\_. Queima e aditivos químicos e bacterianos na ensilagem de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 39, n. 1, p. 103-112, jan. 2010.

SOEST, P. J. van; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and no starch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 74, n. 10, p. 3583-3597, Oct. 1991.

SOUSA, D. P. et al. Efeito de aditivo químico e inoculantes microbianos na fermentação e no controle da produção de álcool em silagens de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 37, n. 9, p. 1564-1572, set. 2008.

SOUZA, A. D. V. et al. Caracterização química de sementes e tortas de pinhão-manso, nabo-forrageiro e crambe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 10, p. 1328-1335, out. 2009.

STATISTICAL ANALYSES SYSTEM INSTITUTE. **SAS/STAT™**: SAS user's guide for windows environment. Version 6. Cary, 1999. Software.

TABACCO, E. et al. Clostridia spore formation during aerobic deterioration of maize and sorghum silages as influenced by *Lactobacillus buchneri* and *Lactobacillus plantarum* inoculants. **Journal of Applied Microbiology**, Oxford, v. 107, n. 5, p. 1632-1641, Nov. 2009.

TILLEY, J. M. A.; TERRY, R. A. A two stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. **Journal of the British Grassland Society**, Hurley, v. 18, n. 2, p. 104-111, 1963.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Oilseeds**: world markets and trade. Disponível em: <<http://usda01.library.cornell.edu/usda/fas/oilseed-trade//2010s/2012/oilseed-trade-01-12-2012.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2012.

WEISS, E. A. Oilseed processing and products. In: \_\_\_\_\_. **Oilseed crops**. London: Longman, 1983. p. 528-596.



WOOLFORD, M. K. **The silage fermentation.** New York: M. Dekker, 1984.  
350 p.