



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**CO-DIGESTÃO DE DEJETOS DE VACAS LEITEIRAS E**  
**GLICERINA BRUTA**

SILVANA SIMM

Dourados, MS  
Fevereiro de 2015



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**CO-DIGESTÃO DE DEJETOS DE VACAS LEITEIRAS E**  
**GLICERINA BRUTA**

SILVANA SIMM

Zootecnista

Orientadora: Profa. Dra. Ana Carolina Amorim Orrico  
Coorientador: Prof. Dr. Marco Antonio Previdelli Orrico Junior

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Zootecnia da Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Zootecnia. Área de Concentração: Produção Animal

Dourados, MS  
Fevereiro de 2015

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).**

S592c	<p>Simm, Silvana. Co-digestão de dejetos de vacas leiteiras e glicerina bruta. / Silvana Simm. – Dourados, MS : UFGD, 2015. 74f.</p> <p>Orientadora: Profa. Dra. Ana Carolina Amorim Orrico. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal da Grande Dourados.</p> <p>1. Co-digestão anaeróbia. 2. Manejo de resíduos agropecuários. 3. Dejetos de vacas. I. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD – 631.86</p>
-------	--

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD.**

**©Todos os direitos reservados. Permitido a publicação parcial desde que citada a fonte.**

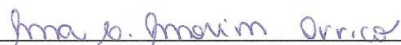
CO-DIGESTÃO DE DEJETOS DE VACAS LEITEIRAS E GLICERINA BRUTA

por

**SILVANA SIMM**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de MESTRE EM ZOOTECNIA

Aprovada em: 20/02/2015



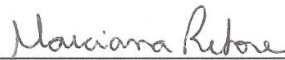
---

Profa. Dra. Ana Carolina Amorim Orrico  
Orientadora – UFGD/FCA



---

Profa. Dra. Danielle Marques Vilela  
UFGD/FCBA



---

Dra. Marciana Retore  
Embrapa Agropecuária do Oeste

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

**SILVANA SIMM**, filha de Maria de Fátima Simm e Idelmar Simm, nasceu em Maracajú, no Estado do Mato Grosso do Sul, no dia 29 de junho de 1981. Graduou-se no ano de 2007, em Administração de Empresas, pela Faculdade de Administração de Brasília, FAAB/AIEC, Polo Balsas/Maranhão, desenvolveu um Plano de Negócio para o Supermercado Matos de Balsas/Maranhão. E em 2008 ingressou na Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, no curso de Zootecnia, colando grau em 2012. No mesmo ano foi aprovada no processo de seleção do Programa de Pós - Graduação em Zootecnia da Universidade Federal da Grande Dourados, área de concentração Produção Animal, com início em 2013, sendo bolsista da CAPES desde o ingresso até a data de defesa de sua dissertação em fevereiro de 2015. A qual obteve o Título de Mestre em Zootecnia.

*O entusiasmo é a maior força da alma.  
Conserva-o e nunca te faltará poder para conseguires o que desejas.*

*Napoleão Bonaparte*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida e fortaleza na fé.

Aos meus pais, Maria de Fátima Simm e Idelmar Simm pelo amor e ensinamentos. Vocês são meus exemplos de vida, sempre me incentivando mesmo a distância.

À minha irmã, Silvia Simm, que esteve comigo diariamente na faculdade me ajudando não só braçalmente, mas também psicologicamente. Agradeço pelo empenho e companhia. Você foi extremamente importante para mim nessa fase. Deus me deu a melhor irmã do mundo.

Ao meu namorado, João Eugênio, por estar sempre me incentivando na continuidade de meus estudos, me apoiando e encorajando quando a fraqueza me abala.

À minha querida orientadora, Dra. Ana Carolina Amorim Orrico, por dispor do seu tempo, com toda paciência e dedicação. Mesmo em meio a tantas correrias, fez o impossível para orientar-me. Saiba que tenho muita admiração pela sua pessoa.

Ao meu coorientador, Dr. Marco Antonio Previdelli Orrico Júnior, pelo apoio técnico, auxílio na condução do experimento e colaboração na banca de qualificação.

Às pesquisadoras Dra. Maria Fernanda Ferreira Menegucci Praes, Dra. Marciana Retore e professora Dra. Danielle Marques Vilela, pela colaboração nas bancas de qualificação e defesa, e participação na forma de ideias.

Aos colegas e amigos, Fabrício Araújo, Ingrid Fuzikawa, Luciana Foppa, Rosana Pires, Rodrigo Coelho, Lais Valenzuela Moura e Adriana Sathie Ozaki Hirata pela amizade e momentos de descontração. Sentirei saudades. E, em especial à minha amiga/irmã, Nilsa Duarte da Silva Lima, pela convivência e sua amizade. Você tem sido um anjo na minha vida, te admiro muito e respeito.

Ao grupo de pesquisa de Manejo de Forragens e Resíduos Agropecuários, pela parceria e disponibilidade em ajudar-me.

À Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados, pela disponibilidade da estrutura necessária para execução do projeto.

Aos técnicos de laboratório da Faculdade de Ciências Agrárias. Em especial à Gizelma de Menezes Gressler, João Machado, Camila Farah e Thiago Silvério Silva, pelo suporte no desenvolvimento das análises.

Ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados, pelo apoio financeiro para a execução do projeto e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida.

Ao senhor Lineu Borges, por ter aberto as porteiras de sua propriedade e doado os dejetos de vacas leiteiras; e à Biocar indústria de biodiesel, pela doação da glicerina bruta, ambos resíduos utilizados nesta pesquisa.

Enfim, a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

**Muito obrigada!**



## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>3</b>
<b>CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....</b>	<b>5</b>
Objetivos .....	7
<b>CAPÍTULO 1. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>8</b>
1.1 Cenário brasileiro da bovinocultura leiteira .....	8
1.2 Biodiesel .....	9
1.3 Biodigestão anaeróbia .....	11
1.4 Co-digestão anaeróbia de dejetos de vacas leiteiras e glicerina .....	15
1.5 Referências Bibliográficas.....	20
<b>CAPÍTULO 2. Co-digestão dos dejetos de vacas leiteiras e glicerina bruta em biodigestores semi-contínuos .....</b>	<b>28</b>
Resumo.....	28
Abstract .....	29
2.1 Introdução.....	29
2.2 Material e Métodos .....	31
2.3 Resultados e Discussão .....	36
2.4 Conclusão .....	45
2.5 Referências Bibliográficas.....	46
<b>CAPÍTULO 3. Co-digestão de dejetos de vacas leiteiras e glicerina bruta em biodigestores batelada.....</b>	<b>48</b>
Resumo.....	48

Abstract .....	49
3.1 Introdução .....	50
3.2 Material e Métodos .....	51
3.3 Resultados e Discussão .....	55
3.4. Conclusão .....	61
3.5. Referências Bibliográficas.....	62
<b>4. IMPLICAÇÕES.....</b>	<b>65</b>
<b>5. APÊNDICE .....</b>	<b>66</b>
<b>6. ANEXOS .....</b>	<b>70</b>

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 2

<b>Tabela 1.</b> Caracterização do dejetos de vacas leiteiras e glicerina bruta. ....	32
<b>Tabela 2.</b> Quantidades de dejetos de vacas leiteiras, água e glicerina bruta (GB) com doses de 0, 5 e 10% para a composição do efluente em 10, 17 e 24 dias dos tempos de retenção hidráulica (TRH). ....	34
<b>Tabela 3.</b> Potenciais de produções de biogás por grama de Sólidos Totais e Sólidos Voláteis adicionados durante a co-digestão de substratos contendo dejetos de vacas leiteiras e glicerina bruta em 10, 17 e 24 dias dos tempos de retenção hidráulica (TRH). ....	42

### CAPÍTULO 3

<b>Tabela 1.</b> Caracterização do dejetos de vacas leiteiras e glicerina bruta. ....	52
<b>Tabela 2.</b> Quantidades de dejetos de vacas leiteiras, inóculo e glicerina bruta com doses de 0, 5, 10, 15 e 20% para a composição do afluente. ....	53

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 2

- Figura 1.** Reduções (%) de Sólidos Totais em substratos preparados com os dejetos de vacas leiteiras e doses de 0, 5 e 10% de glicerina bruta nos TRH 10, 17 e 24 dias... 37
- Figura 2.** Reduções (%) de Sólidos Voláteis em substratos preparados com os dejetos de vacas leiteiras e doses de glicerina bruta nos TRH 10, 17 e 24 dias. .... 37
- Figura 3.** Reduções (%) de hemicelulose em substratos preparados com os dejetos de vacas leiteiras e doses de glicerina bruta nos TRH 10, 17 e 24 dias ..... 39
- Figura 4.** pH dos efluentes oriundos da co-digestão anaeróbia da glicerina bruta nas doses de 0, 5 e 10% e dejetos de vacas leiteiras, nos TRH de 10, 17 e 24 dias ..... 40
- Figura 5.** Teores de metano em substratos preparados com os dejetos de vacas leiteiras e doses de glicerina bruta nos TRH 10, 17 e 24 dias ..... 43
- Figura 6.** Potenciais de produção de metano por Sólidos Totais adicionados em substratos preparados com os dejetos de vacas leiteiras e doses de glicerina bruta nos TRH 10, 17 e 24 dias ..... 43
- Figura 7.** Potenciais de produção de metano por Sólidos Voláteis adicionados em substratos preparados com os dejetos de vacas leiteiras e doses de glicerina bruta nos TRH 10, 17 e 24 dias ..... 45

### CAPÍTULO 3

<b>Figura 1.</b> Reduções de Sólidos Totais e Sólidos Voláteis (%) em substratos preparados com dejetos de vacas leiteiras e glicerina bruta, mantido em biodigestores tipo bateladas .....	55
<b>Figura 2.</b> Reduções de celulose e hemicelulose (%) em substratos preparados com os dejetos de vacas leiteiras e glicerina bruta, mantido em biodigestores tipo bateladas ...	56
<b>Figura 3.</b> pH dos afluentes e efluentes oriundos da co-digestão anaeróbia da glicerina bruta nas doses de 0, 5, 10, 15 e 20% e dejetos de vacas leiteiras em biodigestores tipo batelada .....	57
<b>Figura 4.</b> Potenciais de produção de biogás por Sólidos Totais e Sólidos Voláteis adicionados, obtido durante a co-digestão de substratos preparados com dejetos de vacas leiteiras e doses de glicerina em biodigestores tipo batelada.....	58
<b>Figura 5.</b> Concentração de metano obtido durante a co-digestão de substratos preparados com dejetos de vacas leiteiras e doses de glicerina em biodigestores tipo batelada .....	59
<b>Figura 6.</b> Potenciais de produção de metano por Sólidos Totais e Sólidos Voláteis adicionados, obtido durante a co-digestão de substratos preparados com dejetos de vacas leiteiras e doses de glicerina em biodigestores tipo batelada.....	60
<b>Figura 7.</b> Curva de distribuição da produção de biogás no ensaio com biodigestores tipo batelada .....	61

**LISTA DE ABREVIATURAS**

**CH<sub>4</sub>**: metano

**CO<sub>2</sub>**: dióxido de carbono

**FDA**: fibra em detergente ácido

**FDN**: fibra em detergente neutro

**GB**: glicerina bruta

**NaOH**: hidróxido de sódio

**pH**: potencial Hidrogeniônico

**ST**: sólidos totais

**SV**: sólidos voláteis

**TRH**: tempo de retenção hidráulica

## RESUMO

SIMM, Silvana. **Co-digestão de dejetos de vacas leiteiras e glicerina bruta**. 2015. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, 2015.

Este estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar o efeito da glicerina bruta em co-digestão com dejetos de vacas leiteiras, sobre as produções de biogás, metano e redução de constituintes sólidos. No primeiro ensaio foram utilizados biodigestores do tipo semi-contínuos e no segundo ensaio biodigestores tipo batelada. O delineamento experimental utilizado no primeiro ensaio foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x3, sendo três tempos de retenção hidráulica (TRH - 10, 17 e 24 dias) e três doses de glicerina bruta (0, 5 e 10 % dos sólidos totais - ST), adotando-se o período de acompanhamento dos biodigestores como subparcelas (cinco semanas). O delineamento experimental utilizado no segundo ensaio foi o inteiramente casualizado, utilizando-se cinco doses de glicerina bruta (0, 5, 10, 15 e 20 % dos ST) e cinco repetições. Em biodigestores semi-contínuos, as maiores reduções de ST e sólidos voláteis (SV) foram de 38,4 e 40,2%, nas doses de 3,6 e 2,7 % dos ST de glicerina bruta, respectivamente. E nos biodigestores tipo batelada, as máximas reduções de ST e SV foram de 36,7 e 50,7 % nas doses de glicerina de 4,7 e 3,4 % dos ST, respectivamente. Os potenciais máximos de produção de metano por ST e SV adicionados encontrados no sistema semi-contínuos foram de 1,4 e 1,8 l/g, nas doses de glicerina bruta de 3,0 e 3,3 %, respectivamente, o que corresponde a um incremento de, aproximadamente, 190 e 160% em relação ao controle. No sistema batelada, para os mesmo parâmetros, os valores máximos foram de 0,19 e 0,26 l/g, nas doses de 7,8 e 5,8 % dos ST, respectivamente, o

que corresponde em aumento de 11 e 8% em relação ao tratamento sem adição de glicerina bruta. Conclui-se que a inclusão de glicerina bruta nas doses entre 2 e 4 % dos ST, foi melhor para todos os parâmetros avaliados no sistema semi-contínuos. E doses de glicerina bruta entre 5 e 8 % dos ST, foram melhores para potencializar a produção de biogás e metano no sistema batelada.

**Palavras-chave:** Biodigestão anaeróbia, Biogás, Bovinocultura, Metano, Sólidos.



## ABSTRACT

SIMM, Silvana. Co-digestion of dairy cows manure and crude glycerin. 2015. Dissertation (Master of Animal Science). Faculty of Agricultural Sciences, Federal University of Grande Dourados, 2015.

This study was conducted to evaluate the effect of crude glycerin in co-digestion with dairy cows manure, on biogas production, methane and reduction of solid constituents. In the first experiment were used semi-continuous digesters and the second experiment batch digesters type. The experimental design used in the first experiment was a completely randomized factorial 3x3, three hydraulic retention times (HRT- 10, 17 and 24 days) and three crude glycerin rates (0, 5 and 10% of the total solids - TS), adopting the follow-up period of biodigesters as subparcels (five weeks). The experimental design used in the second experiment was randomized using crude glycerin five doses (0, 5, 10, 15 and 20% of TS) and five repetitions. In semi-continuous digesters, the largest reductions of TS and volatile solids (VS) were 38.4 and 40.2% at doses of 3.6 and 2.7% of crude glycerin TS, respectively. Moreover, in the batch digesters reductions of TS and VS were 36.7 and 50.7% in doses of glycerine 4.7 and 3.4% of TS, respectively. The maximum potential methane production by TS and VS added, found in a semi-continuous system, were 1.4 and 1.8 l/g, in crude glycerin doses of 3.0 and 3.3%, respectively. It corresponds an increase of approximately 190 and 160% compared to control. In the batch system for the same parameters, the maximum values were of 0.19 and 0.26 l/g, at doses of 7.8 and 5.8% TS, respectively, which corresponds into increased 11 and 8% compared to the treatment without addition of crude glycerin. That inclusion of crude glycerin in doses between 2 and 4% TS were better for all

parameters assessed in semi-continuous system. And crude glycerin doses between 5 and 8% of the TS, were better to enhance the production of biogas and methane in the batch system.

**Keywords:** Anaerobic digestion, Biogas, Bovine culture, Methane, Solid.

## CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Com a intensificação dos sistemas de produção animal, tem se elevado a densidade de animais por área, gerando assim uma maior quantidade de dejetos em espaços mais reduzidos. Esta concentração de dejetos poderá desencadear problemas ambientais, assim como representar uma importante parcela dos investimentos destinados à produção dos animais, sendo que a reciclagem destes resíduos atenderia ambas as preocupações.

A biodigestão anaeróbia é uma alternativa bastante utilizada nas unidades produtoras, sobretudo as de leite, devido ao elevado volume de resíduos com altas quantidades de sólidos totais que são gerados diariamente. Os dejetos de vacas leiteiras apresentam na sua composição uma parcela de constituintes fibrosos, características que limitam a produção de biogás, além de menor contribuição nos teores de nutrientes (ORRICO JÚNIOR et al., 2011), especialmente nitrogênio e fósforo, quando em comparação com os dejetos de suínos.

Para sanar essa limitação, resultados de pesquisas indicam associar outros resíduos aos dejetos de bovinos, que possuem uma taxa de degradação mais acelerada e assim apresentam maiores rendimentos de biogás, como resíduos de frutas, restos de alimentos (ALVAREZ E LIDÉN, 2008), lodo de esgoto (MARAÑÓN et al., 2012) e glicerina bruta, um resíduo da indústria do biodiesel (CASTRILLÓN et al., 2013).

Nos últimos anos aumentou-se a produção de biodiesel e, conseqüentemente, houve maior geração de resíduos, principalmente de glicerina bruta. Uma alternativa para a reciclagem da energia contida na glicerina bruta é a geração de biogás, devido ao seu elevado conteúdo de carbono de rápida degradação quando em co-digestão com outros resíduos orgânicos, elevando assim o potencial de produção de biogás e metano pela reciclagem energética (ROBRA et al., 2010; MOTA et al., 2009)

As características dos dejetos de vacas de leite e da glicerina bruta são favoráveis a co-digestão, pela disponibilidade de nitrogênio presente nos dejetos e a fonte carbonada da glicerina que, em associação, poderão melhorar os rendimentos do processo com aumento de produção de biogás e metano.

Diferentes relatos na literatura apontam resultados significativos de produção de biogás e metano com inclusão de glicerina bruta ao processo de co-digestão com dejetos de animais de produção. Porém, deve-se observar a quantidade da inclusão para não desequilibrar o processo fermentativo (ROBRA et. al., 2010; CASTRILLÓN et al., 2013; ASTALS et al., 2012; WOHLGETMUT et al., 2008; NUCHDANG e PHALAKORNKULE, 2012).

Para isso, estuda-se o processo de digestão anaeróbia associada a reciclagem de resíduos altamente energéticos como a glicerina bruta, envolvendo diferentes sistemas de biodigestores, como o de fluxo semi-contínuo e o tipo batelada, que devem ser ajustados conforme o consumo energético da propriedade. Ainda, encontrar a dose ideal de inclusão de glicerina bruta ao substrato e o melhor tempo de retenção que estes resíduos em digestão necessitam para expressar a eficiência do processo na produção do biogás e metano e redução do material orgânico, como formas de amenizar o impacto ambiental no sistema de produção.

## **OBJETIVOS**

- **Objetivo geral:**

Avaliar a influência da glicerina bruta quando em co-digestão com os dejetos de vacas leiteiras, sobre os rendimentos de biogás e metano e redução de constituintes sólidos, utilizando, biodigestores do tipo semi-contínuos e biodigestores do tipo batelada.

- **Objetivos específicos:**

- Avaliar as reduções de sólidos e os potenciais de produção de biogás e metano (por quantidades de ST e SV adicionadas durante a co-digestão), utilizando como substrato os dejetos de vacas leiteiras na co-digestão com doses crescentes de glicerina bruta (0, 5, 10% dos conteúdos de ST), em biodigestores semi-contínuos manejados por 10, 17 e 24 dias de retenção hidráulica;

- Avaliar as reduções de sólidos e os potenciais de produção de biogás e metano (por quantidades de ST e SV adicionadas durante a co-digestão), utilizando como substrato os dejetos de vacas leiteiras na co-digestão com doses crescentes de glicerina bruta (0, 5, 10, 15 e 20% dos conteúdos de ST), em biodigestores tipo batelada mantidos por 180 dias de retenção hidráulica.

## **CAPÍTULO 1. - REVISÃO DE LITERATURA**

### **1.1 Cenário brasileiro da bovinocultura leiteira**

No Brasil, o consumo de leite per capita anual é de 172,6 litros. Valor abaixo do recomendado pela Organização Mundial da Saúde, que é de 210 litros. No entanto, percebe-se um potencial por aumento de produtividade no setor.

No último censo agropecuário registrou-se que, em 2012, aproximadamente 23,5 milhões de vacas foram ordenhadas no Brasil (IBGE, 2013).

Uma vaca de leite de aproximadamente 450 kg de peso vivo e produz em torno de 8,5 toneladas de esterco por ano, ou seja, 23,3 kg de dejetos (fezes e urina) por dia (ENSMINGER, 1990). Com relação ao rebanho brasileiro de bovinos de leite, que possui cerca de 23,5 milhões de vacas ordenhadas e a média de produção de dejetos de 24 kg por vaca/dia é possível estimar-se a produção de mais de 547 mil toneladas/dia.

Neste contexto, gera-se uma preocupação ambiental relacionada à produção intensiva, uma vez que as vacas se concentram na sala de espera, sala de ordenha e área de alimentação, produzindo elevada quantidade de resíduos nestes ambientes. O grande volume de dejetos, com elevada carga orgânica, pode causar impacto ambiental por conter também significativos teores de nitrogênio e fósforo, bem como ser um ambiente favorável ao crescimento de micro-organismos patógenos. A destinação dos dejetos, por vezes, é inadequada sendo depositados em cursos d'água e solos, poluindo águas subterrâneas e superficiais e eutrofização dos recursos hídricos (MACHADO, 2009).

Os conteúdos de nutrientes nos dejetos de bovinos variam com a idade dos animais, a raça, a composição da dieta, o consumo de água e fatores ligados ao ambiente (ADHIKARI et al., 2005). Os dejetos de bovinos possuem teores médios de ST e SV variando de 16,9 a 23,99 e 14,06 a 18,52%, respectivamente (XAVIER e LUCAS

JÚNIOR., 2010; GÜNGÖR–DEMIRCI e DEMIRER, 2004); teores de nitrogênio, fosforo e potássio de 1,17; 1,06 e 4,36%, respectivamente, na matéria seca (ROBRA, et al., 2010); teores de lignina entre 6,64 e 8,34%, além de elevados teores de Fibra em Detergente Neutro (FDN), que variam de 53,66 a 56,32% (ORRICO JÚNIOR et al., 2010).

Este resíduo, quando em digestão, apresenta rendimentos consideráveis de biogás e metano. No entanto, possui constituintes fibrosos que são difíceis de serem degradados, mas, que em conjunto com um resíduo de rápida degradação pode resultar em uma digestão mais eficiente, produzindo biogás com alto teor de metano. Um resíduo que vem sendo bastante estudado em digestão conjunta com dejetos de animais, é a glicerina bruta proveniente das usinas de biodiesel, que ao favorecer a acidificação do meio, pode resultar em melhor qualidade de biogás com alto teor de metano, representa uma alternativa viável para o processo de tratamento de dejetos de bovinos.

## **1.2 Biodiesel**

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), por meio da Resolução nº 7 de 19/03/2008, tornou obrigatório em 2008 a mistura de 2% de biodiesel no óleo diesel. Atualmente está em 6% (Medida Provisória 647/2014), com a previsão de adição de 15% até 2020. Em decorrência da rápida evolução do programa do biodiesel, o país ocupa o terceiro lugar no ranking mundial de produção, com 60 usinas produtoras autorizadas para operação, o que corresponde a uma capacidade total de 21.155,79 m<sup>3</sup>/dia. A produção brasileira de biodiesel em 2013 foi de 2,9 milhões de m<sup>3</sup>. O estado de maior produção de biodiesel é o Mato Grosso, com 31,1% e produção de 418.180 m<sup>3</sup>/ano. O Mato Grosso do Sul participa com 6,6% e produção de 188.897 m<sup>3</sup> (ANP, 2014).

O biodiesel pode ser produzido a partir de óleos vegetais provenientes de plantas oleaginosas como palma, girassol, mamona, soja, babaçu e óleo de frituras, ou de origem animal, como o sebo bovino (RUPPEL e HALL, 2007; ZILIO, 2013). O biodiesel brasileiro atualmente é composto por 70% de óleo vegetal, tendo a soja como matéria-prima (ANP, 2014).

O óleo vegetal é formado por três moléculas de ácidos graxos ligados a uma molécula de glicerina, sendo que, no processo de produção de biodiesel, ocorre a reação de transesterificação, separando a glicerina bruta, que é o co-produto não purificado do biodiesel, conforme Figura 1.

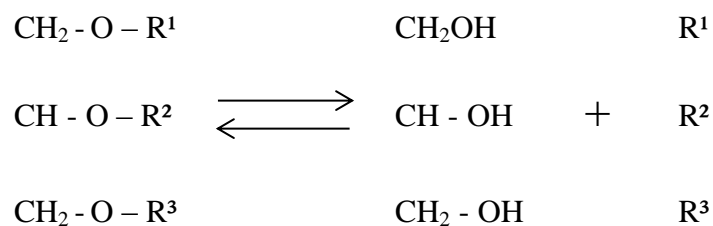


FIGURA 1. Reação de transesterificação

Esta reação acontece na presença de um catalisador em meio alcoólico (metanol ou etanol), originando alquil ésteres derivados de ácidos graxos, deixando o óleo vegetal mais fino e reduzindo a sua viscosidade (CAMARGOS, 2005). A produção de biodiesel gera grande quantidade de glicerina bruta, sendo que para cada 100 litros de biodiesel são produzidos cerca de 10 kg de glicerina bruta (LÔBO e FERREIRA, 2009; RAMOS et al., 2009;. LEONETI et al., 2012).

A glicerina bruta possui teores médios de 3 a 12% de metanol e de 30 a 90% de glicerol (GOTT et al., 2010; POTU et al., 2009; ROBRA et al., 2010). Teores de ST e SV de 96,9 e 91%, respectivamente (PANPONG et al., 2014), e ainda concentrações de



sódio entre 1,67 e 6,09%, além de pequenas frações de elementos como fósforo, enxofre, magnésio, cálcio e nitrogênio (SILES et al., 2010).

É preciso tomar alguns cuidados com a inclusão da glicerina bruta na digestão anaeróbia. Por ser um resíduo lipídico, pode causar efeitos inibitórios na fase da hidrólise, com acúmulo de ácidos graxos de cadeia longa, tornando-se tóxico para os micro-organismos na metanogênese (CIRNE et al., 2007).

A glicerina bruta é altamente degradável quando em biodigestão anaeróbia. Tem a capacidade de render altas quantidades de biogás e elevar as concentrações de metano na sua composição, pois disponibiliza carbono como fonte de energia para as bactérias.

### **1.3 Biodigestão anaeróbia**

A biodigestão anaeróbia consiste na degradação da matéria orgânica por micro-organismos em ambiente com ausência de oxigênio, através da fermentação (WOHLGEMUT et al., 2008). Para que esse processo ocorra de forma controlada e que possibilite a retenção do biogás e do biofertilizante, são utilizados aparelhos denominados de digestores ou biodigestores anaeróbios.

Podem-se classificar os biodigestores segundo o seu funcionamento, conforme a quantidade de material orgânico das cargas e descargas. Sendo estes em sistema batelada, de fluxo semi-contínuo e de fluxo contínuo.

Os biodigestores tipo batelada operam de forma descontínua, ou seja, a matéria orgânica é depositada no biodigestor de uma única vez, sendo esvaziado ao final do processo de decomposição. Quando a produção de biogás cessa indica que a matéria orgânica está estável. Os biodigestores batelada são utilizados quando não é possível a

alimentação com matéria orgânica diariamente, ou, quando o consumo de biogás é baixo, não exigindo uma produção diária de biogás (OLIVEIRA, 2004).

Nos biodigestores de fluxo semi-contínuo, o abastecimento é realizado em intervalos regulares de tempo, sendo diariamente e em quantidades constantes. Possui uma caixa de entrada onde a matéria orgânica é inserida (afluente) e uma caixa de saída pela qual sai o efluente ou biofertilizante. Durante o abastecimento diário ocorre a movimentação do substrato interno em digestão, o que permite maior contato das bactérias com o material a ser biodigerido, bem como evita que bolhas de gás envolvam as bactérias, o que reduz a eficiência do processo (RIBEIRO, 2011).

Nos biodigestores de fluxo contínuo o sistema de entrada e saída é igual aos dos biodigestores de fluxo semi-contínuos. O que os diferencia é o tempo de retenção do material em digestão, sendo que, a entrada e a saída do material orgânico são contínuas, ou seja, sem interrupções no decorrer do dia. Esse tipo de biodigestor, geralmente não se emprega em propriedades rurais, sendo frequentes em indústrias, onde a diluição dos sólidos totais é inferior a 2%, possibilitando assim, a degradação da massa orgânica mais rápida e contínua (SALOMOM e TIAGO FILHO, 2007).

Dentro do biodigestor anaeróbico ocorre a transformação da matéria orgânica em biogás. Esse processo acontece em quatro fases, que são: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (MACHADO, 2009).

Na hidrólise, as bactérias anaeróbicas facultativas (bactérias hidrolíticas) transformam os polímeros orgânicos em compostos simples e solúveis de menor peso molecular (monômeros) e, através de enzimas extracelulares, estes últimos em ácido acético, hidrogênio, dióxido de carbono, ácidos orgânicos de cadeia curta, aminoácidos e outros produtos como glicose (BACKES, 2011). Na Acidogênese, as bactérias

formadoras de ácidos (bactérias fermentativas) são conhecidas como produtoras de hidrogênio e convertem os produtos oriundos da hidrólise em ácidos graxos voláteis, alcoóis, ácido láctico, gás carbônico, hidrogênio, amônia e sulfeto de hidrogênio (AZEVEDO, 2010). Na Acetogênese, o processo é regulado por intermédio das bactérias acetogênicas, que transformam os produtos da acidogênese em substratos para a produção de metano: ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono, que serão os substratos para as bactérias metanogênicas (SILVA, 2009). E na Metanogênese, a degradação anaeróbia pode ser subdividida em dois grupos: as hidrogenotróficas e as acetotróficas. As bactérias acetotróficas produzem metano a partir da redução de ácido acético, enquanto que as que produzem metano a partir do hidrogênio e do dióxido de carbono são classificadas como hidrogenotróficas (AZEVEDO, 2010).

O processo de biodigestão anaeróbia necessita de alguns cuidados para que ocorra um equilíbrio entre as fases da formação do biogás. Fatores como: qualidade do material em digestão, temperatura, teor de sólidos totais, tempo de retenção hidráulica e pH devem ser monitorados, pois qualquer desequilíbrio em um destes fatores pode comprometer o desempenho na produção de biogás. A anaerobiose é determinante, pois favorece o desenvolvimento de micro-organismos anaeróbios responsáveis pela formação do gás metano, principal constituinte do biogás. Para isso, o biodigestor deve ser vedado hermeticamente contra a entrada de oxigênio. Caso contrário, resultará na redução de bactérias anaeróbias, dando condições para que as bactérias aeróbias produzam um biogás rico em CO<sub>2</sub>, condição não desejada para geração de energia através do biogás (CAMPOS et al., 2004).

O teor de umidade é fundamental para a fermentação e garantirá a carga hidráulica. Assim, substratos com baixos teores de umidade necessitam de acréscimo de água para sua diluição dos sólidos totais (KOSSMANN e UTA, 2012).

A presença de substâncias nocivas no substrato como metais pesados e antibióticos, pode causar toxicidade às bactérias, inibindo o processo fermentativo (WOHLGEMUT et al., 2008). Os tipos de biomassas utilizadas em biodigestores também devem manter uma relação de carbono: nitrogênio adequado para a formação de ácidos orgânicos, em torno de 20:1 ou 30:1 (MBULIGWE e KASSENGA, 2004).

Os teores de sólidos totais e voláteis devem garantir boa conversão em biogás (KONZEN, 2005). Os teores de sólidos totais correspondem à fração sólida do substrato após a extração da umidade e os sólidos voláteis correspondem à fração de matéria orgânica que pode ser destinada à formação de biogás (WOHLGEMUT et al., 2008).

A variação brusca de temperatura é outro fator importante, uma vez que as bactérias fermentativas são sensíveis a temperaturas abaixo de 15°C e acima de 45°C. Por tanto, deve-se ter o controle da temperatura ambiente, para que evite oscilação no metabolismo dos micro-organismos anaeróbios (TURDERA e YURA, 2006). No Brasil, esse fator não é limitante, pois em clima tropical as temperaturas não variam constantemente e se mantêm na faixa mesofílica, sendo uma vantagem para a produção de biogás.

O tempo de retenção hidráulica (TRH) deve ser adequado para a característica do substrato orgânico que será abastecido nos biodigestores, pois a retirada precoce do substrato resulta em ineficiência, não sendo aproveitado o máximo de potencial da carga orgânica. O TRH mais longo proporciona maiores teores de metano no biogás, e ainda melhora a eficiência das reduções de coliformes totais e termotolerantes do substrato

(ORRICO JÚNIOR et al., 2010). O TRH deve ser ajustado também para proporcionar a utilização econômica e viável do biodigestor, para que o tempo de degradação do substrato seja capaz de gerar quantidades significativas de biogás.

O potencial Hidrogeniônico (pH) é um parâmetro que indica as condições do meio em digestão, devendo ser controlado. O pH ideal em uma fermentação anaeróbica é de 6,8 a 7,2. Mas, poderá suportar uma faixa de 6,5 até 8,0. (CIOABLA et al., 2012).

Se todos estes fatores estiverem em equilíbrio, estará em condições favoráveis para a degradação da biomassa resultando em produção de biogás e biofertilizante.

O biogás constitui uma fonte de energia alternativa e ainda contribui na solução dos problemas ambientais (AZEVEDO, 2010). Os produtos finais do processo anaeróbico são compostos inorgânicos, incluindo o metano, dióxido de carbono, nitrogênio, oxigênio, ácido sulfídrico e hidrogênio, sendo o metano utilizado como fonte alternativa de energia (SOUZA et al., 2007). A qualidade do biogás depende do tipo de substrato em digestão e do tipo de biodigestor. O biogás é constituído de 55 a 65% de metano (CH<sub>4</sub>) e de 35 a 45% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), contendo ainda pequenos teores de nitrogênio, hidrogênio, oxigênio e gás sulfídrico (LUCAS JÚNIOR. et al., 2006).

Na biodigestão anaeróbia é possível utilizar dois resíduos ao mesmo tempo, quando isso ocorre chamamos de co-digestão anaeróbia.

#### **1.4 Co-digestão anaeróbia de dejetos de vacas de leite e glicerina**

A co-digestão corresponde à digestão conjunta de dois ou mais substratos (SILES et al., 2009), sendo essa união uma opção viável para superar as limitações da digestão isolada. Essa associação permite a suplementação do meio em digestão com nutrientes que podem estar em falta em um dos substratos, com a vantagem de aumentar

a viabilidade econômica do processo de digestão anaeróbia, devido à maior produção de metano (RODRIGUES 2005).

Para obter a eficiência na produção de biogás, oriunda da digestão dos dejetos de vacas de leite, a co-digestão é uma alternativa, uma vez que este resíduo constitui uma biomassa rica em nitrogênio e pH alcalino com poder tampão. No entanto, apresenta desvantagens pela presença de constituintes fibrosos composto por carboidratos de difícil degradabilidade (MOLLER et al., 2004), requerendo um maior tempo de retenção hidráulica para a digestão eficiente. AMORIM (2005) afirmou que os constituintes da fração fibrosa nos dejetos de ruminantes apresentam taxas de degradação diferentes, podendo acelerar a produção de biogás ou retardar quando forem de difícil degradação.

Para complementar a deficiência do carbono na digestão isolada, a inclusão de glicerina bruta pode contribuir com aumento significativo sobre as produções de biogás por possuir em sua composição o glicerol (carbono facilmente metabolizável), (CASTRILLÓN et al., 2013). Portanto, pode ser utilizada em co-digestão anaeróbia com dejetos de bovinos, auxiliando na degradação dos constituintes fibrosos e ajudando no equilíbrio da relação carbono:nitrogênio e pH, gerando potencial de produção de biogás e metano.

A proporção ideal de adição de glicerina bruta aos dejetos de vacas de leite deverá contemplar a obtenção de resultados que indiquem acréscimos nas produções de biogás e metano, além de significativas reduções dos constituintes orgânicos, de patógenos e boa qualidade do biofertilizante. Existem recomendações na literatura que variam entre 4 e 12% de glicerina a ser adicionada às misturas, sendo baseadas principalmente em trabalhos que utilizaram os dejetos de suínos e bovinos. Os

resultados são variados, pelo fato da glicerina não apresentar um padrão em seus constituintes.

Em diferentes estudos mencionados na literatura, onde foram utilizadas distintas fontes de dejetos oriundos da produção animal em co-digestão com a glicerina bruta, foram relacionados acréscimos nas produções de biogás até 400%, como relatados por CASTRILLÓN et al. (2011), quando utilizaram substratos constituídos de dejetos de vacas leiteiras e glicerina bruta contendo 49,4% de glicerol e 5,6% de metanol. Neste estudo, os autores avaliaram a co-digestão de dejetos de vacas leiteiras com adição de 4% (v/v) de glicerina bruta sob condições mesofílicas. A produção de biogás foi aumentada de 1,4 para 5,9 m<sup>3</sup> por tonelada de esterco, promovendo aumento de 400% na produção de biogás em relação ao tratamento controle. No entanto, o controle da temperatura é utilizado em países com variações climáticas, onde o emprego deste manejo se faz necessário para o desempenho de biodigestores, ao qual não se aplica sob as condições climáticas do Brasil.

Utilizando a glicerina bruta em co-digestão com dejetos de suíno, em biodigestores semi-contínuos com agitação em fase mesofílica ASTALS et al., (2012) verificaram aumento de cerca de 400% na produção de biogás com 4% de glicerina (m/m) em relação ao tratamento sem inclusão de glicerina. Os autores correlacionaram esse aumento ao acréscimo da carga orgânica e pela proporção de carbono:nitrogênio que se completam entre os dois resíduos utilizados. O potencial de produção de biogás por SV adicionada foram de 0,74 e 0,50 l/g para as doses de 4% e 0% (m/m) de inclusão de glicerina bruta. E as maiores reduções de ST e SV ocorrem para os tratamentos com dose de 4% de inclusão de glicerina bruta correspondendo a 59,1 e 74,1%, e no tratamento sem inclusão de glicerina foram de 21,4 e 35,7%. A co-digestão anaeróbia de

dejetos de suínos e glicerina foi satisfatória visto que a glicerina aumentou a carga orgânica no digestor, equilibrando a relação de carbono:nitrogênio.

Em estudo realizado por ROBRA et al. (2010) com biodigestores semi-contínuos em temperatura entre 35 e 37 °C e substrato com dejetos de bovinos e adição de glicerina bruta de 0, 5, 10 e 15% (m/m), os autores observaram produções adicionado de 268,6; 825,3; 825,7 e 387,9 L biogás por kg-1de SV, respectivamente. Verificaram que a adição de 10% de glicerina ocasionou um aumento de 307% na produção total de biogás comparado ao tratamento sem adição de glicerina e 15% houve colapso no sistema, falha de aquecimento na sexta semana e ocasionado choque térmico e elevando a acidificação do meio comprometendo o sistema. A glicerina bruta utilizada neste trabalho não foi caracterizada e os valores de glicerol e metanol foram baseados na literatura, sendo que a qualidade da glicerina bruta adicionada ao substrato pode interferir na relação carbono:nitrogênio e na produção do biogás e metano.

Segundo ROBRA et al. (2010) e FOUNTOULAKIS et al. (2010) as altas concentrações de glicerina bruta podem causar ação inibitória na produção de biogás, sendo que essa tendência pode estar associada à contaminação da glicerina por restos de biodiesel ou uma sobrecarga orgânica no biodigestor.

Na pesquisa realizada por BACKES (2011) foi utilizado dejetos suínos com TRH de 38 dias e dejetos de vacas de leite com TRH de 46 dias, sendo que em ambos foram adicionados níveis graduais de glicerina bruta (0, 3, 6 e 9% v/v). Foram observadas para ambos os dejetos maiores produções de biogás com a adição de 6% de glicerina bruta, sendo que nestas condições foram observadas produção total de 12,1 litros de biogás, com concentração de 70% de metano para o dejetos de suínos. Enquanto que para o dejetos de bovinos as produção total de biogás foram de 9,0 litros e a



concentração de metano em torno de 58%. Provavelmente, isso ocorreu por que a glicerina utilizada neste experimento continha 82,14% de glicerol, o que favoreceu melhor relação com os dejetos de suínos que contem nitrogênio na forma mais disponível e em maior quantidade que nos dejetos de ruminantes. E os dejetos de ruminantes possuem compostos fibrosos que dificultam sua degradabilidade.

## 1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADHIKARI, M.; PAUDEL, K.P.; MARTIN JR. N.R.; GAUTHIER, W.M. Economics of dairy waste use as fertilizer in central Texas. *Waste Management*, v. 25, p. 1067-1074, 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Resolução nº 7, de 19 de março de 2008. Regulamento Técnico nº 01/ 2008. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 20 mar. 2008.

ALVAREZ, R.; LIDÉN, G. Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste. **Renewable Energy**, Brighton, v.33, n.2, p.726-734, 2008.

AMORIM, A.C. Avaliação do potencial de impacto ambiental e do uso da compostagem e biodigestão anaeróbia na produção de caprinos. 2005. 129 f. **Tese** (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal 2005.

ASTALS, S., NOLLA-ARDEVOL, V., MATA-ALVAREZ, J. Anaerobic co-digestion of pig manure and crude glycerol at mesophilic conditions: biogas and digestate. **Bioresource Technology**, v. 110, p. 63–70, 2012.

AZEVEDO, F.G. Estudo das condições ambientais para produção de Biogás a partir de glicerol co-produto do Biodiesel. 2010. 88 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Química) -Universidade Federal de Pernambuco – Campus de Recife – PE, 2010.

BACKES, G.M. Avaliação do processo de digestão anaeróbia na geração de energia a partir de dejetos suínos e bovinos de leite com suplementação de glicerina residual bruta

oriunda da produção de biodiesel. 2011. 107 f. **Dissertação** (Mestrado em Ambiente e Desenvolvimento) - Centro Universitário UNIVATES, Lajeado – RS, 2011.

CAMARGOS, R.R.S. Avaliação da viabilidade de se produzir biodiesel através da transesterificação de óleo de grãos de café defeituosos. 2005. 105 f. **Dissertação** (Mestre) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

CAMPOS, C.M.M.; LUIZ, F.A.R.; BOTELHO, C.G.; DAMASCENO, L.H.S. Avaliação da eficiência do reator UASB tratando efluente de laticínio sob diferentes cargas orgânicas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 6, p. 1376–1384, 2004.

CASTRILLÓN, L., FERNÁNDEZ-NAVA, Y., ORMAECHEA, P., MARAÑÓN, E. Methane production from cattle manure supplemented with crude glycerin from the biodiesel industry in CSTR and IBR. **Bioresource Technology**, v. 127, p. 312–7, 2013.

CASTRILLÓN L.; FERNÁNDEZ-NAVA, Y.; ORMAECHEA, P.; MARAÑÓN, E. Optimization of biogas production from cattle manure by pre-treatment with ultrasound and co-digestion with crude glycerin. **Bioresource Technology**, v. 102, p. 7845-7849, 2011.

CIRNE, D.G. PALOUMET, X., BJORNSSON. L., ALVES, M.M., MATTIASSON, B. Anaerobic digestion of lipid-rich waste - Effects of lipid concentration. **Renewable Energy** v. 32, p. 965–975, 2007.

CIOABLA, A.E.; IONEL, I.; DUMITREL, G.; POPESCU, F. Comparative study on factors affecting anaerobic digestion of agricultural vegetal residues. **Biotechnology for Biofuels**, v. 5, n. 39, p. 1754-6834, 2012.

ENSMINGER, M.E., OLDFIELD, J.E., W.W. HEINEMANN. Feeds & Nutrition. 2 ed. Clovis, California, The Ensminger Publishing Company, p.1544, 1990.

FOUNTOULAKIS, M.S., PETOUSHI, I., MANIOS, T. Co-digestion of sewage sludge with glycerol to boost biogas production. **Waste Manage.** v.30, p. 1849–1853, 2010.

GOTT, P.; EASTRIDGE, M.L. Variation in the chemical composition of crude glycerin. In: 19th ANNUAL TRI-STATE DAIRY NUTRITION CONFERENCE, 19., 2010, Fort Wayne. **Proceedings...** Fort Wayne: Indiana, p.1-7, 2010.

GÜNGÖR-DEMIRCI, G.; DEMIRER, G.N. Effect of initial COD concentration, nutrient addition, temperature and microbial acclimation on anaerobic treatability of broiler and cattle manure. **Bioresource Technology.** v.93, n.2, p.109-117, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA ESTATÍSTICA DA PRODUÇÃO PECUÁRIA – Indicadores IBGE, Estatística da Produção Pecuária. p. 20-25, Dezembro de 2013.

KONZEN, E.A. Dejetos de suínos fermentados em biodigestores e seu impacto ambiental como insumo agrícola. In: SIMPÓSIO GOIANO DE SUINOCULTURA, p. 56 – 64., 2005, Goiânia. **Anais...** VII Simpósio Goiano de Avicultura e II Simpósio Goiano de Suinocultura. Avesui Centro-Oeste: Seminários técnicos de suinocultura, setembro 2005.

KOSSMANN, W. and UTA, P. Biogas Digest. Volume II Application and Product Development, ISAT and GTZ, GmbH. 2012.

LEMOS, O.L.; SILVA, D.A.M.. Planejamento e auditoria ambiental em sistemas de produção agropecuária: por uma sustentabilidade ambiental. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade** vol.1 n.1 jan-jun. 2012.

LEONETI. A.B., ARAGÃO-LEONETI. V., OLIVEIRA, S.V.W.B. Glycerol as a by-product of biodiesel production in Brazil: Alternatives for the use of unrefined glycerol. **Renewable Energy**, v.45, p. 138-145, 2012.

LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C. Biodiesel: Parâmetros de Qualidade e Métodos Analíticos. **Química Nova**. v. 32, n. 6, p. 1596-1608, 2009.

LUCAS JR, J.; SOUZA, C; LOPES, J. S. **Construção e operação de biodigestores**. Viçosa, MG, CPT, p. 158, 2006.

MACHADO, C. R.; XAVIER, C. A. N.; SILVA, A. A.; COSTA, L. V.; LUCAS JUNIOR, J. Produção de biogás utilizando dejetos de bovinos leiteiros com diferentes tempos de armazenamento com exposição ao ar. **In: I Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos de Animais, Anais**, p. 229-234, 2009.

MBULIGWE, S.E.; KASSENKA, G.R. Feasibility and strategies for anaerobic digestion of solid waste for energy production in Dar es Salaam city, Tanzania. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 42, n. 2, p. 183-203, 2004.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano mais pecuária / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Assessoria de Gestão Estratégica. – Brasília: MAPA/ACS, p.32, ISBN 978-85-7991-082-1, 2014.

MARAÑÓN, E., CASTRILLÓN, L., QUIROGA, G., FERNÁNDEZ-NAVA, Y., GÓMEZ, L., GARCÍA, M.M. Co-digestion of cattle manure with food waste and sludge to increase biogas production, **Waste Management** v.32, p. 1821–1825, 2012.

MOLLER, H.B.; SOMMER, S.G.; AHRING, B.K. Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. **Biomass and Bioenergy**, v. 26, n. 5, p. 485-495, 2004.

MOTA, C.J.A., SILVA, C.X.A., GONÇALVES, V.L.C.G., Gliceroquímica: novos produtos e processos a partir da glicerina de produção de biodiesel, **Química Nova**, Vol. 32, No. 3, p. 639-648, 2009.

NUCHDANG, S., PHALAKORNKULE. C., Anaerobic digestion of glycerol and co-digestion of glycerol and pig manure. **Journal of Environmental Management** v. 101, p. 164-172, 2012.

OLIVEIRA, P.A.V. O. de. Produção e aproveitamento do biogás. In: OLIVEIRA, P.A.V. et al. Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: Manual de boas praticas. Concórdia: EMBRAPA – CNPSA, Gestão Integrada de Ativos Ambientais, Cap. 4, p. 42-55, 2004.

ORRICO JÚNIOR, M.A.P., ORRICO, A.C.A., LUCAS JÚNIOR, J. Influência da relação volumoso : concentrado e do tempo de retenção hidráulica sob a biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v.30, n.3, p.386-394, 2010.

ORRICO JÚNIOR, M.A.P., ORRICO, A.C.A., LUCAS JÚNIOR,. Produção animal e o meio ambiente: uma comparação entre potencial de emissão de metano dos dejetos e a

quantidade de alimento produzido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v.31, n.2, p.399-410, 2011.

PANPONG, K., SRISUWAN, G., O-THONGA, S., KONGJAND, P. Anaerobic Co-digestion of Canned Seafood Wastewater with Glycerol Waste for Enhanced Biogas Production. **Energy Procedia**, v. 52, p. 328 – 336, 2014.

POTU, R. B.; ABUGHAZALEH, A.A.; HASTINGS, D.; ABOEL-NOR, S.; IBRAHIM, S. The effects of feeding glycerol on rumen fermentation and bacteria. **Journal of Animal Science**, v. 92, n. 1, p.89, Jan, 2009.

RAMOS, M. J.; FERNÁNDEZ, C. M.; CASAS, A.; RODRÍGUEZ, L.; PÉREZ, Á. Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties. **Bioresource Technology**. v. 100, p. 261–268, 2009.

RIBEIRO. D.S., Determinação das dimensões de um biodigestor em função da proporção gás/fase líquida. **HOLOS**, Ano 27, Vol.1, p. 49-56, 2011.

ROBRA, S., SERPA DA CRUZ, R., DE OLVEIRA, A.M., ALMEIDA-NETO, J.A., SANTOS, J.V. Generation of biogas using crude glycerine from biodiesel production as a supplement to cattle slurry. **Biomass Bioenergy** v. 34, p. 1330–1335, 2010.

RUPPEL, T.; HALL, G. Glicerina Livre e Total em Biodiesel B100 por Cromatografia a Gás. **Revista Analytica**, v. 30, p. 90–95, 2007.

SALOMOM, Karina Ribeiro; TIAGO FILHO, Geraldo Lúcio. Série Energias Renováveis: BIOMASSA. 1ª edição. 36 p. Itajubá-MG, 2007.

SILES, J.A., MARTÍN, M.A., CHICA, A.F., MARTÍN, A. Anaerobic digestion of glycerol derived from biodiesel manufacturing. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 23, p. 5609–5615, 2009.

SILES, J.A.; MARTÍN, M.A.; CHICA, A.F.; MARTÍN, A. Anaerobic co-digestion of glycerol and wastewater derived from biodiesel manufacturing. **Bioresource technology**, v. 101, n. 16, p. 6315–6321, 2010.

SILVA, C. A. B. V. Limpeza e Purificação de Biogás. 2009. 91 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro – UTAD, Vila Real, Portugal, 2009.

SOUZA, G.T.; CELLA, R.F.; SÁ, S.H. Tratamento Anaeróbico de Efluentes. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 13, 2007.

TURDERA, M.V. e YURA, D. Estudo da viabilidade de um biodigestor no município de Dourados. **Anais** [online] do 6. Encontro de Energia no Meio Rural. 2006.

WOHLGEMUT, O., CICEK, N., OLESZKIEWICZ, J. Co-Digestion of Hog Manure with Glycerol to Boost Biogas and Methane Productio. Conference: The Canadian Socyety for Bioengineering CSBE/SCGAB 2008. **Annual meeting, Vancouver.**

XAVIER C.A.N., LUCAS JÚNIOR, J. Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inóculo. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.2, p.212-223, 2010.

ZILIO, L. Projeções para o mercado de biodiesel. Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais ABIOVE. Brasília/DF 03/jul/2013.



Os capítulos 2 e 3 foram redigidos conforme as normas da Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal/SP, sendo detalhadamente descritas no Anexo, retirado do site: <http://www.scielo.br/revistas/eagri/pinstruc.htm>

## **CAPITULO 2 - Co-digestão dos dejetos de vacas leiteiras e glicerina bruta em biodigestores tipo semi-contínuos**

SILVANA SIMM<sup>1</sup>, ANA CAROLINA AMORIM ORRICO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Zootecnista, Mestranda em Zootecnia, Faculdade de Ciências Agrárias, UFGD, Dourados – MS, silvanasimm@gmail.com.

<sup>2</sup>Zootecnista, Profa. Adjunta da Faculdade de Ciências Agrárias, UFGD, Dourados - MS, anaorrico@ufgd.edu.br.

### **RESUMO**

Neste estudo avaliou-se a influência da glicerina bruta contendo 14% de glicerol em co-digestão com dejetos de vacas leiteiras, sobre as produções de biogás, metano e redução de constituintes sólidos em biodigestores experimentais semi-contínuos. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 3x3, sendo 3 tempos de retenção hidráulica (TRH- 10, 17 e 24 dias) e 3 doses de glicerina bruta (0, 5 e 10 % dos sólidos totais - ST), adotando-se o período de acompanhamento dos biodigestores como subparcelas (5 semanas). As maiores reduções de ST e sólidos voláteis (SV) foram de 38,4 e 40,2%, nas doses de glicerina bruta de 3,6 e 2,7 % dos ST, respectivamente. Os potenciais máximos de produção de biogás e metano por SV adicionados foram de 3,3 e 1,8 l/g, nas doses de glicerina bruta de 2,7 e 3,3 % dos ST, respectivamente, o que corresponde a um incremento de aproximadamente 160% e 165% em relação ao controle. A concentração de metano foi de 56,7; 58,8 e 60,5% nas doses de glicerina bruta de 0; 2,7 e 2,5% dos ST, para os TRH de 10, 17 e 24 dias respectivamente. Conclui-se que a inclusão de glicerina bruta nas doses entre 2 e 4 % dos ST influenciou de forma positiva em todos os parâmetros avaliados no estudo.

**Palavras-chave:** Biodigestão anaeróbia, Biogás, Bovinocultura, Metano, Sólidos.

## **CHAPTER 2 - Co-digestion of dairy cows manure and levels of crude glycerin in biodigesters semi-continuous**

### **ABSTRACT**

In this study, it was evaluated the influence of crude glycerin in co-digestion with dairy cows manure, on biogas production, methane and reduction of solid constituents in semi-continuous experimental digesters. The experimental design was completely randomized in a 3x3 factorial scheme, with three hydraulic retention times (TRH- 10, 17 and 24 days) and three crude glycerin levels (0, 5 and 10% of the total solids - TS), adopting the follow-up period of biodigesters as subparcels (5 weeks). The greatest reductions TS and volatile solids (VS) were 38.4 and 40.2% in crude glycerin doses of 3.6 and 2.7% of TS, respectively. The maximum potential of biogas and methane were 3.3 and 1.8 l/g, crude glycerin in doses of 2.7 and 3.3% TS, respectively, which corresponds to an increment of approximately 160% and 165% over the control. The methane concentration was 56.7; 58.8 and 60.5% in crude glycerin doses of 0; 2.7 to 2.5% of the TS for the HRT 10, 17 and 24 days respectively. The inclusion of crude glycerin in doses between 2 and 4% TS were better for all parameters assessed in study.

Keywords: Anaerobic digestion, Cattle, Methane, Biogas, Solid.

### **2.1 INTRODUÇÃO**

O aumento de resíduos produzidos pelas indústrias aponta preocupações quanto ao impacto ambiental associado ao descarte inadequado desses resíduos. Na produção de biodiesel, por exemplo, gera-se grande quantidade de glicerina bruta, sendo que a

cada 100 litros de biodiesel são produzidos cerca de 10 kg de glicerina bruta (LEONETI et al., 2012).

Um levantamento feito por OLIVEIRA et al. (2013), com amostras de glicerina bruta de 16 usinas brasileiras, detectou variações de 30 a 90% de glicerol em sua composição. O glicerol é uma fonte de carbono de rápida degradabilidade. Essa característica é interessante, podendo ser utilizada como alternativa de reciclagem energética em co-digestão anaeróbia, e reverter em altas produções de biogás e metano (ROBRA et al., 2010; CASTRILLÓN et al., 2013).

A co-digestão anaeróbia corresponde a digestão de um ou mais resíduos no mesmo substrato, com a finalidade de suplementação com nutrientes que estejam insuficientes na digestão isolada, promovendo aumento na produção de biogás e metano (SILES et al., 2009). Para complementar a deficiência do carbono na digestão isolada de dejetos de bovinos, por exemplo, a inclusão de glicerina bruta pode auxiliar na degradação dos constituintes fibrosos e aumentar a produção de biogás (CASTRILLÓN et al., 2013).

Na literatura há diversos estudos com o objetivo de encontrar a melhor dose de glicerina bruta em co-digestão com distintas fontes de dejetos oriundos da produção animal. Segundo ROBRA et al. (2010) e FOUNTOULAKIS et al. (2010) as altas concentrações de glicerina bruta podem causar repressão catabólica na produção de biogás, sendo que essa tendência pode estar associada ao excesso de fração lipídica na composição da glicerina, podendo causar uma sobrecarga orgânica no biodigestor.

Em estudo realizado por ROBRA et al. (2010), utilizando substratos com dejetos de bovinos leiteiros e adição de 5 e 10% (massa) de glicerina bruta em biodigestores semi-contínuos, foi detectado aumento significativo de até 307% na produção total de biogás por SV adicionados, comparado ao tratamento sem adição de

glicerina, correspondendo ao potencial máximo de 0,825 litros de biogás por grama de SV adicionado.

De acordo com ASTALS et al. (2012), a adição de 4% (massa) de glicerina bruta em co-digestão com dejetos de suíno em biodigestores semi-contínuos, proporcionou potencial máximo de biogás por SV adicionado de 740 l/g, representando cerca de 400% na produção de biogás em relação ao tratamento sem inclusão de glicerina e ainda obter as maiores reduções de ST e SV.

Em pesquisa CASTRILLÓN et al., (2011) verificaram aumentos na produção de biogás com 11,6 m<sup>3</sup> de biogás por tonelada de dejetos, promovendo aumento em até 800% em relação ao tratamento controle, quando adicionado 4% (volume) de glicerina bruta em dejetos de bovino.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência das doses de glicerina bruta, em co-digestão com os dejetos de vacas leiteiras, sobre os rendimentos de biogás, metano e redução de constituintes sólidos e fibrosos em biodigestores semi-contínuos.

## **2.2 MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Manejo de Resíduos Agropecuários da Faculdade de Ciências Agrárias, na Universidade Federal da Grande Dourados.

Para o abastecimento dos biodigestores foram utilizados dejetos (fezes e urina) oriundos de uma propriedade de bovinocultura de leite, localizada no município de Dourados-MS, Brasil, coletados após a ordenha, por meio da raspagem no piso da área de alimentação, sem adição de água. Este material foi armazenado em freezer à -15°C em embalagem com quantidades menores para o abastecimento diário dos biodigestores. A glicerina bruta foi adquirida por doação de uma usina de biodiesel da

mesma cidade, que utiliza o óleo de soja como matéria prima. A caracterização química dos resíduos está apresentada na Tabela 1.

TABELA 1. Caracterização química do dejetos de vacas leiteiras e glicerina bruta.

**Chemical characterization manure of dairy cows and crude glycerin.**

Componentes		Dejeto	Glicerina bruta
pH		7,1	6,5
	Sólidos totais (ST)	18,00	95,00
	Sólidos voláteis (SV)	83,00	-
%	Umidade	82,00	5,00
	Glicerol	-	14,00
	Metanol	-	6,10

Foram utilizados nove biodigestores experimentais de modelo horizontal, com fluxo semi-contínuo, compostos de duas partes distintas: a câmara de fermentação e o gasômetro. A câmara de fermentação é um recipiente composto por um cilindro reto de PVC com diâmetro de 300 mm e 100 cm de comprimento, tendo as extremidades fixadas com duas placas de PVC com 1,5 cm de espessura de cada lado. Em uma placa está fixado o cano de entrada, por onde se realizou o abastecimento, e na outra extremidade dois canos, sendo um destinado à saída do biofertilizante e o outro à saída do biogás (Figura 1 do APÊNDICE).

Os gasômetros foram constituídos de dois cilindros de 250 e 300 cm de diâmetro sendo o primeiro inserido no interior do segundo, de tal forma que o espaço existente entre eles comportasse um volume de água (“selo de água”), atingindo profundidade de 500 mm. O cilindro de 300 mm de diâmetro foi fixado sobre uma placa

de PVC com 2,5 cm de espessura, recebendo o cilindro de 250 mm de diâmetro no seu interior. O cilindro de 250 mm de diâmetro tem uma das extremidades vedada por cap, recebendo desta maneira o gás produzido. A outra extremidade foi emborcada no selo de água para armazenar o gás produzido (Figura 2 e 3 do APÊNDICE). Os gasômetros e biodigestores permaneceram em condições de temperatura ambiente, abrigados da incidência de sol e chuva.

O inóculo foi preparado anteriormente ao experimento, utilizando dejetos de suínos e água para diluição, depois de misturados foram acondicionados em biodigestores, sendo considerado inóculo no momento em que apresentou concentração máxima e constante de metano na composição do biogás. No início do experimento o inóculo foi incorporado aos biodigestores apenas no primeiro abastecimento. A quantidade de inóculo utilizada foi correspondente a 15% da concentração dos ST adicionada aos biodigestores.

Durante o ensaio de co-digestão anaeróbia, a influência dos diferentes tempos de retenção hidráulica (10, 17 e 24 dias) e as doses crescentes de glicerina bruta (0, 5, 10%) bem como a interação dos mesmos, foi avaliada por meio das produções e potenciais de produção de biogás e metano, segundo as quantidades de ST e SV adicionadas e reduções de ST, SV, celulose e hemicelulose, de cada tratamento.

A alimentação dos biodigestores foi feita diariamente com a inclusão das doses de 0, 5 e 10 (% dos ST) de glicerina bruta nos tempo de retenção hidráulica de 10, 17 e 24 dias, sendo considerada a concentração inicial de sólidos totais no substrato igual a 2% para os tratamentos conforme a Tabela 2, após a estabilização das produções de biogás.

TABELA 2. Quantidades de dejetos de vacas leiteiras, água e glicerina bruta (GB) com doses de 0, 5 e 10% para a composição do afluente em 10, 17 e 24 dias dos tempos de retenção hidráulica (TRH). **Quantity of dairy cows manure, water and crude glycerin (GB) with levels of 0, 5 and 10% for the composition of the affluent in 10, 17 and 24 of the hydraulic retention times (HRT).**

Tratamentos Experimentais	Volume de Afluente (L)	ST no Afluente (%)	Massa de GB (g)	Massa de Dejetos (g)	Massa de Água (g)
0% de GB TRH 10	4,21	2,0	0	501	3709
0% de GB TRH 17	2,07	2,0	0	262	1807
0% de GB TRH 24	1,54	2,0	0	204	1335
5% de GB TRH 10	3,86	2,0	4,3	438	3417
5% de GB TRH 17	2,27	2,0	2,7	270	1996
5% de GB TRH 24	1,61	2,0	2,0	201	1406
10% de GB TRH 10	3,99	2,0	9,0	426	3554
10% de GB TRH 17	2,42	2,0	5,7	270	2144
10% de GB TRH 24	1,77	2,0	4,3	205	1560

Diariamente foram aferidos o pH do afluente e do efluente, produção quantitativa de biogás e temperatura do ambiente onde foram instalados os biodigestores. Os volumes de biogás produzidos foram determinados medindo-se o deslocamento vertical dos gasômetros, e multiplicando-se pela área da seção transversal interna dos mesmos. Após cada leitura os gasômetros foram zerados utilizando-se o



registro de descarga do biogás. Foi efetuada a correção do volume para as condições de 1 atm e 20°C conforme metodologia proposta por CAETANO (1985).

Os teores de ST e SV foram determinados conforme metodologia descrita pela APHA (2005). Com as amostras pré-secas e moídas a 1 mm a partir dos ST, foram realizadas as análises de SV e ainda FDN, FDA e lignina, para quantificação de celulose e hemicelulose das amostras.

Os constituintes fibrosos: fibra em detergente neutro (FDN), hemicelulose e lignina (método permanganato) das amostras coletadas durante a co-digestão anaeróbia, foram determinadas segundo a metodologia descrita por DETMANN et al. (2012).

Os potenciais de produção de biogás e metano foram calculados dividindo-se os valores de produção pelas quantidades de ST e SV adicionadas e reduzidas nos biodigestores.

A composição do biogás foi determinada através do analisador de gases portátil da marca Madur, modelo GA21 *plus*, equipado com sensor de infravermelho para detecção dos teores de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, principalmente.

O período experimental teve duração total de 5 semanas e as curvas de distribuição das produções de biogás podem ser observadas no APÊNDICE (Figura 4).

O delineamento experimental foi ao acaso, em esquema fatorial 3x3, sendo 3 tempos de retenção hidráulica (TRH) (10, 17 e 24 dias) e 3 doses de glicerina bruta (0, 5 e 10 % dos sólidos totais - ST), adotando-se o período de acompanhamento dos biodigestores como subparcelas (5 semanas). Os resultados foram analisados pelo *software* R Project 2.

### 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do comportamento das reduções de ST e SV (Figuras 1 e 2), durante a co-digestão dos substratos preparados com os dejetos de vacas leiteiras e doses de glicerina bruta nos TRH 10, 17 e 24 dias, foi possível verificar que os valores máximos ocorreram entre as doses 0 e 3,9% de inclusão de glicerina aos substratos, sendo que no TRH de 17 dias a inclusão de glicerina bruta favoreceu as reduções de ST e SV com valores de 35,7 e 37,7 nas doses de 3,9 e 2,7%. Já para o TRH de 24 dias a inclusão de glicerina bruta favoreceu as reduções de ST, SV e nas doses de 3,0 e 2,7%, respectivamente. Estes valores indicam que a inclusão de glicerina foi benéfica até estes níveis, sendo que acima de 4% provavelmente a glicerina presente no meio prejudicou a eficiência de digestão pelos microrganismos, reduzindo a degradação dos constituintes avaliados. Esse comportamento pode estar associado à composição da glicerina utilizada neste experimento, que continha alto teor de lipídeos (estimado em 78% na material natural) e baixo teor de glicerol (14%), limitando assim a degradação do material em digestão, devido ao provável aumento da concentração de ácidos graxos voláteis de cadeia longa e repressão catabólica (Figura 4).

No TRH de 10 dias, as maiores reduções de ST e SV ocorreram na dose de 0% de glicerina bruta, com valores de 29,38 e 32,26%, respectivamente. Neste TRH a não inclusão de glicerina bruta apresentou os melhores resultados em relação ao acréscimo de glicerina, o que provavelmente está relacionado com o tempo reduzido para a digestão dos substratos e ao efeito de acidificação do meio ocasionado pela inclusão da glicerina bruta, limitando assim as condições de atuação dos microrganismos e consequente degradação do material orgânico.

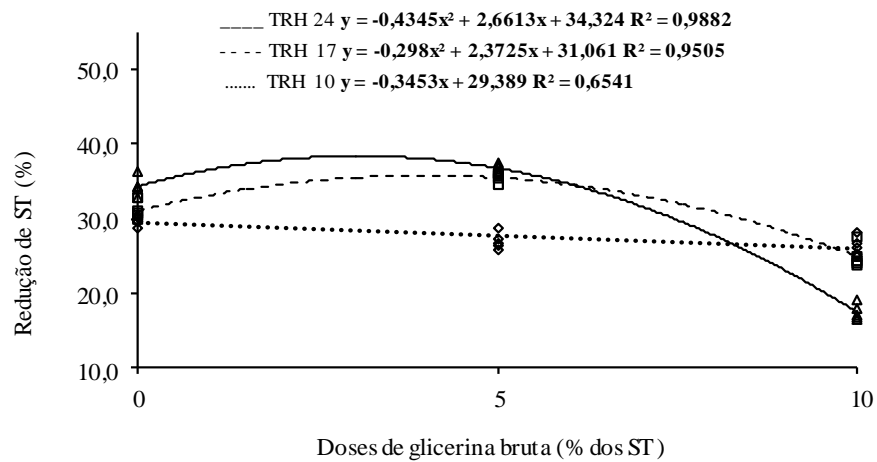


FIGURA 1. Reduções (%) de ST em substratos preparados com os dejetos de vacas leiteiras e doses de 0, 5 e 10% de glicerina bruta nos TRH 10, 17 e 24 dias.

**Reductions (%) of TS substrates prepared with dairy cows manure and levels of crude glycerin of 0, 5 and 10% in HRT 10, 17 and 24 days.**

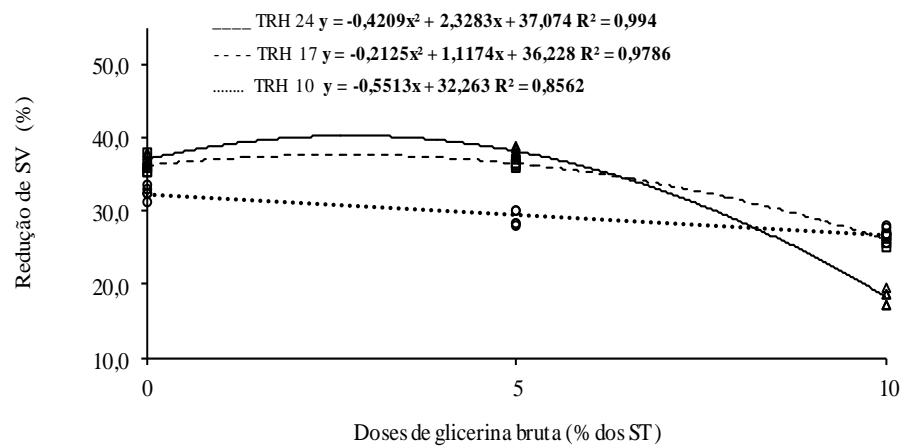


FIGURA 2. Reduções (%) de SV em substratos preparados com os dejetos de vacas leiteiras e doses de glicerina bruta nos TRH 10, 17 e 24 dias.

**Reductions (%) of VS in substrates prepared with manure cows dairy and crude glycerin doses in HRT 10, 17 and 24 days.**

Houve efeito quadrático crescente ( $P < 0,05$ ) nas doses de glicerina sobre redução de hemicelulose (Figura 3), as reduções de hemicelulose foram acrescidas conforme se

adicionou-se glicerina bruta ao meio para os TRH de 10, 17 e 24 dias, onde as melhores reduções ocorreram na dose máxima de 10% de inclusão de glicerina, com reduções de 18,05; 23,16 e 24,67% nos TRH de 10, 17 e 24 dias.

Esses comportamentos podem estar relacionados aos valores de pH, o que provavelmente alterou as condições do meio em digestão, sendo reduzido conforme o aumento de glicerina na composição dos substratos (Figura 4).

A composição da glicerina bruta empregada neste experimento como mencionado anteriormente, pode ter determinado este comportamento, devido principalmente ao elevado conteúdo de fração lipídica, que pode ter ocasionado um rápido acúmulo de ácidos graxos. A redução nos teores de hemicelulose pode ser justificada pela hidrólise ácida causada pelo acúmulo de ácidos orgânicos produzidos durante a fermentação da glicerina bruta, bem como pela ação de hemicelulases provenientes dos dejetos e de micro-organismos. (OGEDA e PETRI, 2010 e PANAGIOTOPOULOS et.al., 2012).

Não ocorreram reduções de celulose com a inclusão crescente de glicerina, provavelmente porque a celulose nos substratos está complexada pela lignina e assim possui uma degradação limitada. E os TRH de 10, 17 e 24 dias, não foram suficientes para apresentar reduções de celulose.

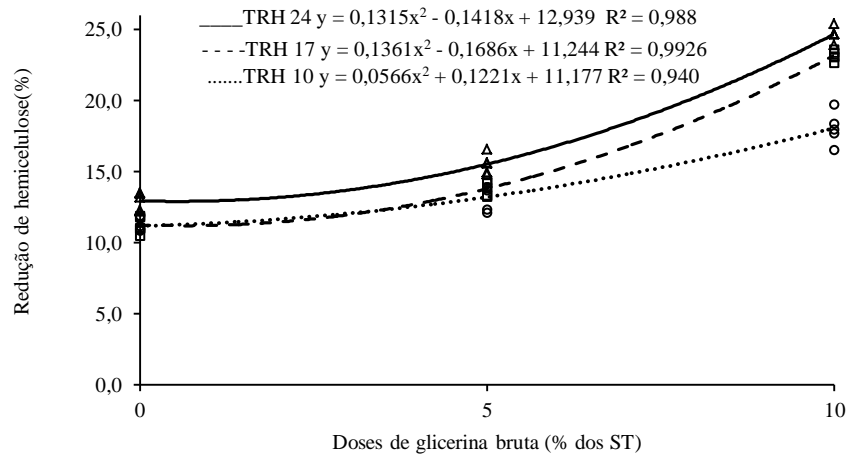


FIGURA 3. Reduções (%) de hemicelulose em substratos preparados com os dejetos de vacas leiteiras e doses de glicerina bruta nos TRH 10, 17 e 24 dias.

**Reductions (%) hemicellulose substrates prepared with dairy cows manure and crude glycerin levels in HRT 10, 17 and 24 days.**

O pH dos afluentes foram constantes para todos os tratamentos, mantendo-se em 7,4 e nos efluentes variaram entre 7,1 e 6,2, entre os tratamentos (Figura 4). Pode-se observar que houve acidificação do efluente com o aumento das doses de glicerina bruta aos substratos, sendo que entre as doses 5 e 10% foram considerados levemente ácido para todos os tratamentos. A composição da glicerina bruta utilizada possuía teor de glicerol baixo (14%) e maior fração de lipídeos (78%). Sendo que esses lipídeos podem ter causado efeito inibitório na fase de hidrólise lipídica devido à concentração de AGVs de cadeia longa (CIRNE, et al., 2007).

Como a queda do pH tem relação com o acúmulo de AGV's dentro do biodigestor, pode ocorrer inibição do crescimento dos micro-organismos anaeróbios, e afetar negativamente os potenciais de produções de biogás e metano (Tabela 3).

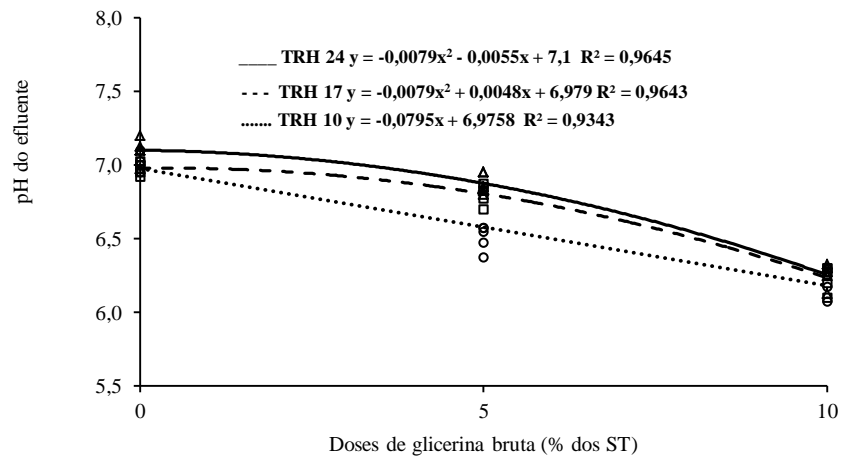


FIGURA 4. pH dos efluentes oriundos da co-digestão anaeróbia da glicerina bruta nas doses de 0, 5 e 10% e dejetos de vacas leiteiras, nos TRH de 10, 17 e 24 dias.

**pH of effluents from the anaerobic co-digestion of crude glycerin at levels of 0, 5 and 10% and dairy cows manure in HRT of 10, 17 and 24 days.**

O desempenho dos potenciais de produção de biogás, considerando-se as quantidades de ST e SV adicionadas, apresentaram comportamentos semelhantes entre si, sendo os resultados encontrados para o potencial de produção de biogás por ST adicionados nos TRH de 10, 17 e 24 dias de 0,910; 1,720 e 2,425 l/g, nas doses de inclusão de glicerina bruta de 0; 3,6 e 3,1 %, respectivamente. Observa-se que ocorreu aumento de 89,00 e 166,48 % nos potenciais de produção de biogás por ST adicionados nos TRH's de 17 e 24 dias, em relação ao TRH 10 sem adição de glicerina bruta.

O maior tempo de retenção hidráulica proporcionou melhor produção de biogás por ST adicionados em decorrência do maior tempo em que o substrato ficou em digestão e o acréscimo de glicerina bruta até 3,1% contribuiu como aporte energético para os microrganismos na conversão de sólidos totais adicionados em biogás.

Os potenciais máximos de produções de biogás por SV adicionados nos TRH's de 10, 17 e 24 dias foram de 1,27; 2,37 e 3,31 l/g, nas doses de inclusão de 0; 3,6 e 2,7% (dos ST) de glicerina bruta, respectivamente (Tabela 3). Comparando os potenciais de produção entre os TRH's, observou que no maior tempo de retenção ocorreu a melhor produção. Obtendo aumento de 86,61% e 160,62% nos potenciais de produção nos TRH de 17 e 24 dias respectivamente em relação ao TRH 10 sem inclusão de glicerina. Esses resultados indicam que o TRH e a inclusão de glicerina bruta têm influência sobre a produção de biogás. Em estudo realizado por ROBRA et al. (2010) com biodigestores semi-contínuos e temperatura controlada entre 35 e 37° C operados com dejetos bovinos leiteiros e adição de 0, 5, 10 e 15% da massa de glicerina bruta, os autores observaram produções de biogás de 268,6, 825,3, 825,7 e 387,9 mL por grama de SV adicionado, respectivamente. As produções estudadas nesta pesquisa são superiores as encontradas pelos autores, podendo ser atribuídas ao maior teor de glicerol e metanol presentes na glicerina bruta, que irá contribuir para aumento da produção de biogás.

ASTALS et al. (2012), ao avaliarem a co-digestão de dejetos de suínos e glicerina bruta, obtiveram cerca de 740 litros de biogás por quilograma de SV adicionado o que corresponde a um incremento de cerca de 400% na produção de biogás com 4% de glicerina em relação ao controle. Correlacionaram esse aumento em consequência do acréscimo da carga orgânica e a proporção de carbono:nitrogênio dos dejetos de suínos. Os dejetos de suínos contêm menos constituintes fibrosos que os dejetos de bovinos e os teores de carbono e nitrogênio disponíveis que em conjunto com a glicerina bruta favorecem a maior produção.

TABELA 3. Potencial de produção de biogás por grama de ST e SV adicionados durante a co-digestão de substratos contendo dejetos de vacas leiteiras e glicerina bruta em 10, 17 e 24 dias dos tempos de retenção hidráulica (TRH). **Biogas production potential by TS and VS gram of added during the co-digestion of substrates containing dairy cows manure and crude glycerin in 10, 17 and 24 days of hydraulic retention time (HRT).**

Parâmetro avaliado	Modelo de Regressão	R <sup>2</sup>	P	CV(%)
TRH 10				
l biogás/g ST adicionado	$y = -0,0688x + 0,9101$	0,8780	< 0,0001	8,86
l biogás/g SV adicionado	$y = -0,0988x + 1,273$	0,8782	< 0,0001	7,21
TRH 17				
l biogás/g ST adicionado	$y = -0,0332x^2 + 0,2397x + 1,2908$	0,9720	< 0,0001	8,86
l biogás/g SV adicionado	$y = -0,0463x^2 + 0,3347x + 1,769$	0,9739	< 0,0001	7,21
TRH 24				
l biogás/g ST adicionado	$y = -0,042x^2 + 0,2632x + 2,013$	0,9821	< 0,0001	8,86
l biogás/g SV adicionado	$y = -0,0513x^2 + 0,2784x + 2,9367$	0,9923	< 0,0001	7,21

Na figura 5, os resultados encontrados para teor de metano nos TRH de 10, 17 e 24 dias foram de 56,7; 58,8 e 60,5% nas doses de 0; 2,7 e 2,5% de glicerina bruta, respectivamente. Verifica-se que a inclusão de glicerina bruta aumentou de 3,7 e 6,7% nos teores de metano nos TRH's de 17 e 24 dias, respectivamente, em relação ao TRH 10.



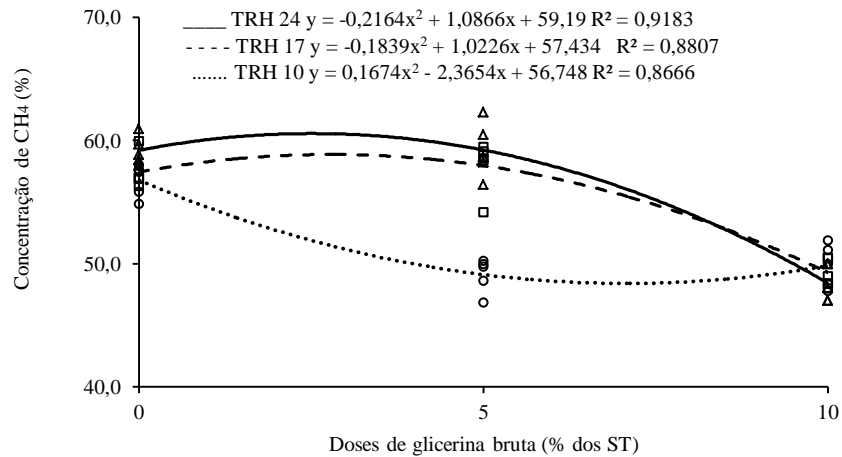


FIGURA 5. Teores de metano em substratos preparados com os dejetos de vacas leiteiras e doses de glicerina bruta nos TRH 10, 17 e 24 dias. **Methane concentration in substrates prepared with dairy cows manure and crude glycerin levels in HRT 10, 17 and 24 days.**

Na figura 6, os resultados encontrados para potencial de produção de metano por ST adicionados para os TRH de 10, 17 e 24 dias foram de 0,50; 1,01 e 1,45 l/g nas doses ideais de 0; 3,6 e 3,0% de glicerina bruta, respectivamente. Verifica-se que a inclusão de glicerina bruta aumentou 102 e 190% os potenciais de produção nos TRH's de 17 e 24 dias, respectivamente, em relação ao TRH 10.

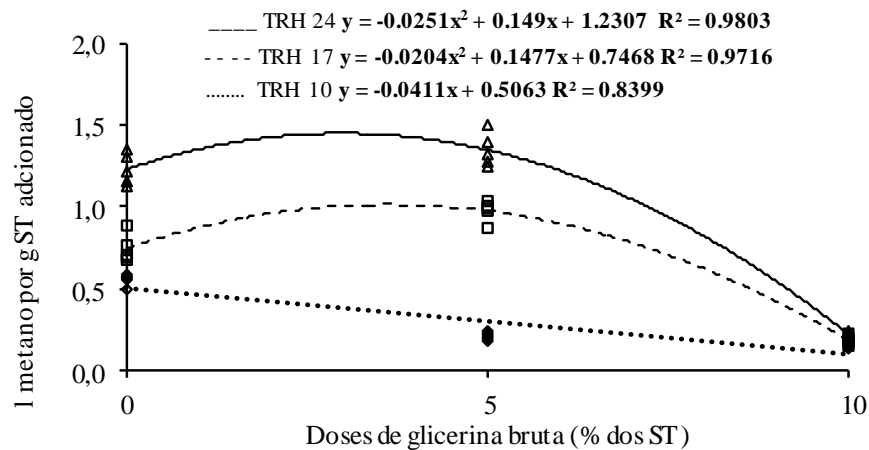


FIGURA 6. Potenciais de produção de metano por ST adicionados em substratos preparados com os dejetos de vacas leiteiras e doses de glicerina bruta nos TRH 10, 17 e 24 dias. **Potential for ST methane production added substrates prepared with dairy cows manure and crude glycerin levels in HRT 10, 17 and 24 days.**

Na Figura 7, os resultados encontrados para potencial de produção de metano por SV adicionados para os TRH de 10, 17 e 24 dias foram de 0,70; 1,43 e 1,86 l/g, nas doses ideais de 0; 3,7 e 3,3% de glicerina bruta, respectivamente. Verifica-se que a inclusão de glicerina bruta aumentou em 104,28 e 165,71% os potenciais de produção nos TRH's de 17 e 24 dias, respectivamente, em relação ao TRH 10. CASTRILLÓN et al. (2013), ao avaliarem a co-digestão de dejetos de bovinos com 6% da massa em glicerina bruta em biodigestores contínuos com agitador, com TRH de 18 dias, obtiveram valor de 600 litros de metano por grama de SV adicionado. O valor encontrado por estes autores foi superior aos apresentados neste estudo, o qual pode-se relacionar aos fatores de condução da pesquisa, que utilizou agitação constante para não criar crostas dentro do biodigestor. Além da qualidade da glicerina bruta utilizada pelos autores, a qual continha teores de glicerol e metanol de 49,4 e 5,6%, respectivamente. A qualidade superior de glicerina bruta utilizada pelo autor contribui significativamente com aporte de carbono, fonte de energia para os micro-organismos, além de obter maiores produções de metano.

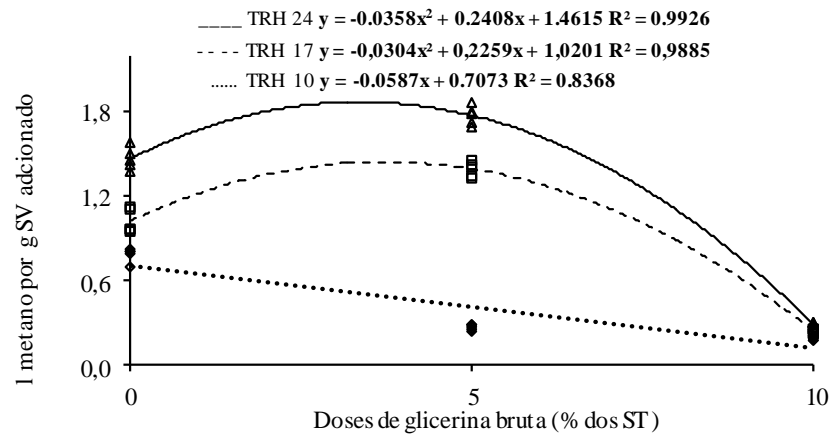


FIGURA 7. Potenciais de produção de metano por SV adicionados em substratos preparados com os dejetos de vacas leiteiras e doses de glicerina bruta nos TRH 10, 17 e 24 dias. **Potential production of methane for VS added substrates prepared with the dairy cows manure and crude glycerin levels in HRT 10, 17 and 24 days.**

## 2.4 CONCLUSÃO

Conclui-se que a utilização da glicerina bruta em co-digestão com dejetos de vacas leiteiras, com doses entre 2 e 4%, apresentou melhores resultados para reduções de ST, SV e hemicelulose, mostrando-se um tratamento viável para resíduos orgânicos, além de promover melhores potenciais de produções de biogás e metano, por ST e SV adicionados. O tempo de retenção hidráulica de 24 dias apresentou resultados superiores em relação aos TRH de 10 e 17 dias para todos os parâmetros estudados.

## 2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION,. Standard methods for examination of water and wastewater. 21th ed. Washington: American Water Works Association, 1. p.368, 2005.

ASTALS, S., NOLLA-ARDEVOL, V., MATA-ALVAREZ, J. Anaerobic co-digestion of pig manure and crude glycerol at mesophilic conditions: biogas and digestate. **Bioresource Technology**, v.110, p. 63–70, 2012.

CAETANO, L. Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás. 1985. 75f. **Dissertação** (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 1985.

CASTRILLÓN L.; FERNÁNDEZ-NAVA, Y.; ORMAECHEA, P.; MARAÑÓN, E. Optimization of biogas production from cattle manure by pre-treatment with ultrasound and co-digestion with crude glycerin. **Bioresource Technology**, v. 102, p. 7845-7849, 2011.

CASTRILLÓN, L., FERNÁNDEZ-NAVA, Y., ORMAECHEA, P., MARAÑÓN, E., Methane production from cattle manure supplemented with crude glycerin from the biodiesel industry in CSTR and IBR. **Bioresource Technology**, v. 127, p. 312–317, 2013.

DETMANN, E., SOUZA, M. A., VALADARES FILHO, S. C., Métodos para Análise de Alimentos. 1. ed. UFV, Minas Gerais: Visconde do Rio Branco, p. 214, 2012.

FOUNTOULAKIS, M.S., PETOUSHI, I., MANIOS, T., Co-digestion of sewage sludge with glycerol to boost biogas production. **Waste Management**. v. 30, p. 1849–1853, 2010.

LEONETI, A.B., ARAGÃO-LEONETI, V., OLIVEIRA, S.V.W.B. Glycerol as a by-product of biodiesel production in Brazil: Alternatives for the use of unrefined glycerol. **Renewable Energy**, v. 45, p. 138-145, 2012.

OGEDA, T. L. e PETRI, D. F. S. Hidrólise enzimática de biomassa. **Química Nova**, Vol. 33, no. 7, p. 1549-1558, 2010.

OLIVEIRA, J. S., ANTONIASSI, R., FREITAS, S. C., MÜLLER, M. D., Composição química da glicerina produzida por usinas de biodiesel no Brasil e potencial de uso na alimentação animal. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.3, p.509-512, 2013.

PANAGIOTOPOULOS, C., SEMP'ER'E., PARA, R., J.; RAIMBAULT, P., RABOUILLE, C.; CHARRIÈRE, B. The composition and flux of particulate and dissolved carbohydrates from the Rhone River into the Mediterranean Sea. **Biogeosciences**, v. 9, p.1827–1844, 2012.

ROBRA, S.; SERPA DA CRUZ, R.; OLIVEIRA, A. M. DE; ALMEIDA NETO, J.A.; SANTOS J.V. Generation of biogas using crude glycerin from biodiesel production as a supplement to cattle slurry. **Bioresource Technology**, v. 34, p. 1330-1335, 2010.

SILES, J.A., MARTÍN, M.A., CHICA, A.F., MARTÍN, A. Anaerobic digestion of glycerol derived from biodiesel manufacturing. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 23, p. 5609–5615, 2009.

R Project 2, R version 3.1.1. Disponível em: <http://www.r-project.org/> acessado em: ago/2014.

### **CAPITULO 3 - Co-digestão de dejetos de vacas leiteiras e glicerina bruta em biodigestores tipo batelada**

SILVANA SIMM<sup>1</sup>, ANA CAROLINA AMORIM ORRICO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Zootecnista, Mestranda em Zootecnia, Faculdade de Ciências Agrárias, UFGD, Dourados – MS, silvanasimm@gmail.com.

<sup>2</sup>Zootecnista, Profa. Adjunta da Faculdade de Ciências Agrárias, UFGD, Dourados - MS, anaorrico@ufgd.edu.br.

#### **RESUMO**

Este estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar a influência da glicerina bruta em co-digestão com dejetos de vacas leiteiras, sobre as produções de biogás, metano e redução de constituintes sólidos em biodigestores tipo batelada. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, utilizando 5 doses de glicerina bruta (0, 5, 10, 15 e 20 % dos sólidos totais (ST)) e 5 repetições. As máximas reduções de ST e sólidos voláteis (SV) foram de 36,7 e 50,7 % nas doses de glicerina de 4,7 e 3,4 % dos ST, respectivamente. A redução de hemicelulose apresentou efeito positivo, ocorrendo maior redução com a inclusão de 20% de glicerina bruta. Os potenciais de produção de biogás por ST e SV adicionados obtiveram aumento de 4 e 2% em relação ao tratamento sem adição de glicerina bruta, nas doses de glicerina bruta de 5,8 e 5,4 % dos ST, respectivamente. O valor máximo de concentração de metano foi de 73,5%, na dose de glicerina bruta de 9,2% dos ST. Os potenciais máximos de produção de metano por ST e SV adicionados ocorreram nas doses de glicerina bruta de 7,8 e 5,8 % dos ST, respectivamente, o que corresponde ao aumento de 11 e 8% em relação ao tratamento sem adição de glicerina bruta. A inclusão de doses de glicerina

bruta entre 5 e 8 % dos ST foram as ideais para potencializar a produção de biogás e metano.

**Palavras-chave:** Biogás, Bovinocultura, Lipídios, Metano, Sólidos Totais.

### **CHAPTER 3 - Co-digestion of dairy cows manure and crude glycerin in batch digesters**

#### **ABSTRACT**

This study was conducted to evaluate the influence of crude glycerin in co-digestion with dairy cows manure, on biogas and methane production, reduction of solid constituents in batch digesters. The experimental design was completely randomized, using crude glycerin 5 doses (0, 5, 10, 15 and 20% of total solids (TS)) and 5 repetitions. Maximum TS reductions and volatile solids (VS) were 36.7 and 50.7% at doses of 4.7 glycerin and 3.4% of TS, respectively. The reduction of hemicellulose had a positive effect, greater reduction occurring with the addition of 20% crude glycerin. The potential of biogas by TS and VS added had increased 4 and 2% compared to the treatment without addition of crude glycerine, the crude glycerin doses of 5.8 and 5.4% TS, respectively. The maximum methane concentration was 73.5% in crude glycerin 9.2% of the TS dose. The maximum potential methane production by TS and VS added, occurred in doses of crude glycerin of 7.8 and 5.8% of TS, respectively, this corresponds to an increase of 11 and 8% compared to the treatment without addition of crude glycerin. The inclusion of crude glycerin doses between 5 and 8% of TS were best to maximize the production of biogas and methane.

**Keywords:** Biogas, Cattle, Lipids, Methane, Total Solids.

### 3.1 INTRODUÇÃO

A co-digestão consiste na digestão conjunta de dois ou mais substratos com características desejáveis para a fermentação (SILES et al., 2009), sendo essa mistura uma alternativa viável para complementar as limitações da digestão isolada. A junção de dejetos de animais e glicerina bruta em co-digestão pode melhorar o processo de fermentação, suplementando o substrato com nutrientes que podem estar em falta nos dejetos, com a vantagem de tornar o processo de digestão anaeróbia economicamente viável, devido o maior rendimento de biogás e metano, além de reduzir material orgânico poluidor (MATA-ALVAREZ et al., 2011).

A glicerina bruta tem despontado como uma alternativa em ensaios de co-digestão devido ao seu elevado conteúdo de carbono de degradação rápida, representado pelo glicerol (BAIRD e CANN, 2011), que disponibiliza ácidos graxos voláteis (AGV) em maior quantidade ao meio em digestão, ocasionando temporariamente, queda no pH e auxiliando a hidrólise de resíduo de difícil degradação, como por exemplo os constituintes fibrosos presente nos dejetos de bovinos.

Os dejetos de bovinos possuem alta alcalinidade com poder tampão para controlar o acúmulo de ácidos graxos voláteis, e ainda contribuem com macro e micro nutrientes essenciais para o crescimento bacteriano, mas, por outro lado, constituem-se em um material fibroso com degradação lenta (CASTRILLÓN et al., 2011 e 2013). Os dejetos de bovinos e glicerina bruta apresentam características ideais para a co-digestão, podendo potencializar o processo de produção de biogás e metano.

Estudos relatam limites para níveis de inclusão de glicerina bruta em digestão que variam entre 4 e 12%, sendo os resultados variados pelo fato da glicerina não apresentar um padrão em seus constituintes. No entanto, altos teores de inclusão da glicerina bruta em co-digestão podem causar efeito inibitório na fase de hidrólise



lipídica, devido a concentração de ácidos graxos de cadeia longa presentes na glicerina, dificulta absorção, bloqueando a entrada de nutrientes (CIRNE et al., 2007; FREITAS et al., 2010; CASTRILLÓN et al., 2013).

Em pesquisa realizada por DAUN et al.(2009), utilizando biodigestores anaeróbios do tipo batelada, abastecidos com dejetos de bovinos e adição de 5% de volume de glicerina, operados durante 14 dias, foi observado aumento de 60% na produtividade de biogás em relação ao tratamento sem glicerina, com produção total de 6,578 ml de biogás.

CASTRILLÓN et al. (2011) utilizaram biodigestores com agitação contínua e pré-tratamento com ultrassom com adição de 4% (volume) de glicerina bruta em dejetos de bovino e verificaram aumentos muito elevados na produção de biogás com 11,6 m<sup>3</sup> por tonelada de dejetos, resultando em até 800% de aumento de biogás em relação ao tratamento controle.

O objetivo desta pesquisa foi avaliar a influência das doses de glicerina bruta, quando em co-digestão com os dejetos de vacas leiteiras sobre os potenciais de biogás e metano e redução de constituintes sólidos e fibrosos em biodigestores batelada.

### **3.2 MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Manejo de Resíduos Agropecuários da Faculdade de Ciências Agrárias, na Universidade Federal da Grande Dourados.

Foram utilizados resíduos adquiridos em propriedades localizadas no município de Dourados, Brasil. Para o abastecimento dos biodigestores foram utilizados dejetos (fezes e urina) oriundos da bovinocultura de leite, coletados após a ordenha por raspagem do piso da área de alimentação das vacas, sem a adição de água. A glicerina

bruta foi adquirida por doação de uma usina de biodiesel, que utiliza o óleo de soja como matéria prima. A caracterização dos resíduos está apresentada na Tabela 1.

TABELA 1. Caracterização do dejetto de vacas leiteiras e glicerina bruta.

**Characterization dairy cows manure and crude glycerin.**

Componentes		Dejeto	Glicerina bruta
pH		7,1	6,5
	Sólidos totais (ST)	18,00	95,00
	Sólidos voláteis (SV)	83,00	-
%	Umidade	82,00	5,00
	Glicerol	-	14,00
	Metanol	-	6,10

Os biodigestores foram constituídos por duas partes distintas: um recipiente para manter o material em fermentação, com capacidade de 1,3 litros, e um gasômetro para armazenar o biogás produzido. Os recipientes com o material em fermentação (biodigestor) foram compostos por 25 garrafas plásticas com capacidade de volume útil de 1,3 litros cada e lacradas com rolhas de borracha onde foram inseridas mangueiras para canalizar o gás produzido pelo material em fermentação das garrafas até o gasômetro. Os gasômetros foram constituídos por dois cilindros retos de PVC com 10 e 15 cm de diâmetro e 40 cm de altura, sendo o primeiro inserido no interior do segundo, de forma que o espaço existente entre eles comportasse um volume de água (“selo de água”), atingindo profundidade de 40 cm, conforme ilustrado nas Figuras 5 e 6 do APÊNDICE. Os gasômetros e biodigestores foram dispostos sobre uma bancada em condições de temperatura ambiente, abrigados de luz solar e chuva.

Anteriormente ao início de abastecimento dos biodigestores foi realizada a produção do inóculo para ser utilizado na etapa inicial do processo de co-digestão, a fim de acelerar o processo de fermentação. O inóculo foi preparado com os dejetos de vacas leiteiras, ajustando-se o teor de ST inicial para 13%, sendo considerado inóculo no momento em que apresentou concentração máxima de metano em sua composição.

Para a obtenção de cada um dos substratos foram consideradas as doses de inclusão de glicerina bruta nas concentrações de 0; 5; 10; 15 e 20 (% dos ST) no abastecimento, sendo os substratos compostos por dejetos de vacas leiteiras, glicerina bruta, inóculo (na proporção de 13% dos ST) e água para a diluição (Tabela 2), com o objetivo de se obter 4% de ST na concentração final, conforme equações citadas por LUCAS JUNIOR (1994).

TABELA 2. Quantidades de dejetos de vacas leiteiras, inóculo e glicerina bruta (GB) com doses de 0, 5, 10, 15 e 20% para a composição do afluente. **Quantity of dairy cow manure, inoculum and crude glycerin (GB) at levels of 0, 5, 10, 15 and 20% for the composition of the effluent.**

Tratamentos Experimentais	Massa de Inóculo (g)	Concentração de ST no Afluente (%)	Massa de ST de GB (g)	Massa de ST de Dejetos (g)
0% de GB	7,8	4,0	0	52,0
5% de GB	7,8	4,0	3,0	49,0
10% de GB	7,8	4,0	6,0	46,0
15% de GB	7,8	4,0	9,0	43,0
20% de GB	7,8	4,0	12,0	40,0

Foram aferidos o pH do afluente e do efluente de todos os tratamentos, no início e no fim do processo de co-digestão e uma vez por semana foram medidas as produções

quantitativas de biogás e metano e ainda aferida a temperatura do ambiente onde foram instalados os biodigestores. Os volumes de biogás produzidos foram determinados medindo-se o deslocamento vertical dos gasômetros, e multiplicando-se pela área da seção transversal interna dos mesmos. Após cada leitura, os gasômetros foram zerados utilizando-se o registro de descarga do biogás. Foi efetuada a correção do volume para as condições de 1 atm e 20°C conforme metodologia proposta por CAETANO (1985).

Os potenciais de produção de biogás e metano foram calculados dividindo-se os valores de produção por grama de ST e SV adicionado nos biodigestores.

A composição do biogás foi determinada através do analisador de gases portátil da marca Madur, modelo GA21 plus, equipado com sensor de infravermelho para detecção dos teores de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, principalmente, sendo acompanhados por 180 dias.

Os teores de ST e SV foram determinados conforme metodologia descrita pela APHA (2005). Com as amostras pré-secas e moídas a 1 mm a partir dos ST foram realizadas as análises de SV.

Os constituintes fibrosos: fibra em detergente neutro (FDN); fibra em detergente ácido (FDA) e lignina das amostras, foram determinadas segundo a metodologia descrita por DETMANN et al. (2012). A fração de hemicelulose foi determinada pela diferença entre FDN e FDA. A determinação de celulose foi feita sequencialmente, por diferença de peso, a partir do resíduo resultante da determinação de lignina.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, utilizando-se 5 doses de glicerina bruta (0, 5, 10, 15 e 20 % dos ST) e 5 repetições, se 5 doses de glicerina bruta (0, 5, 10, 15 e 20 % dos ST) e 5 repetições, totalizando 25 unidades experimentais. As análises foram realizadas pelo software R Project 2.

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comportamento das reduções de ST e SV (Figuras 1, Tabela 1 do APÊNDICE), durante a co-digestão dos substratos preparados com os dejetos de vacas leiteiras e glicerina bruta, apresentou efeito quadrático decrescente ( $P < 0,05$ ), com valores máximos de redução de 36,7 e 50,7 %, nas doses ideais de 4,7 e 3,4 (% dos ST) de glicerina, respectivamente. Estas reduções indicam que a inclusão de glicerina foi benéfica até estes níveis, sendo que acima de 4,7% provavelmente a glicerina presente no meio prejudicou a eficiência de absorção pelos micro-organismos, ocorrendo acidificação e reduzindo a degradação dos constituintes sólidos avaliados.

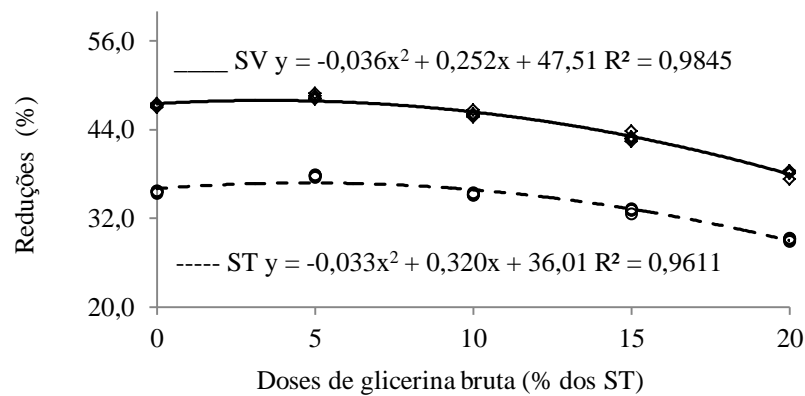


FIGURA 1. Reduções de ST e SV (%) em substratos preparados com os dejetos de vacas leiteiras e glicerina bruta, mantido em biodigestores bateladas.

**Reductions TS and VS (%) substrates prepared with the dairy cows manure and crude glycerin at digesters batch.**

Houve efeito quadrático crescente nas doses de glicerina sobre redução de hemicelulose (Figuras 2, Tabela 1 do APÊNDICE). As reduções de hemicelulose foram intensificadas conforme adicionou-se glicerina bruta na composição dos substratos em digestão, sendo que a maior redução ocorreu na dose máxima de 20 (% dos ST) de glicerina bruta com aproximadamente 35% de redução. Esse comportamento pode estar

relacionado aos valores de pH, o que provavelmente alterou as condições do meio em digestão, sendo reduzido conforme acrescentou-se glicerina na composição dos substratos (Figura 3). A composição da glicerina bruta empregada neste experimento pode ter determinado este comportamento, devido principalmente ao elevado conteúdo de fração lipídica, que pode ter ocasionado um rápido acúmulo de ácidos graxos. A degradação dos lipídios causa queda no pH e acúmulo de ácidos orgânicos produzidos durante a fermentação, bem como pela ação de hemicelulases provenientes dos dejetos, possibilitando assim a solubilização parcial da hemicelulose (OGEDA e PETRI, 2010 e PANAGIOTOPOULOS et al., 2012).

O comportamento da redução da celulose (Figura 2) mostra que a degradação máxima, de aproximadamente 37%, ocorreu na dose 20 (% dos ST), apresentando pequenas variações com a adição de glicerina bruta ao substrato. Provavelmente, esse comportamento está associado à ligação da fração celulose no constituinte lignina.

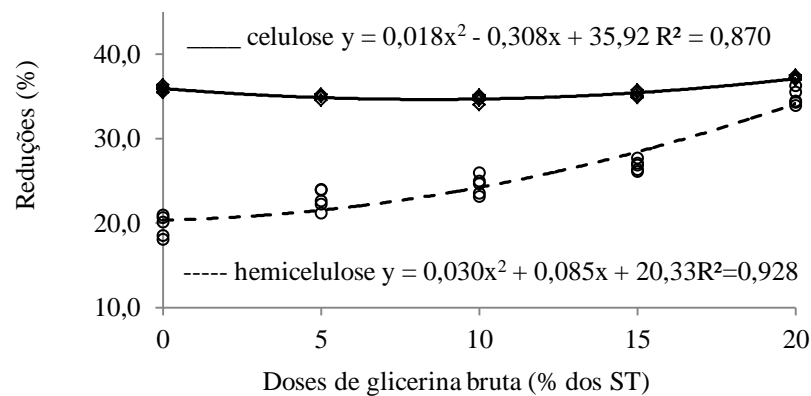


FIGURA 2. Reduções de celulose e hemicelulose (%) em substratos preparados com os dejetos de vacas leiteiras e doses de glicerina bruta, mantido em biodigestores bateladas. **Cellulose and hemicellulose reductions (%) substrates prepared with the dairy cows manure and crude glycerin levels, in batch digesters.**

O pH dos afluentes (Figura 3) apresentou alcalinização conforme adicionou-se glicerina na composição dos substratos, o que pode ter sido ocasionado pelo uso de hidróxido de sódio (NaOH) na obtenção da glicerina bruta. Pode-se observar que a co-digestão dos substratos liberam AGV no meio, causando acidificação, mas em decorrência da glicerina bruta utilizada conter maior fração de lipídeos (75%), isso pode, além de baixar o pH, também dificultar a assimilação da matéria orgânica pelos micro-organismos.

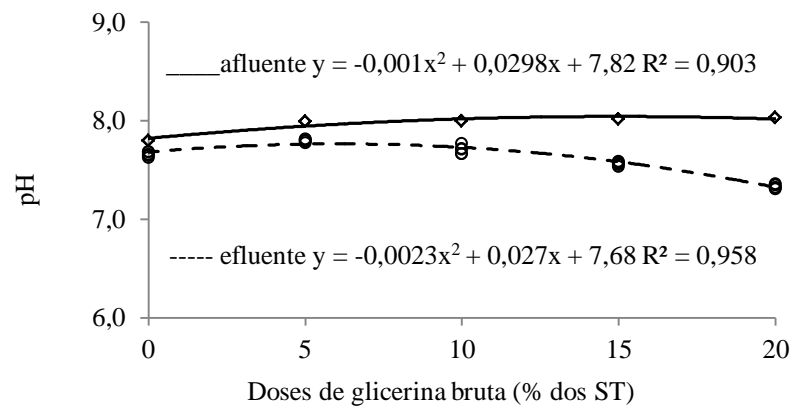


FIGURA 3. pH dos afluentes e efluentes oriundos da co-digestão anaeróbia da glicerina bruta nas doses de 0, 5, 10, 15 e 20% e dejetos de vacas leiteiras em biodigestores bateladas. **pH of the influent and effluent coming from the anaerobic co-digestion of crude glycerin in the levels of 0, 5, 10, 15 and 20% and dairy cows manure in batch digesters.**

Os potenciais de produção de biogás por ST e SV adicionados apresentaram comportamentos semelhantes, sendo verificadas equações quadráticas decrescentes (Tabela 2 do APÊNDICE), com valores máximos de 0,26 e 0,36 l de biogás/g de ST e SV adicionados, nas doses ideais de inclusão de glicerina bruta de 5,8 e 5,4%, respectivamente. Esses valores de potenciais de produção de biogás por ST e SV

adicionados corresponderam a um aumento de 4,0 e 2,8% em relação ao tratamento sem adição de glicerina bruta.

Nos tratamentos com doses de inclusão de glicerina bruta acima de 5,8%, ocorreram quedas nos potenciais de produção, quando considerados os ST e SV adicionados. Possivelmente, a qualidade da glicerina utilizada influenciou a queda de potenciais, por conter baixo teor de glicerol. Considerando-se as características iniciais da glicerina bruta e os valores estimados de lipídeos na sua constituição (em torno de 78% da matéria natural) é possível estimar que os afluentes apresentaram até 16% deste componente (com base nos ST) na sua composição, para a dose máxima de inclusão de glicerina bruta. Este fator pode ter limitado as condições do meio em digestão, sobretudo pela geração de ácidos graxos de cadeia longa, principal produto da hidrólise da molécula de lipídeo e consequente acidificação deste ambiente (CIRNE et al., 2007).

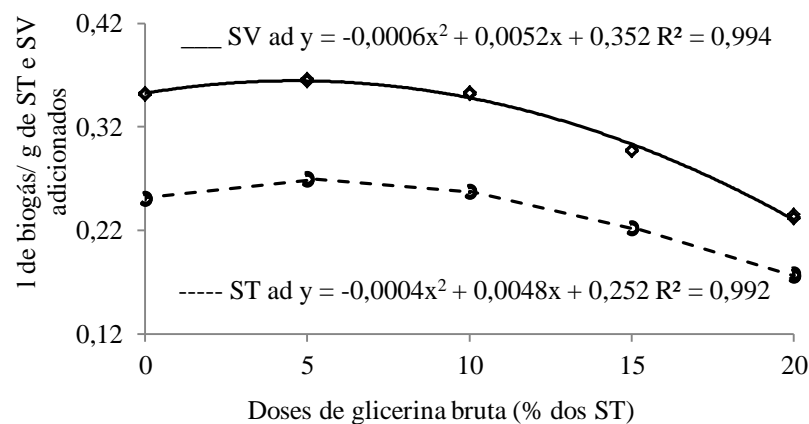


FIGURA 4. Potenciais de produção de biogás por ST e SV adicionado, obtido durante a co-digestão de substratos preparados com dejetos de vacas leiteiras e doses de glicerina em biodigestores batelada. **Potential of biogas production by TS and VS added, obtained during the co-digestion of substrates prepared with dairy cows manure and crude glycerin levels in batch digesters.**



Os resultados da concentração de metano e dos potenciais de produção de metano por ST e SV adicionados apresentaram ajuste quadrático decrescente (Tabela 3 do APÊNDICE), com comportamentos semelhantes. A concentração de metano (Figura 5) apresentou valor máximo de 73,5%, na dose de 9,2% de glicerina bruta. Provavelmente até este nível a liberação de AGV ao meio e a assimilação dos íons H<sup>+</sup> facilitou a formação do metano. No entanto, doses acima de 9,2 % podem ter causado excesso de AGV, limitando a sobrevivência das bactérias metanogênicas, resultando em queda na concentração de metano (CIRNE et al., 2007).

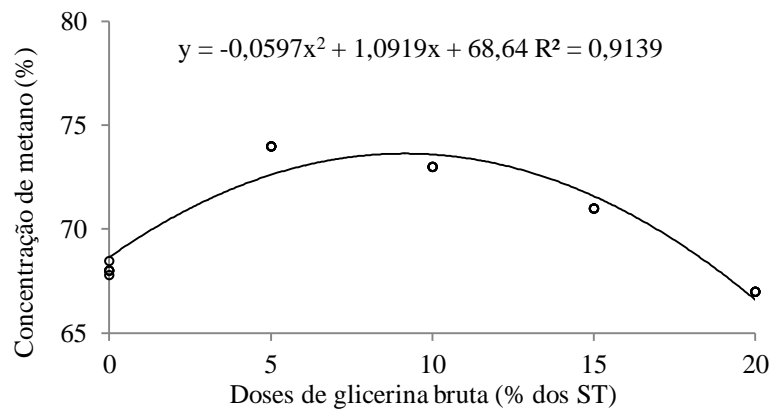


FIGURA 5. Concentração de metano obtido durante a co-digestão de substratos preparados com dejetos de vacas leiteiras e doses de glicerina em biodigestores batelada. **Methane concentration obtained during co-digestion of substrates prepared from dairy cows manure and glycerin levels in batch digesters.**

Os potenciais de produção de metano por ST e SV adicionados (Figura 6) apresentaram valores máximos de 0,19 e 0,26 l/g, nas doses ideais de inclusão de glicerina bruta de 7,8 e 5,8 %, respectivamente. Esses valores de potencial de produção de metano correspondem ao aumento de 11 e 8%, respectivamente, em relação ao tratamento sem adição de glicerina bruta. Doses de inclusão de glicerina bruta acima de

7,8% apresentaram baixo rendimento nestes parâmetros, o que pode estar associado a característica da glicerina bruta já mencionada, inibindo a produção de metano (ASTALS et al., 2011).

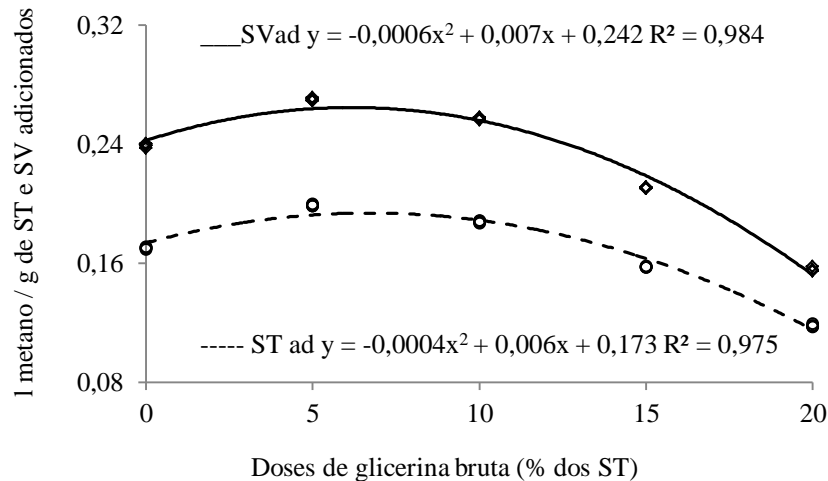


FIGURA 6. Potenciais de produção de metano por ST e SV adicionados, obtido durante a co-digestão de substratos preparados com dejetos de vacas leiteiras e doses de glicerina em biodigestores batelada. **Potential of methane production by TS and VS added, obtained during the co-digestion of substrates prepared with dairy cows manure and glycerin levels in batch digesters.**

Nas curvas de distribuição das produções de biogás (Figura 7), pode se observar que o primeiro pico de produção acontece no tratamento controle, pode estar relacionado ao fato do dejetos de ruminantes contêm inóculo com carga de micro-organismos adaptados, produzindo assim biogás mais rapidamente. Para os demais tratamentos, conforme acrescentou-se a glicerina bruta ao meio (lipídeos), ocorreu o primeiro pico, no entanto, acidificou mais rapidamente, o que pode ter ocorrido morte de micro-organismos e consequente queda na produção de biogás. Observa-se que quanto mais acrescentou-se a glicerina bruta, mais tardia foi a resposta para o segundo

pico. O segundo pico ocorre quando acontece a desacidificação do meio, iniciando uma nova produção mais efetiva de metano.

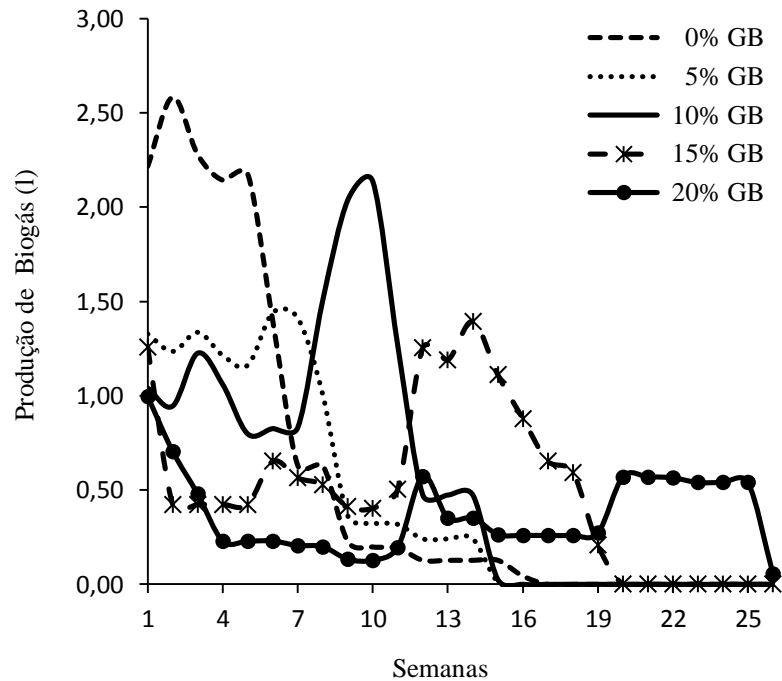


FIGURA 7. Curvas de distribuição da produção total de biogás no ensaio com biodigestores batelada.

### 3.4 CONCLUSÃO

Conclui-se que a inclusão de glicerina bruta nas doses entre 5 e 8 % dos ST, potencializou as produções de biogás e metano e ainda favoreceu as reduções de constituintes sólidos e fibrosos da matéria orgânica provenientes dos dejetos de vacas leiteiras.

### 3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for examination of water and wastewater. 21th ed. Washington: American Water Works Association, p.1.368, 2005.

ASTALS, S., ARISO, M., GALÍ, A., MATA-ALVAREZ, J., Co-digestion of pig manure and glycerine: Experimental and modelling study. **Journal of Environmental anagement**, v.92 , p. 1091–1096, 2011.

BAIRD, C; CANN, M. Química ambiental. 4.ed.Porto Alegre: Editora Bookman, p. 844, 2011.

CAETANO, L. Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás. 1985. 75f. **Dissertação** (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1985.

CASTRILLÓN L.; FERNÁNDEZ-NAVA, Y.; ORMAECHEA, P.; MARAÑÓN, E. Optimization of biogas production from cattle manure by pre-treatment with ultrasound and co-digestion with crude glycerin. **Bioresource Technology**, v. 102, p. 7845-7849, 2011.

CASTRILLÓN, L., FERNÁNDEZ-NAVA, Y., ORMAECHEA, P., MARAÑÓN, E., Methane production from cattle manure supplemented with crude glycerin from the biodiesel industry in CSTR and IBR. **Bioresource Technology**, v.127, p. 312–317, 2013.

CIRNE, D.G. PALOUMET, X., BJORNSSON. L., ALVES, M.M., MATTIASSON, B. Anaerobic digestion of lipid-rich waste — Effects of lipid concentration. *Renewable Energy* v.32, p. 965–975, 2007.

DAUN, L. G. ; MESQUITA, R. A. C. ; RAMOS, R.A.V. Alternativa para o Uso do Glicerol Obtido da Produção de Biodiesel em Biodigestores Anaeróbios como Otimizador da Produção de Biogás. **Anais** do XXI Congresso de Iniciação Científica da UNESP, São José do Rio Preto. 2009.

DETMANN, E., SOUZA, M. A., VALADARES FILHO, S. C., Métodos para Análise de Alimentos. 1. ed. Minas Gerais: Visconde do Rio Branco, p. 214, 2012.

FREITAS, A. V. ; VIANA, M. B. ; ALEXANDRE, L. C. ; SANTAELLA, S. T. ; LEITÃO, R. C. Toxicidade e biodegradabilidade anaeróbia do glicerol oriundo do biodiesel. In: VIII Encontro de Iniciação Científica da Embrapa Agroindústria Tropical, 2010, Fortaleza. **Anais** do VIII Encontro de Iniciação Científica da Embrapa Agroindústria Tropical, v. 8. p. 66-68, 2010.

LUCAS JR., J. Algumas considerações sobre o uso do dejetos de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios. 1994. 137f. **Tese** (Livre-Docência em Construções Rurais) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1994.

MATA-ALVAREZ, J., DOSTA, J., MACÉ, S., ASTALS, S. Codigestion of solid wastes: a review of its uses and perspectives including modelling. *Crit. Rev. Biotechnology* v. 31, p. 99–111, 2011.

OGEDA, T. L. e PETRI, D. F. S. Hidrólise enzimática de biomassa **Química Nova**, Vol. 33, no. 7, p. 1549-1558, 2010.

PANAGIOTOPOULOS, C., SEMP'ER'E., PARA, R., J.; RAIMBAULT, P., RABOUILLE, C.; CHARRIERE, B. The composition and flux of particulate and dissolved carbohydrates from the Rhone River into the Mediterranean Sea. **Biogeosciences**, v. 9, p. 1827–1844, 2012.

SILES, J.A., MARTÍN, M.A., CHICA, A.F., MARTÍN, A. Anaerobic digestion of glycerol derived from biodiesel manufacturing. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 23, p. 5609–5615, 2009.

R Project 2, **R version 3.1.1**. Disponível em: <http://www.r-project.org/> acessado em: ago/2014.

#### 4. IMPLICAÇÕES

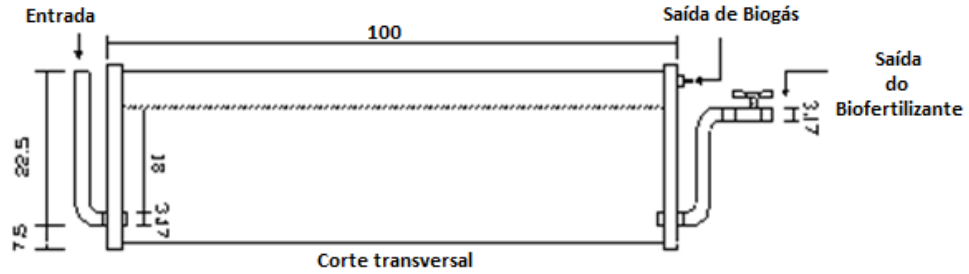
Observou-se neste estudo que independente do tipo de biodigestor (batelada ou semi-contínuo) a inclusão de glicerina bruta aos substratos resultou em elevada concentração de lipídeos no meio em digestão, atingindo-se até 16% de lipídeos na dose de 20% de glicerina bruta adicionada. Em ambos os ensaios foi utilizado glicerina bruta fornecida pela mesma usina de biodiesel e mesmo lote de produção, a qual continha baixo teor de glicerol (14%), e elevado teor de lipídeos (75%) em sua composição, o que indica que o processo de fabricação de biodiesel estava ocorrendo de forma ineficiente.

Nos biodigestores tipo batelada, em decorrência do maior tempo em co-digestão (180 dias), favoreceu a assimilação pelos micro-organismos e reverteu em energia com produção de biogás. E com isso foi possível incorporar no sistema doses maiores de glicerina bruta.

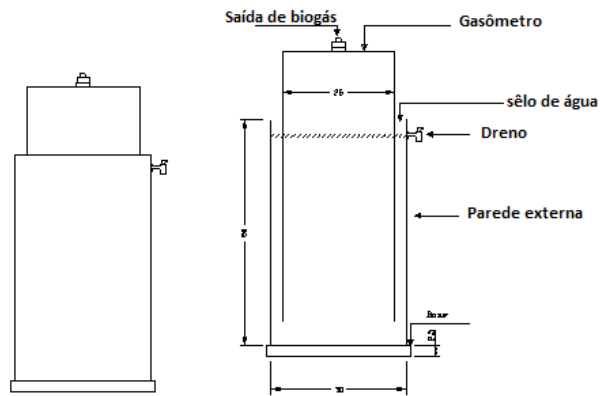
Apesar da glicerina bruta gerada pelas usinas de biodiesel não possuir um padrão, seria interessante, em estudos futuros, avaliar-se a inclusão de glicerol aos substratos, e não da glicerina bruta, pois assim haveria maiores condições de se atingir melhorias do meio em fermentação. Além disso, a concentração de lipídeos deveria ser considerada.

Deveria também estudar uma técnica para concentrar o glicerol da glicerina bruta, como no caso da utilizada neste projeto, empregando hidróxido de sódio ou outro catalizador.

## 5. APÊNDICE



**FIGURA 1.** Corte transversal dos biodigestores semi-contínuos utilizados no primeiro ensaio.

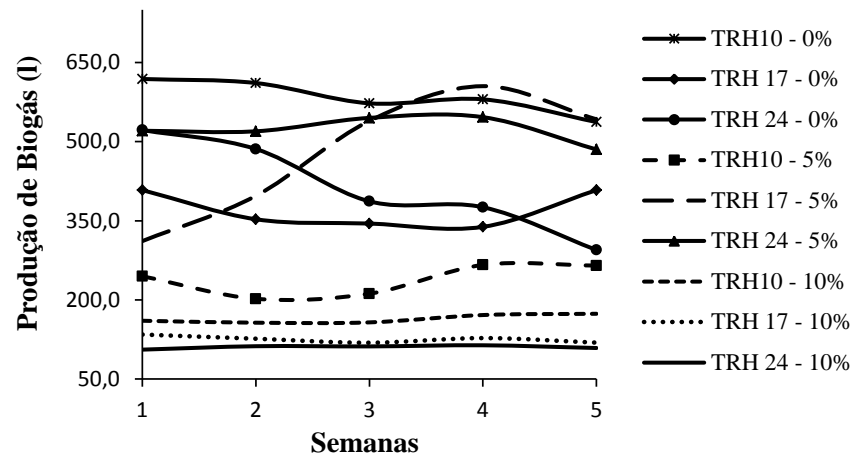


**FIGURA 2.** Representação esquemática do gasômetro utilizado nos experimentos do primeiro ensaio.

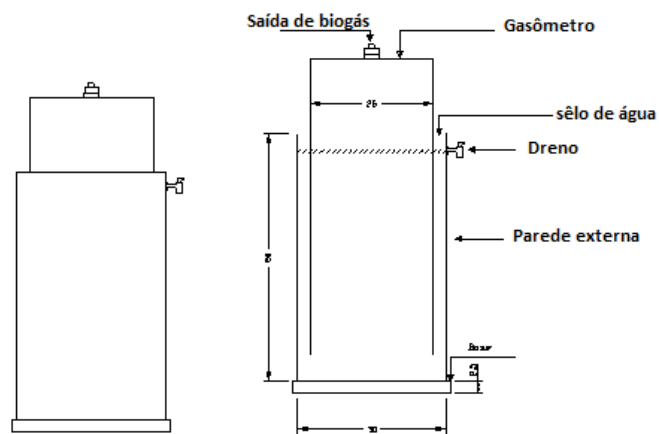


**FIGURA 3.** Biodigestores semi-contínuos utilizados no primeiro ensaio.





**FIGURA 4.** Curvas de distribuição da produção total de biogás no ensaio com biodigestores semi-contínuos.



**FIGURA 5.** Vista lateral e corte transversal dos biodigestores tipo batelada de bancada.



**FIGURA 6.** Biodigestores tipo batelada de bancada.

**TABELA 1.** Reduções de ST, SV, celulose e hemicelulose obtidas durante a co-digestão de substratos preparados com dejetos de vacas leiteiras e glicerina bruta em biodigestores batelada de bancada.

Parâmetro avaliado	Modelo de Regressão	R <sup>2</sup>	P	CV(%)
Redução de ST (%)	$y = -0,033x^2 + 0,320x + 36,0$	0,961	< 0,0001	0,50
Redução de SV (%)	$y = -0,036x^2 + 0,252x + 47,5$	0,984	< 0,0001	0,87
Redução de celulose (%)	$y = 0,018x^2 - 0,308x + 35,92$	0,870	< 0,0001	0,97
Redução de hemicelulose (%)	$y = 0,030x^2 + 0,085x + 20,33$	0,928	< 0,0001	4,15

**TABELA 2.** Potenciais de produção de biogás por ST e SV adicionado obtidos durante a co-digestão de substratos preparados com dejetos de vacas leiteiras e glicerina.

Parâmetro avaliado	Modelo de Regressão	R <sup>2</sup>	P	CV(%)
l biogás/g ST adicionado	$y = -0,0004x^2 + 0,0048x + 0,252$	0,980	< 0,0001	0,01
l biogás/g SV adicionado	$y = -0,0006x^2 + 0,0052x + 0,352$	0,994	< 0,0001	0,99

**TABELA 3.** Concentração de metano e potenciais de produção de metano por grama de ST e SV adicionado obtidos durante a co-digestão de substratos preparados com dejetos de vacas leiteiras e glicerina.

Parâmetro avaliado	Modelo de Regressão	R <sup>2</sup>	P	CV(%)
Concentração de metano (%)	$y = -0,0597x^2 + 1,0919x + 68,647$	0,913	< 0,0001	0,40
l metano/g ST adicionado	$y = -0,0004x^2 + 0,006x + 0,1737$	0,975	< 0,0001	0,01
l metano/g SV adicionado	$y = -0,0006x^2 + 0,0072x + 0,242$	0,984	< 0,0001	0,01

## 6. ANEXO

### Diretrizes para Publicação na revista Engenharia Agrícola (EA)

#### 1. Diretrizes Gerais

A fim de prestigiar a comunidade científica nacional, é importante que as informações disponíveis na bibliografia brasileira sejam esgotadas, especialmente aquelas publicadas na Engenharia Agrícola, o que pode ser feito consultando a página no SciELO ([http://www.scielo.br/scielo.php/script\\_sci\\_serial/pid\\_0100-6916/lng\\_pt/nrm\\_iso](http://www.scielo.br/scielo.php/script_sci_serial/pid_0100-6916/lng_pt/nrm_iso)). A língua oficial é a portuguesa. Aceitam-se artigos em espanhol ou inglês, devendo obrigatoriamente conter o RESUMO e PALAVRAS-CHAVE em português. O artigo enviado a esta revista não deve estar sendo submetido a outro órgão para publicação e nem ter sido anteriormente publicado, a não ser em forma de resumo em reunião científica. O texto deverá ser enviado por meio do Sistema do SCieLO, acessando o endereço <http://submission.scielo.br/index.php/eagri/>, obedecendo a estas instruções, sendo omitido o(s) nome(s) do(s) autor(es) e o rodapé de identificação do(s) mesmo(s). O(s) autor (es) deve(rão) enviar mensagem ao endereço [revistasbea@sbea.org.br](mailto:revistasbea@sbea.org.br), informando a natureza do artigo (científico, técnico ou de revisão), anexando o comprovante de depósito referente ao pagamento da taxa de tramitação e responsabilizando-se pelos demais autores, quando houver, como co-responsáveis pelo conteúdo científico do trabalho, obedecendo ao Artigo 5o da Lei no 9.610, que trata do Direito Autoral. Os artigos subdivididos em partes I, II,..., devem ser cadastrados separadamente, porém serão submetidos aos mesmos revisores. Os artigos podem apresentar figuras coloridas (fotografias, gráficos, diagramas, etc.), porém o SCieLO aceita arquivos com, no máximo, 2,0 Mb (arquivos maiores não serão gravados no sistema). Artigos que não seguirem estas normas serão cancelados pelo Editor Gerente da EA e novo cadastro deverá ser realizado pelo autor. Artigos Científicos que os avaliadores interpretarem que possuem estilo de Artigo Técnico terão o processo encerrado.

A composição dos textos, obrigatoriamente, deverá obedecer as seguintes orientações:

- Processador: MSWord 7.0 ou posterior
- Tamanho do papel: A4 (21 x 29,7 cm)
- Número máximo de laudas: 20 (Trabalhos com mais de 15 laudas, serão cobrados R\$ 10,00 por lauda adicional).
- Espaço entre linhas: 2
- Tipo de letra para o texto: Times New Roman 12
- Tipo de letra para o cabeçalho/rodapé: Times New Roman 9
- Margens: 2 cm em todos os lados do papel
- Numerar páginas
- Numerar linhas nas páginas: arquivo/configurar página/layout/número de linhas/numerar linhas/contínua
- Parágrafo: 1,0 cm
- Tamanho máximo do arquivo: 2,0 Mb

Para trabalhos com até 15 laudas no manuscrito, será cobrada antecipadamente a taxa de R\$ 80,00 (oitenta reais) por trabalho submetido, em que o primeiro autor for associado

da SBEA e estiver em dia com a anuidade; caso contrário, o valor da taxa é de R\$ 300,00 (trezentos reais).

## 2. Artigos

Os artigos podem ser da seguinte natureza: 1. artigo científico; 2. artigo técnico, e 3. artigo de revisão.

2.1. Artigo Científico: refere-se a relato de pesquisa original, com hipótese bem definida, prestigiando assuntos inovadores. O texto deverá contemplar os itens, sempre destacados em letras maiúsculas e em negrito, sem parágrafo e sem numeração, deixando dois espaços (duas vezes ENTER) após o item anterior e um espaço (uma vez ENTER) para iniciar o texto, na ordem a seguir: para artigo em português ou espanhol: título (português ou espanhol), nome dos autores, resumo, palavras-chave; título (inglês), abstract e keywords. Para artigo em inglês: título (inglês), nome dos autores, abstract, keywords; título (português), resumo e palavras-chave. Para garantir a análise cega pelos pares, os trabalhos submetidos devem ser apresentados sem autores e rodapé.

**TÍTULO:** Centralizado; deve ser claro e conciso, permitindo pronta identificação do conteúdo do trabalho, procurando-se evitar palavras do tipo: análise, estudo e avaliação. Um número-índice sobrescrito, como chamada de rodapé, poderá seguir-se ao título para possível explicação em se tratando de trabalho apresentado em congresso, extraído de dissertação ou tese, ou para indicar o órgão financiador da pesquisa.

**AUTORES:** O número de autores deve ser o mínimo possível, considerando-se apenas as pessoas que tiveram participação efetiva no trabalho, em condições de responder pelo mesmo integralmente ou em partes essenciais. Com raras exceções, os autores não passam de cinco e, em qualquer caso, o Conselho Editorial poderá solicitar justificativas para explicar a presença dos autores no trabalho. Não é permitida a alteração de autor (es) no artigo após o início da tramitação.

No Sistema On-Line, em Resumo da Biografia, identificar o(s) autor (es) da seguinte maneira: para o primeiro autor: qualificação profissional, ocupação, local de trabalho e endereço, conforme segue: EngoAgrícola, Prof. Doutor, Departamento de Engenharia Rural, UNESP/Jaboticabal - SP, Fone: (0XX16) 3209.2637, xxxxxxxx@xxx.com.br. Para os demais autores: qualificação profissional, ocupação e local de trabalho, conforme segue: Engo Agrícola, Prof. Adjunto, Departamento de Engenharia Rural, UNESP/Botucatu - SP. Essas informações somente serão inseridas após a aprovação do trabalho.

**RESUMO:** O texto deve iniciar-se na mesma linha do item, ser claro, sucinto e, obrigatoriamente, explicar o(s) objetivo(s) pretendido(s), procurando justificar sua importância (sem incluir referências), os principais procedimentos adotados, os resultados mais expressivos e conclusões, contendo no máximo 14 linhas. Abaixo devem aparecer as PALAVRAS-CHAVE (seis no máximo, procurando-se não repetir palavras do título) escritas em letras minúsculas. Uma versão completa do RESUMO, para o inglês, deverá apresentar a seguinte disposição: TÍTULO, ABSTRACT e KEYWORDS.

**INTRODUÇÃO:** Devem ser evitadas divagações, utilizando-se de bibliografia recente (últimos 5 anos e preferencialmente periódicos) e apropriada para formular os problemas abordados e a justificativa da importância do assunto, deixando muito claro o(s) objetivo(s) do trabalho, utilizando no máximo 50 linhas.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Dependendo da natureza do trabalho, uma caracterização da área experimental deve ser inserida, tornando claras as condições em que a pesquisa foi realizada. Quando os métodos forem os consagrados e utilizados, apenas a referência bastará; caso contrário, é necessário apresentar descrição dos procedimentos utilizados, adaptações promovidas, etc. Unidades de medidas e símbolos devem seguir o Sistema Internacional.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Ilustrações, gráficos e fotografias devem ser apresentados com tamanho e detalhes suficientes para a composição final, preferivelmente na mesma posição do texto, podendo ser coloridos, devendo, também, apresentar o título em inglês. Gráficos: podem apresentar partes coloridas, sendo os eixos x e y com 1/2 pt, descritos com o mesmo tipo e tamanho de letras contidas no texto (Times New Roman 12) e a legenda na posição inferior do mesmo. A numeração deve ser sucessiva em algarismos arábicos. Tabelas: evitar tabelas extensas e dados supérfluos, privilegiando-se dados médios; adequar seus tamanhos ao espaço útil do papel e colocar, na medida do possível, apenas linhas contínuas horizontais; suas legendas devem ser concisas e auto-explicativas, devendo, também, apresentar o título em inglês. Fotografias: podem ser coloridas. Na discussão, confrontar os resultados com os dados obtidos na bibliografia.

**CONCLUSÕES:** Devem basear-se exclusivamente nos resultados do trabalho. Evitar a repetição dos resultados em listagem subsequente, buscando, sim, confrontar o que se obteve, com os objetivos inicialmente estabelecidos. As conclusões devem ser escritas facilitando a interpretação do artigo, sem necessidade de consultar outros itens do mesmo.

**AGRADECIMENTO(S):** Inserir-lo(s), se for o caso, após as conclusões, de maneira sucinta.

**REFERÊNCIAS:** Devem ser citadas apenas as essenciais, o que, geralmente, não é observado em se tratando de artigos originários de teses. Incluir apenas as mencionadas no texto e em tabelas, gráficos ou ilustrações, aparecendo em ordem alfabética e em letras maiúsculas. Evitar citações de resumos, trabalhos não-publicados e comunicação pessoal. Pelo menos 70% das referências devem ser dos últimos 5 anos e 70% de artigos de periódicos. As referências no texto devem também aparecer em letras maiúsculas, seguidas da data:

SOUZA & SILVA (2005), ou ainda (SOUZA & SILVA, 2005); existindo outras referências do(s) mesmo(s) autor(es) no mesmo ano (outras publicações), isso será identificado com letras minúsculas (a, b, c) após o ano da publicação: SOUZA & SILVA (2005 a). Quando houver três ou mais autores, no texto será citado apenas o primeiro autor seguido de et al., mas na listagem bibliográfica final os demais nomes também deverão aparecer. Na citação de citação, identifica-se a obra diretamente consultada; o autor e/ou a obra citada nesta é assim indicado: SILVA (2000) citado por PESSOA (2006). Citar pelo menos dois artigos da revista Engenharia Agrícola e incluir

as citações bibliográficas na discussão e na metodologia. Quaisquer dúvidas, consultar a norma NBR-6023 (ago. 2002) da ABNT. A seguir, estão colocados alguns exemplos:

#### Revistas/Periódicos

ALVES, S.P.; RODRIGUES, E.H.V. Sombreamento arbóreo e orientação de instalações avícolas. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.24, n.2, p.241-5, maio/ago. 2004.

#### Revistas/Periódicos em meio eletrônico

PANDORFI, H.; SILVA, I.J.O., GUISELINI, C.; PIEDADE, S.M.S. Uso da lógica fuzzy na caracterização do ambiente produtivo para matrizes gestantes. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 27, n. 1, 2007 . Disponível em: . Acesso em: 24 set 2007.

#### Livros

PRADO, R.M.; NATALE, W.; FURLANI, C.E.A. Manejo mecanizado de atividades para implantação de culturas. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. 99 p. (Série Engenharia Agrícola) Capítulos de livros ou obras semelhantes

CARVALHO, J.A. Hidráulica básica. In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. Irrigação. Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2003. v.2, p.1-106. (Série Engenharia Agrícola)

#### Anais de congressos, simpósios, encontros científicos ou técnicos

MARINI, V.K.; ROMANO, L.N.; DALLMEYER, A.U. A análise da operação agrícola como base para a definição de requisitos funcionais no processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa. Anais... João Pessoa: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2006. 1 CD-ROM.

#### Monografias, dissertações, teses

CORTEZ, J.W. Densidade de semeadura da soja e profundidade de deposição do adubo no sistema plantio direto. 2007. 87 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2007.

#### Documento cartográfico (mapa, fotografia aérea, imagem de satélite, imagem de satélite digital)

BRASIL e parte da América do Sul: mapa político, escolar, rodoviário, turístico e regional. São Paulo: Michalany, 1981. 1 mapa, color., 79 cm x 95 cm. Escala 1:600.000.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO (São Paulo, SP). Projeto Lins Tupã: foto aérea. São Paulo, 1986. Fx 28, n.15. Escala 1:35.000.

LANDSAT TM5. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1987-1988. Imagem de satélite. Canais 3, 4 e composição colorida 3, 4 e 5. Escala 1:100.000.

ESTADOS UNIDOS. National Oceanic and Atmospheric Administration. GOES-08: SE. 13 jul. 1999, 17:45Z. IR04. Itajaí: UNIVALI. Imagem de satélite: 1999071318. GIF: 557 Kb.

Órgãos públicos, instituições, associações

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10520: informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, 1999. 412 p.

BRASIL. Agência Nacional de Petróleo. Biodiesel: novas perspectivas de sustentabilidade. Rio de Janeiro, 2002. 27 p.

EQUAÇÕES: Todas as equações que fizerem parte do texto deverão ser alinhadas com o parágrafo e numeradas, como segue:

$$y = ax + b \quad (1)$$

em que,

y - velocidade, m s<sup>-1</sup>;

a - coeficiente angular;

x - rotação, rpm, e

b - coeficiente linear.