

# Desempenho da co-digestão anaeróbia de dejetos suínos com inclusão de glicerina bruta<sup>1</sup>

## Performance of the anaerobic co-digestion of pig manure with the inclusion of crude glycerine

Alice Watte Schwingel<sup>2\*</sup>, Ana Carolina Amorim Orrico<sup>3</sup>, Marco Antonio Previdelli Orrico Junior<sup>3</sup>, Natalia da Silva Sunada<sup>3</sup> e Stanley Ribeiro Centurion<sup>4</sup>

**RESUMO** - O objetivo foi avaliar o desempenho da co-digestão anaeróbia de dejetos de suínos associados com crescentes doses de glicerina bruta, adotando-se diferentes tempos de retenção hidráulica (TRH). O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 3x4, três TRH (10; 17 e 24 dias) e quatro doses de glicerina bruta (0; 5; 10 e 15% dos sólidos totais), com quatro repetições por tratamento. Os parâmetros avaliados foram produção e potencial de produção de biogás, reduções de sólidos totais (ST), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA). A produção de biogás e potencial de produção apresentaram efeito quadrático nos TRH de 17 e 24 dias, evidenciando como doses ideais 4,09 e 5,63% de glicerina bruta, respectivamente, para produção e 4,52 e 5,42% de glicerina bruta para potencial de produção. Não houve diferença entre as doses de glicerina bruta dentro do TRH de 10 dias para as reduções de ST. No entanto, foi observado diferença entre as doses nos TRH 17 e 24, com a maior redução observada de 54,9% ao incluir 5% de glicerina bruta no maior TRH. As reduções de FDN e FDA aumentaram de acordo com a adição de glicerina bruta nos TRHs de 10 e 17 dias. A inclusão de 4 a 6% de glicerina bruta no TRH 24 mostrou-se mais eficiente na produção de biogás e reduções de ST e FDN. Já visando maior redução de FDA pode-se utilizar doses mais altas de glicerina a partir da co-digestão com dejetos suínos.

**Palavras-chave:** Biodiesel. Resíduos. Suinocultura. Tempo de retenção hidráulica.

**ABSTRACT** - The aim of this study was to evaluate the performance of the anaerobic co-digestion of pig manure associated with increasing doses of crude glycerine, adopting different periods of hydraulic retention time (HRT). A completely randomised design was used in a 3 x 4 factorial scheme, three HRT (10, 17 and 24 days) and four doses of crude glycerine (0, 5, 10 and 15% of the total solids), with four replications per treatment. The parameters to be evaluated were biogas production and potential production, reduction in total solids (TS), neutral detergent fibre (NDF) and acid detergent fibre (ADF). Biogas production and potential production displayed a quadratic effect for an HRT of 17 and 24 days, showing the doses of 4.09% and 5.63% crude glycerine to be respectively optimal for production, and 4.52% and 5.42% crude glycerine for production potential. There was no difference between the doses of crude glycerine at the HRT of 10 days for reductions in TS. However, a difference was seen between doses at HRT 17 and 24, with the greatest reduction of 54.9% being found when including 5% of crude glycerine at the greatest HRT. The reductions in NDF and ADF were greater with the addition of crude glycerine for an HRT of 10 and 17 days. The inclusion of 4% - 6% crude glycerine at HRT 24 was more efficient in the production of biogas and reducing TS and NDF. With a view to a greater reduction in ADF, higher doses of glycerine can be used in the co-digestion of pig manure.

**Key words:** Biodiesel. Waste. Pig farming. Hydraulic retention time.

\*Autor para correspondência

DOI: 10.5935/1806-6690.20160093

<sup>1</sup>Recebido para publicação em 03/02/2015; aprovado em 14/03/2016

Parte da Dissertação de Mestrado da primeira autora apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da UFGD e realizada com apoio da CAPES e CNPq

<sup>2</sup>Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rua Doutor João Cândido Villas Boas, 638, Vila Nova Botucatu, Botucatu-SP, Brasil, 18.608-226, alice\_watte15@hotmail.com

<sup>3</sup>Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS, Brasil, anaorrico@ufgd.edu.br, marcojunior@ufgd.edu.br, natysunada@hotmail.com

<sup>4</sup>Escola de Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia-GO, Brasil, stanleycenturion@hotmail.com

## INTRODUÇÃO

O Brasil é a sexta maior economia do mundo, tendo como base o agronegócio. Segundo projeções do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2013), a produção de grãos do país deverá aumentar 20,7% nos próximos dez anos. Parte deste crescimento deve-se às políticas de incentivo à produção de biocombustíveis, e parte deve-se à demanda da indústria animal para uso na alimentação.

Apesar dos dados econômicos favoráveis, estes setores preocupam do ponto de vista ambiental, principalmente no que se refere à produção de resíduos. A produção do biodiesel gera um co-produto conhecido como glicerina bruta, que é composta em maior proporção por glicerol, ácidos graxos e metanol, conferindo-lhe assim alto potencial poluidor (CUBAS *et al.*, 2010; THOMPSON; HE, 2006). Com relação à produção animal, principalmente na suinocultura, o maior problema ambiental enfrentado é a alta produção de dejetos, com elevados teores de matéria orgânica, resultado do sistema intensivo de produção destes animais e concentração das unidades produtoras em algumas regiões do país (ORRICO JÚNIOR *et al.*, 2010).

Diante disso, são necessários sistemas que permitam tratar estes resíduos de maneira eficiente, aliando a sustentabilidade ambiental e econômica. Dentre estes sistemas, a biodigestão anaeróbia merece destaque, pois além de promover o tratamento e reciclagem dos dejetos, promove agregação de valor às atividades com a produção do biogás e do biofertilizante, que podem ser revertidos ao sistema na economia de energia e fertilizantes (SANTOS *et al.*, 2007).

Segundo Côté *et al.* (2006), a biodigestão anaeróbia pode ser definida como uma complexa interação de microrganismos que degradam os diversos componentes orgânicos presentes no resíduo até a forma final de metano e dióxido de carbono, principalmente. Desta forma, a elevada quantidade de glicerol presente na glicerina bruta pode ser facilmente utilizada pelos microrganismos anaeróbios para a obtenção de energia (SANTIBÁÑEZ *et al.*, 2011). Já os dejetos de suínos apresentam elevados teores de nutrientes (nitrogênio e fósforo, principalmente) que são essenciais para o crescimento microbiano (REGUEIRO *et al.*, 2012). Esses dois resíduos, quando associados (co-digestão anaeróbia), podem maximizar os potenciais de produções de biogás, aumentando a eficiência do sistema sem que sejam necessários grandes investimentos (CHEN *et al.*, 2008).

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho da co-digestão anaeróbia de glicerina bruta, em associação a dejetos de suínos, buscando identificar

as doses que proporcionam os maiores potenciais de produção de biogás e as maiores reduções dos constituintes orgânicos físicos em função dos diferentes tempos de retenção hidráulica.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Área Experimental e no Laboratório de Aproveitamento de Resíduos Agropecuários, da Faculdade de Ciências Agrárias, pertencente à Universidade Federal da Grande Dourados, localizada em Dourados, Mato Grosso do Sul.

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x4, sendo três TRH (10; 17 e 24 dias) e inclusão de quatro níveis de glicerina bruta (0; 5; 10 e 15%), com quatro repetições por tratamento.

Para o abastecimento dos biodigestores de alimentação semicontínua, com capacidade média de 35 litros, foram utilizados dejetos coletados de uma suinocultura comercial e a glicerina bruta obtida em indústria de biodiesel, ambas localizadas na região de Dourados-MS.

O teor de sólidos totais (ST) adotado para composição do afluente, após misturar o dejetos, a glicerina bruta e a água, foi fixado em 2%. A glicerina bruta foi acondicionada em recipientes fechados até o momento em que foi diluída junto aos dejetos para compor a carga diária dos biodigestores.

Os dejetos de suínos e a glicerina bruta foram caracterizadas no início do período experimental. A glicerina bruta possuía 3,63% de umidade, 39,3% de glicerol, 4,75% de metanol, 47,3% de ácidos graxos, 2% de proteína bruta, 12,1 mg kg de sódio, 372,28 mg kg de potássio, 68,25 mg kg de cálcio, 15,15 mg kg de magnésio, 171,63 mg kg de fósforo, < 0,4 mg kg de cádmio, < 4,0 mg kg de chumbo, demanda química de oxigênio (DQO) de 1.880 g O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> e pH igual a 8,9, conforme análise realizada pelo Instituto de Tecnologia, do Paraná. Os dejetos coletados possuíam em sua composição 28,32% de ST e, destes, 80,25% eram sólidos voláteis (SV). A DQO média foi de 794,10 g de O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> de excreta e foram encontrados 5,7x10<sup>10</sup> e 1,4x10<sup>10</sup> número mais provável de coliformes totais e termotolerantes, respectivamente.

As quantidades de água, glicerina bruta e dejetos utilizadas para abastecimento diário dos biodigestores foram determinadas considerando as características dos resíduos, as diferentes doses de glicerina bruta (0; 5; 10 e 15%) e os três TRH (10; 17 e 24 dias) adotados.

Durante o período experimental foram acompanhadas as produções de biogás, bem como o potencial de produção de biogás, considerando-se os litros de afluente ou carga adicionados, além das reduções dos ST, fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA).

A produção de biogás foi determinada com a mensuração diária do deslocamento vertical dos gasômetros, e este valor multiplicado pela área da seção transversal interna dos gasômetros, obtendo-se, assim, os volumes de biogás. A correção do volume de biogás para as condições de 1 atm. e 20 °C foi efetuada com base no trabalho de Caetano (1985). O potencial de produção de biogás foi calculado dividindo-se os valores de produção pela quantidade de afluente, em litros, adicionada nos biodigestores.

Os teores de ST foram avaliados conforme metodologia descrita pela APHA (2005). As determinações dos conteúdos de FDN (celulose, hemicelulose e lignina) e FDA (celulose e lignina) foram realizadas conforme metodologias propostas por Detmann *et al.* (2012).

Os resultados obtidos durante as quatro semanas do período experimental foram submetidos à análise de variância à 5% de probabilidade pelo teste de F. Os efeitos dose de glicerina bruta e TRH foram avaliados por regressão no software SAEG 9.1.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

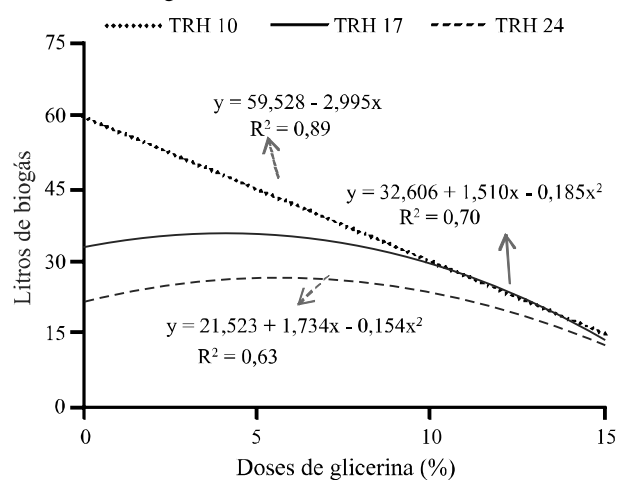
A produção e o potencial de produção de biogás foram diretamente influenciados pelos TRH e pelas doses de glicerina bruta. Assim, cada TRH testado apresentou um comportamento diferente em função das doses de glicerina bruta. Para o TRH de 10 dias foi observado um comportamento linear negativo ( $P < 0,05$ ) sobre a produção e o potencial de produção (L gás/L de carga<sup>-1</sup>) em relação às doses de glicerina (Figuras 1 e 2).

Desta forma, o uso da glicerina bruta não favoreceu a produção e o potencial de produção de biogás em reatores manejados com 10 dias de retenção. Isso provavelmente ocorreu em função da elevada quantidade de energia disponibilizada pela glicerina bruta que não pôde ser aproveitada eficazmente pelos microrganismos em um período de retenção hidráulica de apenas 10 dias.

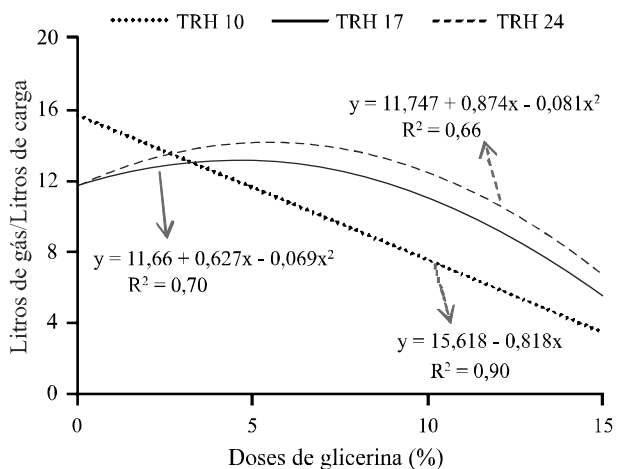
Os potenciais hidrogeniônicos (pH) dos reatores com TRH de 10 dias e que receberam glicerina bruta (5; 10 e 15%) permaneceram baixos durante todo o experimento (pH < 5), o que demonstra um acúmulo de

ácidos graxos voláteis (AGV) nos reatores. O excesso de AGV inibe o processo de biodigestão anaeróbia, impede que o sistema se estabilize e reduz a atividade de microrganismos metanogênicos (PEREIRA *et al.*, 2004). Holm-Nielsen *et al.* (2008), ao estudarem a fermentação de dejetos com resíduos orgânicos de indústria alimentícia e glicerol puro (99,5% de glicerol), observaram que a inclusão de 3,5 para 6,5% de glicerol, em relação ao volume total do digestor, promoveram maior produção de AGV, ocasionando inibição da etapa metanogênica e posterior colapso do sistema.

**Figura 1** - Modelos de regressão para a produção total de biogás nos TRH de 10; 17 e 24 dias, em função das doses 0; 5; 10 e 15% de glicerina bruta



**Figura 2** - Modelos de regressão para o potencial de produção de biogás por volume de afluente nos TRH de 10; 17 e 24 dias, em função das doses 0; 5; 10 e 15% de glicerina bruta



Nos TRH maiores (17 e 24 dias) foram observados efeitos quadráticos em função do aumento das doses de glicerina bruta (Figura 1). As equações de regressão evidenciaram como doses ideais, 4,09 e 5,63% de glicerina bruta para produção de biogás, quando o substrato foi submetido a 17 e 24 dias de retenção, respectivamente. O potencial de produção de biogás apresentou valores próximos aos de produção de biogás. De acordo com as equações de regressão, as melhores doses de glicerina bruta foram 4,52 e 5,42%, para os TRH de 17 e 24 dias, respectivamente.

A menor produção de biogás foi de 11,88 L dia<sup>-1</sup>, observada para o menor TRH com a maior dose de glicerina bruta, o que praticamente paralisou o reator impedindo que o processo ocorresse de maneira satisfatória. Esses resultados demonstram que maiores doses de glicerina bruta podem ser utilizadas para maximizar a produção de biogás, desde que sejam utilizados maiores TRH.

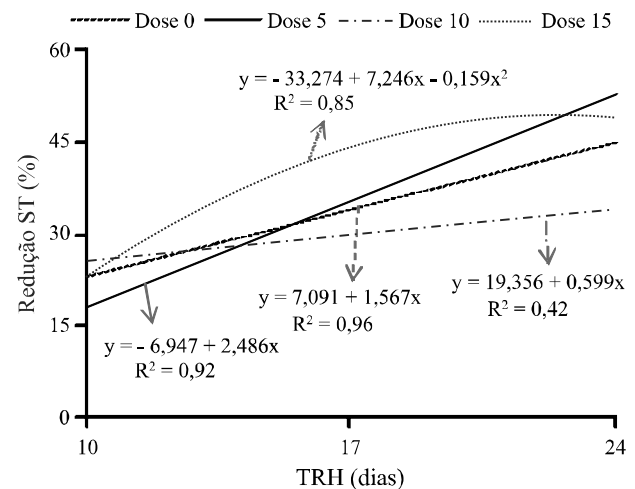
Wohlgemut *et al.* (2011) também chegaram a esta conclusão após notar acúmulo de AGVs intermediários, observando a criação de um ambiente tóxico para os microrganismos com alta queda de produção de biogás ao adicionar 2% de glicerol puro no TRH de 17,5 dias. Após um período de recuperação, o digestor voltou a ter um ambiente estável.

As reduções de ST, FDN e FDA também foram influenciadas pelos tempos de retenção hidráulica e doses de glicerina bruta. A adição de 0; 5 e 10% de glicerina bruta apresentaram comportamento linear positivo em relação ao aumento do TRH. Já a adição de 15% de glicerina bruta apresentou comportamento quadrático para as reduções de ST (Figura 3).

Não houve diferença entre as doses de glicerina bruta no tempo de retenção de 10 dias. Com TRH 17, as maiores reduções ocorreram sem glicerina e com a maior inclusão dela, onde as doses 0; 5; 10 e 15% apresentaram reduções de 34,9; 31,0; 29,4 e 43,9% nos ST, respectivamente. No maior período de retenção hidráulica, as doses 0; 5; 10 e 15% apresentaram reduções de 44,1; 54,9; 39,8 e 49,0%, respectivamente. Larsen *et al.* (2013) encontraram reduções de ST mais altas do que as deste trabalho com a adição de glicerina bruta na digestão anaeróbica de efluentes da indústria de fécula de mandioca (manipueira), em um reator de fluxo semicontínuo. Utilizando temperatura de 26 °C e TRH de 4 e 5 dias e adicionando 0; 2; 3 e 2% (v/v) com carga orgânica de 3,05; 9,32; 14,83 e 13,59 g DQO L<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, respectivamente, observaram queda na redução conforme maior inclusão de glicerina bruta, com reduções entre 81 e 56% dos ST.

As maiores reduções de ST foram obtidas no maior TRH testado, independentemente das doses de

**Figura 3** - Modelos de regressão para as reduções de sólidos totais (ST) de cada dose de glicerina bruta em função dos tempos de retenção hidráulica (TRH)



glicerina bruta adicionadas. Esse resultado condiz com Orrico Júnior *et al.* (2009) que, ao analisarem diferentes tempos de retenção (15; 22; 29 e 36 dias), observaram as maiores reduções sem separação da fração sólida no tempo 36 (66,7%), seguido do TRH 29 e 22 e com menores reduções no TRH de 15 dias (55,6%).

Com a adição de 5% de glicerina bruta e TRH de 24 dias houve redução de 54,9% dos ST, resultado este superior aos 48,3% de redução de ST encontrados por Astals *et al.* (2013) em estudo com controle de temperatura (55 °C) e agitação contínua (60 rpm) com dejetos suínos e adição de 3% de glicerina bruta em relação ao volume de biodigestores semicontínuos.

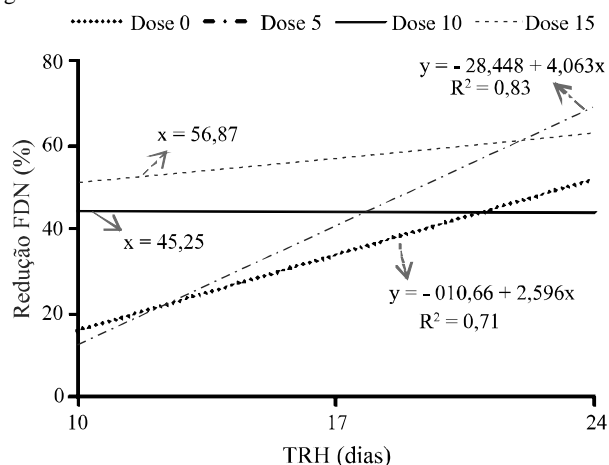
A análise dos efeitos dos fatores sobre as reduções de FDN e FDA demonstraram que houve efeito das doses de glicerina bruta e dos TRHs e, ainda, interação entre eles sobre os resultados encontrados, conforme apresentado nas Figuras 4 e 5.

Os TRHs demonstraram efeito linear positivo sobre as doses de glicerina bruta para as reduções de fibra. Estes efeitos foram observados somente nas doses 0 e 5% de glicerina bruta. Nas doses de 10 e 15% de glicerina bruta não houve efeito dos tempos de retenção hidráulica tanto para FDN, quanto para FDA.

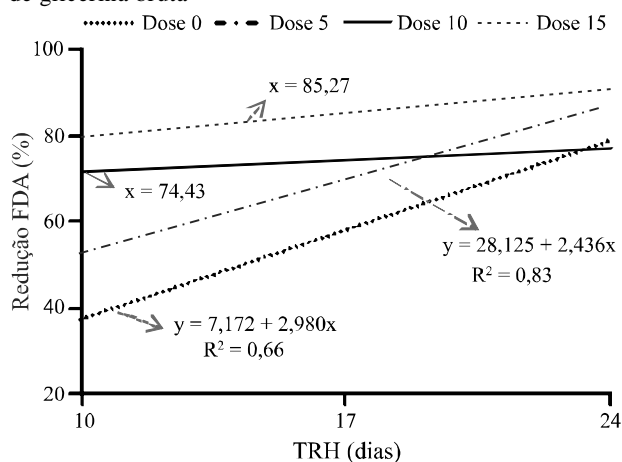
A maior redução média (72,81%) de FDN foi observada com a inclusão de 5% de glicerina bruta ao substrato manejado por 24 dias de retenção. Para a FDA, a maior redução (89,38%) ocorreu ao adicionar 15% de glicerina bruta e utilizando TRH de 24 dias.

O maior valor de redução de FDN e FDA obtido no maior tempo de retenção já era esperado, pois os

**Figura 4** - Reduções de fibra em detergente neutro (FDN) nos TRH de 10; 17 e 24 dias, em função das doses 0; 5; 10 e 15% de glicerina bruta



**Figura 5** - Reduções de fibra em detergente ácido (FDA) nos TRH de 10; 17 e 24 dias, em função das doses 0; 5; 10 e 15% de glicerina bruta



microrganismos tiveram mais tempo para degradar o material. Este comportamento foi observado em trabalho realizado por Orrico Júnior *et al.* (2010b) que ao estudarem a biodigestão de dejetos de bovinos de corte alimentados com relação volumoso concentrado 40:60, encontraram redução de FDN de 36,80% com TRH de 30 dias, 49,95% em 60 dias de retenção, com 90 dias observaram 61,17% e no TRH de 120 dias a maior redução de 89,40%. Os autores relataram mesmo comportamento quanto às reduções de FDA com redução de 30,56% (30 dias); 41,38% (45 dias); 50,26% (60 dias) e 57,77% (120 dias).

O fato da maior dose de glicerina bruta apresentar, em média, maior redução de FDN e FDA mostrou-se contrário ao observado por outros autores que avaliaram

a redução de fibra. Astals *et al.* (2012) obtiveram 30,3% de redução com 100% de dejetos suínos e 11% de redução utilizando 4% de glicerina bruta ao substrato. Astals *et al.* (2013) encontraram redução de 24,7% de fibras adicionando 3% de glicerina bruta aos dejetos e somente com dejetos suínos verificaram remoção de 35,5%.

Uma possível razão para as altas reduções de fibras encontradas deve-se ao fato de que inicialmente os microrganismos tendem a consumir carboidratos solúveis. No entanto, quando estes carboidratos se esgotam, as fibras podem servir de substrato para as bactérias fermentadoras. Além disso, a rápida degradação do substrato pode ter proporcionado um ambiente ideal para as bactérias que degradam as fibras, pois após o consumo do glicerol (presente na glicerina bruta), gera-se amônia no interior dos biodigestores, acarretando em acidificação do meio, o que poderá aumentar a população de bactérias ácido-láticas responsáveis pela hidrólise parcial da hemicelulose (RODRIGUES *et al.*, 2005). Assim, boa parte da hemicelulose pode não ter sido degradada e sim solubilizada em decorrência da acidez do meio. Portanto, os tratamentos com menor quantidade de dejetos em relação à glicerina bruta implicaram em maiores reduções de FDN (LOPES; EVANGELISTA, 2010).

## CONCLUSÃO

A adição de 5 a 6% de glicerina bruta (com 39,3% de glicerol em sua composição) melhora a produção e o potencial de produção de biogás por litros de afluente adicionados, quando submetidos entre 17 e 24 dias de retenção nos biodigestores. As reduções de ST, FDN e FDA são favorecidas com o aumento do tempo de retenção e inclusão da glicerina bruta. Para biodigestores semicontínuos, manejados sob condições semelhantes a este trabalho, com TRH igual ou inferior a 10 dias, a utilização da glicerina bruta não é indicada.

## AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro no desenvolvimento dessa pesquisa.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. Washington, D.C., 2005. 1368 p.

- ASTALS, S. *et al.* Anaerobic co-digestion of pig manure and crude glycerol at mesophilic conditions: biogas and digestate. **Bioresource Technology**, v. 110, p. 63-70, 2012.
- ASTALS, S. *et al.* Thermophilic co-digestion of pig manure and crude glycerol: process performance and digestate stability. **Journal of Biotechnology**, v. 166, n. 3, p. 97-104, 2013.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2012/2013 a 2022/2023**. Brasília: Assessoria de Gestão Estratégica, 2013. 96 p. Disponível em: <[http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/projecoes%20-%20versao%20atualizada.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/projecoes%20-%20versao%20atualizada.pdf)> Acesso em: 24 jul. 2014.
- CAETANO, L. **Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás**. 1985. 75 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1985.
- CHEN, Y. *et al.* Inhibition of anaerobic digestion process: a review. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 10, p. 4044-4064, 2008.
- CÔTÉ, C. *et al.* Reduction of indicator and pathogenic microorganisms by psychrophilic anaerobic digestion in swine slurries. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 1, p. 686-691, 2006.
- CUBAS, J. L. *et al.* Neutralização da glicerina bruta obtida pela transesterificação dos óleos de crame, cárcamo e soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 7., 2010, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFLA, 2010.
- DETMANN, E. *et al.* **Métodos para análise de alimentos**. Visconde do Rio Branco: INCT, 2012. 214 p.
- HOLM-NIELSEN, J. B. *et al.* On-line near infrared monitoring of glycerol-boosted anaerobic digestion processes: evaluation of process analytical technologies. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 99, n. 2, p. 302-313, 2008.
- LARSEN, A. C. *et al.* Anaerobic co-digestion of crude glycerol and starch industry effluent. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 2, p. 341-352, 2013.
- LOPES, J.; EVANGELISTA, A. R. Características bromatológicas, fermentativas e população de leveduras de silagens de cana-de-açúcar acrescidas de ureia e aditivos absorventes de umidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 5, p. 984-991, 2010.
- ORRICO JÚNIOR, M. A. P. *et al.* Avaliação de parâmetros da biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos alimentados com dietas à base de milho e sorgo. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 4, p. 600-607, 2010a.
- ORRICO JÚNIOR, M. A. P. *et al.* Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos com e sem separação da fração sólida em diferentes tempos de retenção hidráulica. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 3, p. 474-482, 2009.
- ORRICO JÚNIOR, M. A. P. *et al.* Influência da relação volumoso: concentrado e do tempo de retenção hidráulica sob a biodigestão anaeróbia. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 3, p. 386-394, 2010b.
- PEREIRA, M. A. *et al.* Mineralization of LCFA associated with anaerobic sludge: kinetics, enhancement of methanogenic activity, and effect of VFA. **Biocombustíveis e Bioengenharia**, v. 88, n. 4, p. 502-511, 2004.
- REGUEIRO, L. *et al.* Enhanced methane production from pig manure anaerobic digestion using fish and biodiesel wastes as co-substrates. **Bioresource Technology**, v. 123, p. 507-513, 2012.
- RODRIGUES, P. H. M. *et al.* Valor nutritivo da silagem de girassol inoculada com bactérias ácido-láticas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 1, p. 340-344, 2005.
- SANTIBÁÑEZ, C. *et al.* Residual glycerol from biodiesel manufacturing, waste or potential source of bioenergy: a review. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 71, n. 3, p. 469-475, 2011.
- SANTOS, T. M. B. *et al.* Avaliação do desempenho de um aquecedor para aves adaptado para utilizar biogás como combustível. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 3, p. 658-664, 2007.
- THOMPSON, J. C.; HE, B. B. Characterization of crude glycerol from biodiesel production from multiple feedstocks. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 22, n. 2, p. 261-265. 2006.
- WOHLGEMUT, O. *et al.* Co-digestion of hog manure with glycerol to boost biogas and methane production. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 54, n. 2, p. 1-5, 2011.