

## II-009 - EFEITO DA VARIAÇÃO DA CARGA ORGÂNICA VOLUMÉTRICA NATURAL NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETO SUÍNO EM DIFERENTES TEMPOS DE RETENÇÃO HIDRÁULICA

**Camila Agner D'Aquino<sup>(1)</sup>**

Química Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Mestre em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Doutoranda em Energia pelo Instituto de Energia e Ambiente (IEE/USP).

**Thiago Carvalho de Mello**

Engenheiro Químico pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Pesquisador nos Institutos Lactec.

**Luis Cesar da Costa Jr.**

Engenheiro de Bioprocessos e Biotecnologia pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Mestrando em Life Sciences, Economics na Policy pela Technical University of Munich (TUM).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Butantã, São Paulo - SP, CEP: 05508-010 - Brasil - Tel: (31) 225-9518 - e-mail: [camila.daquino@usp.br](mailto:camila.daquino@usp.br)

### RESUMO

O estudo de reatores anaeróbios em laboratório prioriza o controle de determinados parâmetros que são de difícil controle em campo, o que torna difícil o processo de scale-up. Dentre os parâmetros está a Carga Orgânica Volumétrica. No caso do dejetos suíno, este parâmetro pode sofrer alterações diárias devido às condições climáticas, mudanças no manejo, alimentação dos animais, entre outros. A fim de se verificar o impacto desta variação na produtividade de biogás foi analisado o comportamento de um reator CSTR em dois diferentes Tempos de Retenção Hidráulica (20 e 30 dias) durante um período total de 180 dias. Os resultados demonstraram que a elevação da COV resulta em uma piora da eficiência de tratamento, bem como na produção de biogás. O ensaio com TRH de 20 dias obteve uma melhor resposta às alterações de carga orgânica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Digestão anaeróbia, CSTR, dejetos suíno, carga orgânica volumétrica.

### INTRODUÇÃO

A suinocultura é uma das principais atividades agropecuárias no Brasil. Com a adoção de sistemas de confinamento e de novas tecnologias, há um aumento da concentração de suínos por área e, conseqüentemente, de produção de dejetos, que contém altos teores de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio e outros elementos (DUDA e OLIVEIRA, 2009; SOUZA et al., 2008). Quando despejados de forma indiscriminada nos leitos ou aplicados incorretamente ao solo este dejetos se torna um passivo ambiental, causando poluição das águas e solos, além de problemas com odor (KARAKASHEV, SCHMIDT e ANGELIDAKI, 2008).

A digestão anaeróbia de dejetos suínos é uma tecnologia de destaque no tratamento de efluentes agroindustriais devido à sua capacidade de redução do potencial poluidor aliado à produção sustentável de energia através do metano e ao abatimento de emissões de gases do efeito estufa (GEE) (KAPARAJU e RINTALA, 2003). Este processo já é consolidado em muitos países e tem sido visto também como uma fonte de desenvolvimento regional, através de sua aplicação descentralizada em pequenas propriedades (BATZIAS, SIDIRAS e SPYROU, 2005), o que promove produção local de energia e de um biofertilizante de qualidade.

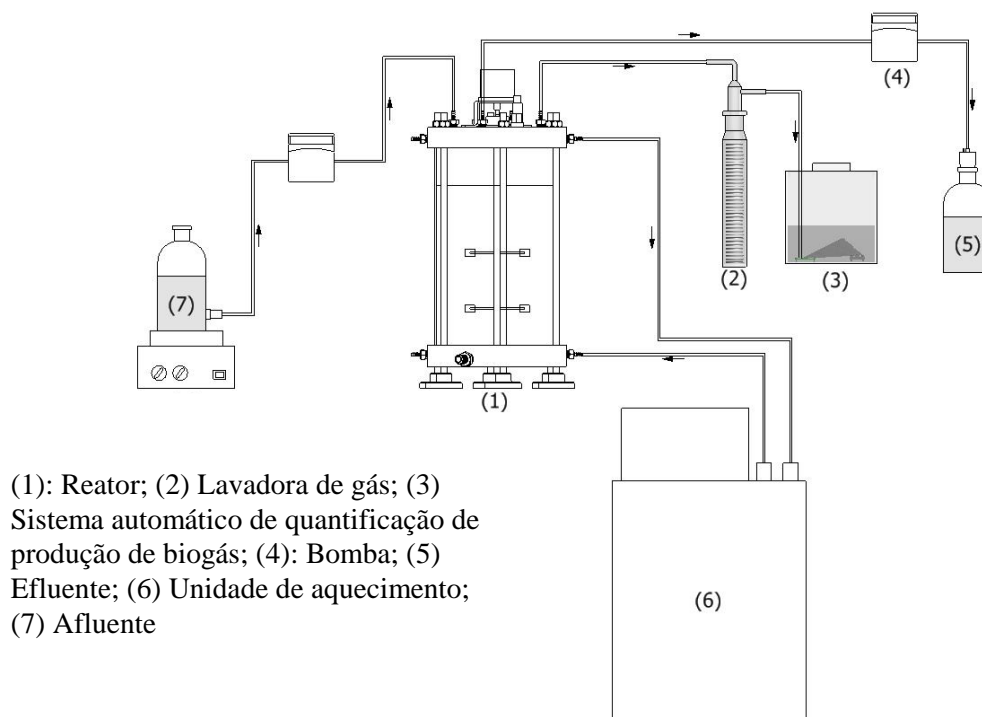
No entanto, em pequenas propriedades há pouca ou nenhuma disponibilidade de mão-de-obra qualificada para a operação de reatores complexos. Desta forma, devido à simplicidade exigida na operação e à estabilidade mesmo em situações de mudança brusca do substrato, o reator anaeróbio de mistura completa (CSTR) é indicado para este tipo de aplicação (BOE e ANGELIDAKI, 2008). Este reator tem como característica apresentar o mesmo tempo de retenção hidráulica (TRH) e tempo de retenção de sólidos (TRS), situando-se comumente entre 15 e 30 dias (TCHOBANOGLOUS, BURTON e STENSEL, 2003).

Quando estudados em laboratório, os parâmetros de estudo são comumente fixados a fim de se observar o comportamento desses reatores de forma controlada. No entanto, quando levados para o campo é encontrada um grande dificuldade de replicação dos resultados obtidos nos estudos laboratoriais devido à variação natural da carga orgânica e de composição do dejetto.

Assim, o objetivo deste trabalho é verificar os efeitos da variação natural da COV do dejetto suíno na produção de biogás e remoção de matéria orgânica em um reator CSTR, em dois diferentes Tempos de Retenção Hidráulica (TRH).

## MATERIAIS E MÉTODOS

O fermentador CSTR (Figura 1) utilizado foi projetado e construído como um recipiente cilíndrico de acrílico, com parede dupla para aquecimento. O volume total do reator é de 8 L, o volume operacional é de 6 L e foi inoculado com 1,2 L de lodo de Estação Anaeróbia de Tratamento Efluentes coletado na Sanepar.



**Figura 1. Fluxograma de operação do CSTR**

Durante 100 dias foi realizado um ensaio com TRH de 30 d, depois o TRH foi reduzido para 20 d, tendo este ensaio durado 76 d, resultando em um total de 176 d. Os parâmetros foram mantidos fixos por um período mínimo de 3 TRHs visando à confiabilidade dos resultados apresentados.

Os outros parâmetros de operação foram utilizados em condições similares. Foi mantida uma faixa de temperatura mesofílica ( $35,1 \pm 0,4$  °C) através da recirculação de água na camisa dupla, aquecida pelo sistema (6). A agitação do meio era promovida por agitadores do tipo rushton, que promoviam 1 min de agitação à aproximadamente 60 RPM seguido por 1 min parado (CUBAS, et al., 2011).

## Métodos Analíticos

A produção de biogás foi medida através de um dispositivo medidor de volume de gás (Figura 3 – 3) automatizado e acompanhado através de um software de registro de pulsos. O volume foi mensurado através do conhecimento do volume da concha. O volume observado foi então normalizado através da Equação 1 (VDI 4630, 2006), descrita a seguir.

$$V_0^{tr} = V \cdot \frac{(p - p_a) \cdot T_0}{p_0 \cdot T} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde,

= volume do gás seco no estado normal, em LN

V = volume de gás produzido observado no dispositivo, em L

p = pressão da fase gasosa no momento da leitura, em hPa

pa = pressão de vapor da água em função da temperatura do ambiente, em hPa

T0 = temperatura normal, T0 = 273 K

p0 = pressão normal, p0 = 1013 hPa

T = temperatura do gás no interior do reator, em K

A composição química do biogás produzido foi determinada pela técnica de cromatografia a gás com detecção por ionização em chama (FID) e condutividade térmica (TCD), em cromatógrafo Thermo Finnigan conforme a norma ABNT NBR 14903, com adaptações. O pH e a temperatura no interior do reator foram monitorados em tempo real. Para se obter a eficiência de tratamento, semanalmente foi analisada a carga orgânica de entrada e de saída do reator através da demanda química de oxigênio (DQO) e a sólidos totais voláteis (STV).

### Substrato

O dejetto suíno bruto foi coletado periodicamente em um colégio agrícola, situado em Castro/PR. A coleta foi realizada em frascos de polietileno de 5 L, uma fração foi separada para caracterização no Laboratório de Águas e Efluentes do Lactec. Enquanto o dejetto não estava sendo utilizado foi mantido refrigerado, a 4 °C sendo que 24 h antes de sua utilização o mesmo era retirado e deixado à temperatura ambiente.

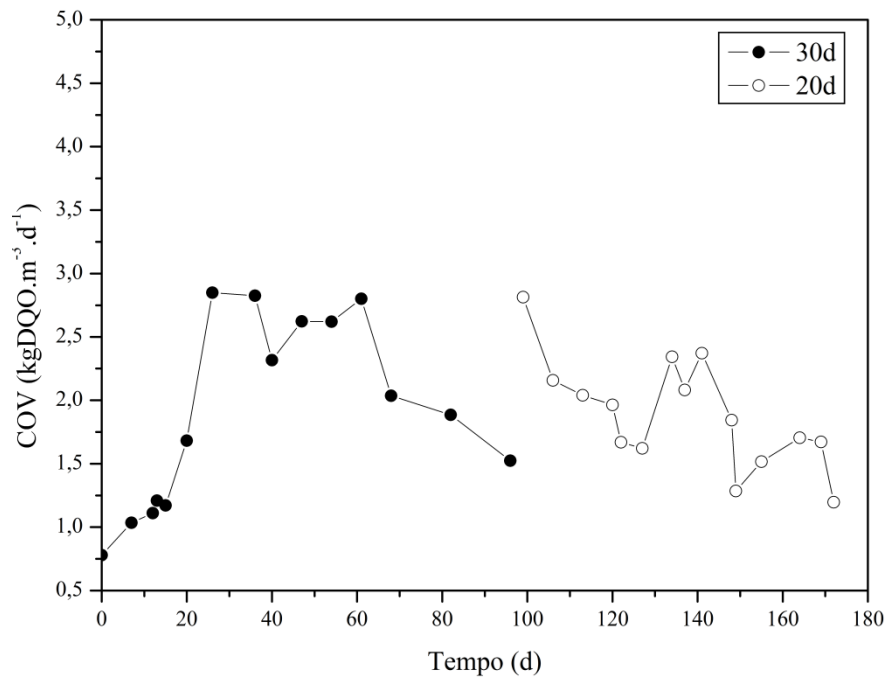
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Remoção de matéria orgânica

O acompanhamento da matéria orgânica de entrada se faz importante a fim de evitar instabilidades, uma vez que os processos fermentativos podem ser alterados por choques de carga orgânica, prejudicando principalmente a metanogênese, pois a população metanogênica é mais sensível a variações de pH, temperatura e carga orgânica (STEINBERG e REGAN, 2011). Neste trabalho, a COV (kgDQO.m<sup>-3</sup>.d<sup>-1</sup>) aplicada foi calculada semanalmente (Figura 2), de acordo com a DQO analisada.

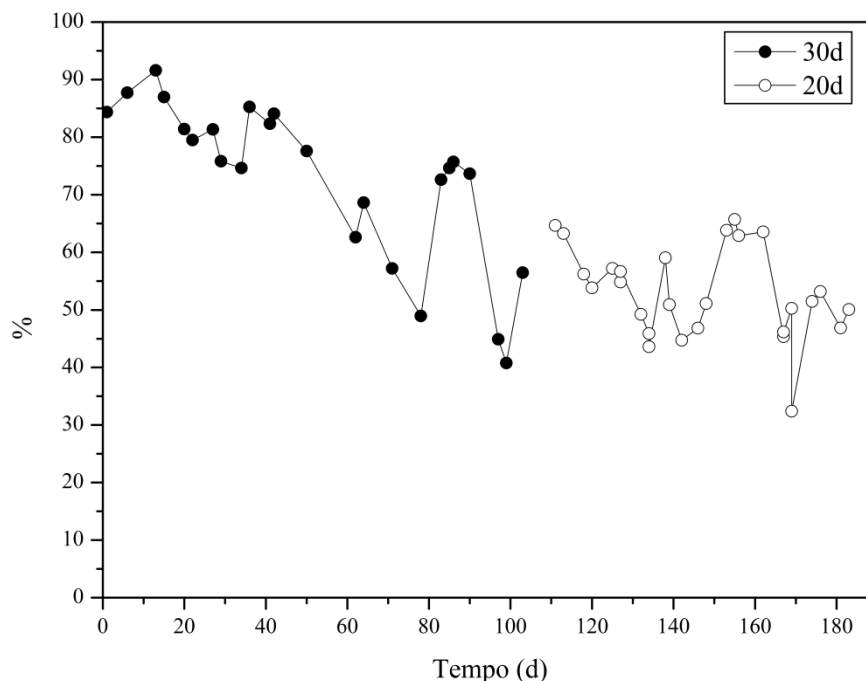
De acordo com Tchobanoglous, Burton e Stensel (2003), em reatores de mistura completa, a COV aplicada pode variar entre 1,0 e 5,0 kgDQO.m<sup>-3</sup>.d<sup>-1</sup>, sem alterar significativamente os processos metabólicos que ocorrem no reator.

No início do ensaio com TRH de 30 d, a COV ficou abaixo deste valor ideal (0,779 kgDQO.m<sup>-3</sup>.d<sup>-1</sup>), mas depois se manteve dentro dos valores indicados, tendo obtido seu pico no 36° d (2,85 kgDQO.m<sup>-3</sup>.d<sup>-1</sup>). Durante o ensaio com TRH de 20 d, os valores de COV permaneceram dentro do limite sugerido por Tchobanoglous, Burton e Stensel (2003), sendo que o pico ocorreu no 3° d (2,81 kgDQO.m<sup>-3</sup>.d<sup>-1</sup>) e o menor valor aplicado foi de 1,28 kgDQO.m<sup>-3</sup>.d<sup>-1</sup>.



**Figura 1. Variação da Carga Orgânica Volumétrica para cada TRH**

A TRH pode alterar de diferentes formas a eficiência de reatores anaeróbios. Na Figura 3 estão plotados os valores de eficiência de remoção de DQO ao longo dos dois TRHs. Com o TRH de 30 d, a menor COV aplicada inicialmente teve como resposta uma alta taxa de remoção de DQO, chegando a 91% de eficiência.



**Figura 2. Eficiência de remoção de DQO em cada TRH**

Com o aumento gradativo da COV ocorreu um decréscimo da eficiência de tratamento, chegando a um mínimo de 48%. Novamente então os valores de COV ficaram mais baixos, resultando em uma eficiência máxima de 75% de remoção de DQO.

Quando o TRH era de 20 d, a resposta em termos de tratamento de matéria orgânica foi diferente. Quando a COV aumentou, houve também um aumento da eficiência de remoção de DQO apresentados, sendo que a máxima COV foi de  $2,37 \text{ kgDQO} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ , quando a eficiência, também máxima, de 65,7% foi obtida.

No TRH de 30 d, o tempo de resposta em termos de eficiência de remoção orgânica foi maior do que quando TRH era de 20 d, o que está relacionado ao maior tempo de contato entre a matéria orgânica e o substrato.

Em termos de eficiência de remoção de matéria orgânica, no TRH de 30 d, a média de eficiência foi de  $72,9 \pm 14 \%$  enquanto que no TRH de 20 d a média ficou em  $52,6 \pm 8 \%$ . A diminuição no TRH afetou de forma significativa a eficiência de remoção da matéria orgânica. Com a diminuição da COV, houve também um aumento do pH, que passou de, em média, 7,63 (30 d) para 7,72 (20 d). Isto pode ser explicado pela diminuição da concentração de ácidos orgânicos voláteis, que impacta negativamente a eficiência do reator devido à influência destes compostos na acidogênese (ABBASI, TAUSEEF e ABBASI, 2012).

### Produção de metano

A produtividade em termos de biogás durante os dois períodos encontram-se plotada na Figura 4.

No TRH de 30 d, o máximo de produção foi de  $4,0 \text{ L}_N$ , no 26° d. A média de produção foi de  $2,26 \pm 0,75 \text{ L}_N \cdot \text{d}^{-1}$  e o mínimo foi de  $0,43 \text{ L}_N$ , no 11° d. No TRH de 20 d, a média de produção foi de  $2,66 \pm 0,63 \text{ L}_N \cdot \text{d}^{-1}$  e o mínimo foi de  $0,9 \text{ L}_N$  no 46° d.

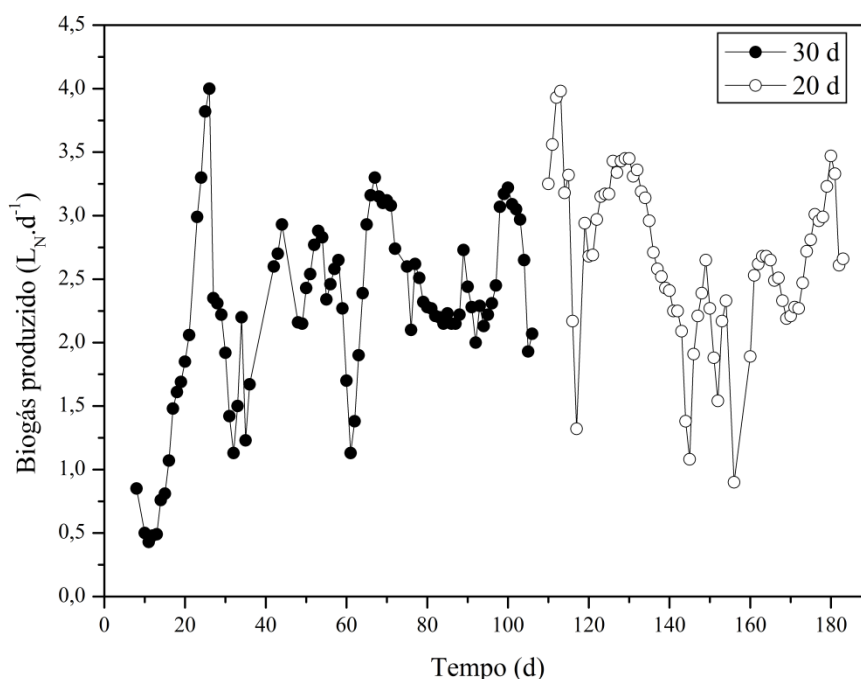


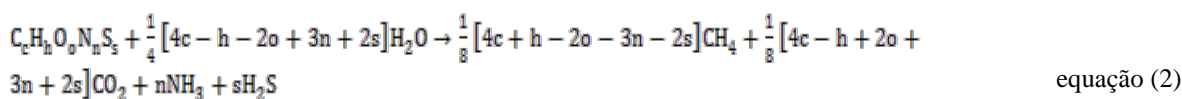
Figura 3. Produção de biogás em cada TRH

Tabela 1. Composição média do biogás nos diferentes TRHs

	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>
<b>30 d</b>	$70,08 \pm 4,34$	$19,35 \pm 4,26$
<b>20 d</b>	$72,67 \pm 2,13$	$19,96 \pm 3,60$

Em termos energéticos, um parâmetro importante é a conversão efetiva da matéria orgânica removida em metano. Sendo que a ineficiência microbiana pode causar a conversão da matéria orgânica em novas células, afetando drasticamente a recuperação do carbono na forma de metano e aumentando assim a produção de lodo (CHERNICHARO, 2007).

Sabe-se que a estimativa da produção e metano a partir da matéria orgânica degradada, em termos de sólidos voláteis, é realizada a partir do conhecimento da sua composição e segue a equação de Bushwell (eq. 2), representada a seguir (KHANAL, 2009).



De acordo com estudos realizados Chae et al. (2008) a composição química do dejetos suíno é  $C_{14,25}H_{28,80}O_{4,43}NS_{0,03}$ . Portanto, utilizando-se a equação de Bushwell, obtém-se um potencial de produção de metano de  $0,72 \text{ L CH}_4 \cdot \text{g}^{-1} \text{SV}_{\text{removido}}$ .

**Tabela 2. Rendimento de metano em cada tempo de retenção hidráulica**

TRH (d <sup>-1</sup> )	Rendimento em metano		
	$L_N \cdot g^{-1} SV_{\text{adicionado}}$	$L_N \cdot g^{-1} SV_{\text{removido}}$	$L_N \cdot g^{-1} DQO_{\text{removida}}$
20	$0,295 \pm 0,064$	$0,659 \pm 0,197$	$0,449 \pm 0,145$
30	$0,323 \pm 0,190$	$0,541 \pm 0,343$	$0,312 \pm 0,180$

Os resultados apresentados corroboram com os reportados por Chae et al. (2008) em condições similares. Em termos de rendimento de metano, não houve diferenças significativas entre os dois tempos de retenção hidráulica, indicando que mesmo com a diminuição do TRH não há um dano na capacidade de as bactérias metanogênicas transformarem o acetato em metano. Este dado pode também ser corroborado pelo teor de metano médio nos dois períodos. Desta forma, entende-se que a adoção de um tempo de retenção hidráulica menor é mais vantajoso por diminuir o volume do reator, diminuindo assim os custos de implementação e manutenção associados ao processo.

## CONCLUSÕES

Em aplicações do processo de biodigestão em campo para tratamento de dejetos suínos, a Carga Orgânica Volumétrica é um parâmetro largamente alterado de forma natural. Durante o período de TRH de 30 d, chegou a ser observada uma alteração em termos de matéria orgânica de mais de 300%. Os choques orgânicos constantes resultaram em quedas imediatas na eficiência de tratamento durante ambos TRH, bem como na produção de biogás, principalmente no TRH de 30 d. Durante o TRH de 20 d, estes choques de carga orgânica foram menos danosos em termos de produtividade de biogás, mas resultaram em uma queda mais elevada nos valores de eficiência de tratamento do dejetos. Portanto, em termos energéticos o TRH menor favoreceu a estabilidade do reator, mesmo com a alteração natural da COV aplicada durante o período de ensaio, enquanto que o TRH de 30 d foi mais eficiente em se manter estável às variações em termos de eficiência de tratamento. A alteração na COV se mostrou como prejudicial para fins de tratamento por alterar de imediato a eficiência. Para fins energéticos, apesar de ter efeito prejudicial, a alteração na COV é mais bem absorvida durante o processo de digestão anaeróbia, principalmente para o TRH de 20 d, neste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABBASI, T.; TAUSEEF, S.; ABBASI, S.. *Anaerobic digestion for global warming control and energy generation – an overview*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 16, n. 5, p. 3228-3242, 2012.
2. BATZIAS, F.A.; SIDIRAS, D.K.; SPYROU, E.K. *Evaluating livestock manures for biogas production: a GIS based method*. Renewable Energy, v. 3, n. 8, p. 1161-1176. 2005.
3. BOE, K.; ANGELIDAKI, I.. Serial CSTR digester configuration for improving biogas production from manure. Water Research, v. 43, n. 1, p. 166-172, 2009.
4. CHAE, K.J.; JANG, A; YIM, S.K.; KIM, In S.. The effects of digestion temperature and temperature shock on the biogas yields from the mesophilic anaerobic digestion of swine manure. Biosource technology, v. 99, n. 1, p. 1-6, 2008.
5. CUBAS, S.; FORESTI, E.; RODRIGUES, J.A.D.; RATUSZNEI, S.M.; ZAIAT, M.. *Effect of impeller type and stirring frequency on the behavior of an AnSBBR in the treatment of low-strength wastewater*. Bioresource technology, v. 102, n. 2, p. 889-93, 2011.

6. DUDA, R.M.; OLIVEIRA, R.A. Reatores anaeróbios operados em batelada sequencial, seguidos de lagoa de polimento, para o tratamento de águas residuárias de suinocultura Parte I: *Produção de metano e remoção de DQO e de sólidos suspensos*. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.29, n.1, p.135-147, 2009.
7. KAPARAJU, P.L.N., RINTALA, J.A., 2003. *Effects of temperature on post-methanation of digested dairy cow manure in a farm-scale biogas production system*. Environ. Technol. 24, 1315–1321.
8. KARAKASHEV, D.; SCHMIDT, J.E.; ANGELIDAKI, I. *Innovative process scheme for removal of organic matter, phosphorus and nitrogen from pig manure*. Water Research, v. 42, n. 15, p. 4083-90, 2008.
9. PIND, P.F.; ANGELIDAKI, I.; AHRING, B.K.; STAMATELATOU, K.; LYBERATOS, G.. *Monitoring and control of anaerobic reactors*. Advances in biochemical engineering/biotechnology, v. 82, p. 135-82, 2003.
10. SOUZA, C.F.; CAMPOS, J.A.; SANTOS, C.R.; BRESSAN, W.S.; MOGAMI, C.A. *Produção volumétrica de metano – dejetos de suínos*. Ciênc. Agrotec., Lavras, v. 32, n. 1, p. 219-224, 2008.
11. TCHOBANOGLOUS, G.; BURTON, F. L.; STENSEL, H. D.. *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse - Metcalf & Eddy*. Fourth ed. McGraw-Hill, 2003.
12. WARD, A.J.; HOBBS, P.J.; HOLLIMAN, P.J.; JONES, D.L.. *Optimization of the anaerobic digestion of agricultural resources*. Bioresource Technology, v. 99, n. 17, p. 7928-40, 2008.