



INFLUÊNCIA DA INOCULAÇÃO E DA MANUTENÇÃO DA TEMPERATURA CONSTANTE SOBRE A BIOMETANIZAÇÃO DA FRAÇÃO ORGÂNICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Fernanda Resende Vilela¹ (fernanda_engenharia.ambiental@hotmail.com), André Luis Gomes Simões¹ (simoesalg@gmail.com), Carolina Ibelli Bianco¹ (carol.biancco@hotmail.com), Valdir Schalch¹ (vschalch@sc.usp.br)

1 UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

RESUMO

Diversos estudos têm discutido os aspectos que interferem no processo de biometanização, pois se deseja extrair o máximo proveito dessa tecnologia quanto ao tratamento de resíduos e à geração de energia renovável. A inoculação do sistema e a manutenção de temperatura constante são aspectos que podem contribuir para a redução do tempo de estabilização de resíduos sólidos orgânicos. A presente pesquisa analisou a influência de dois tipos de inóculos anaeróbios (lodo de esgoto sanitário e lodo granulado de avícola) e da manutenção da temperatura constante de 32 °C sobre o desempenho de biometanizadores de 5 L, cujo substrato principal era a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (FORSU). Três biometanizadores foram operados por 78 dias, em regime batelada, fase única e baixo teor de sólidos no afluente (entre 4 a 10%). Os tratamentos foram os seguintes: ETE 1 (preenchido com FORSU, lodo de esgoto sanitário e serragem - proporção de 3:1:1); ETE 2 (preenchido com FORSU, lodo de esgoto sanitário e serragem, proporção de 2:2:1) e DACAR (preenchido com FORSU, lodo granulado de avícola e serragem, proporção de 2:2:1). Após 78 dias de operação, constatou-se que o lodo de esgoto sanitário, quando presente na mesma proporção que a FORSU, favoreceu a degradação da matéria orgânica e a produção de metano se comparado aos demais tratamentos.

Palavras-chave: Digestão Anaeróbia; Metano; Inóculo.

INFLUENCE OF INOCULATION AND MAINTENANCE OF CONSTANT TEMPERATURE ON BIOMETHANIZATION OF ORGANIC FRACTION OF MUNICIPAL SOLID WASTE

ABSTRACT

Several studies have discussed the aspects that affect biomethanization process, because it wanted to extract the most out of this technology for the treatment of wastes and renewable energy generation. The system inoculation and the constant temperature maintenance are aspects that can contribute to reducing the stabilization time of organic solid wastes. This study analyzed the influence of two types anaerobic inocula (sewage sludge and granulated poultry sludge) and maintaining constant temperature of 32 °C on the performance of 5 L reactors, which the main substrate was the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW). Three reactors were operated for 78 days in a batch system, single phase and low solids content in the affluent (4 to 10%). The treatments were: ETE 1 (filled with OFMSW, sewage sludge and sawdust - ratio of 3:1:1); ETE 2 (filled with OFMSW, sewage sludge and sawdust, the ratio of 2:2:1) and DACAR (filled with OFMSW, granular sludge poultry and sawdust, the ratio of 2:2:1). After 78 days of operation, it was found that the sewage sludge, when present in the same proportion as OFMSW favored the degradation of organic matter and methane production compared to the other treatments.

Keywords: Anaerobic Digestion; Methane; Inoculum.



1. INTRODUÇÃO

O principal interesse pela utilização da biometanização recai na possibilidade de tratar os resíduos sólidos orgânicos gerados diariamente e, simultaneamente, obter uma fonte de energia renovável (gás metano) em um período da história humana no qual a demanda energética é crescente e dependente de combustíveis fósseis (SINGHAL; BANSAL; SINGH, 2012).

A prática em grande escala da biometanização para tratamento de resíduos sólidos orgânicos é restrita a alguns países, principalmente pelo custo de implantação, por limitações técnicas dos sistemas disponíveis, pela falta de configuração de reatores que se adequem a cada situação e, sobretudo, pelo longo tempo necessário para a estabilização dos resíduos quando comparada com o processo aeróbio (OLIVEIRA; FRADE, 2015; FERNÁNDEZ; PÉREZ; ROMERO, 2010).

Estudos têm buscado meios para superar as deficiências cinéticas da biometanização, sendo possibilidades o incremento de temperatura e a inoculação do sistema. A temperatura seleciona os micro-organismos atuantes, sua velocidade de crescimento e atividade de degradação, sendo que manter uma temperatura uniforme dentro do biometanizador é mais importante do que operar em uma temperatura ótima ou elevada (faixa termofílica). Quanto à inoculação, essa fornece biomassa anaeróbia para o sistema, principalmente na partida do processo, pois a comunidade anaeróbia não se instala imediatamente após a colocação dos resíduos no biometanizador (FORSTER-CARNEIRO; PÉREZ; ROMERO, 2008; CHERNICHARO, 2007).

O presente trabalho analisou a influência de dois tipos de inóculos anaeróbios e a manutenção da temperatura constante na faixa mesofílica sobre o desempenho de biometanizadores de 5 L, cujo substrato principal era a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos.

2. OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho foi verificar a influência da manutenção da temperatura constante de 32 °C e dos inóculos lodo de esgoto sanitário e lodo granulado de avícola sobre o desempenho de biometanizadores de 5 L tratando a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos.

3. METODOLOGIA

3.1 Biometanizadores e misturas afluentes

Foram adaptados três tambores de polietileno de 5 L com tampa rosqueável para simular o ambiente interno de um biometanizador, permitir a coleta de biogás e a entrada de substâncias (Figura 1). A mistura afluente dos biometanizadores foi composta pela fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos separada na fonte, serragem e lodos de reatores UASB (lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgoto Monjolinho – São Carlos/SP e lodo granulado da avícola DACAR - Tietê/SP) (Quadro 1).

Após a coleta, a FORSU foi triturada em triturador elétrico modelo TRAPP 500E, sendo majoritariamente representada por restos de frutas, verduras e hortaliças. Na Figura 2 são apresentados os componentes das misturas afluentes.

O regime de alimentação dos biometanizadores foi batelada, com operação em fase única (as reações físico-químicas e microbiológicas do processo anaeróbio ocorreram em um único reator), via úmida (baixo teor de sólidos no afluente: entre 4 a 10%) e temperatura mesofílica (temperatura controlada por meio de uma câmara climatizada permanecendo na faixa de 32°C ± 2°C). Para o preenchimento de cada tratamento, considerou-se a densidade e a relação C/N dos componentes da mistura, de forma a atingir 70% da capacidade útil dos biometanizadores.



Figura 1. Biometanizadores de 5 L. a) Adaptação em “Y” feita na tampa para a saída e coleta de biogás e para a entrada de alcalinizante. b) Biometanizador conectado ao aparato de Mariotte utilizado para a medição do volume de biogás produzido



Quadro 1. Quantidade em massa (kg) dos componentes que constituíram a mistura afluyente de cada biometanizador de 5 L

Biometanizadores de 5 L (operados por 78 dias)	Componentes da mistura afluyente			
	FORSU triturada (kg)	Serragem (kg)	Lodo ETE (kg)	Lodo DACAR (kg)
ETE 1	0,32	0,04	3,34	-
ETE 2	0,95	0,06	3,34	-
DACAR	0,57	0,03	-	3,14

Figura 2. Resíduos que compuseram a mistura afluyente dos biometanizadores. a) FORSU triturada. b) serragem. c) lodo de esgoto sanitário da ETE Monjolinho – São Carlos/SP. d) lodo granulado DACAR





3.2 Análises físico-químicas

Foram analisadas as misturas de entrada e de saída de cada biometanizador quanto aos parâmetros pH, alcalinidade, demanda química de oxigênio (DQO) e sólidos totais voláteis (STV), conforme métodos da APHA (2012).

O volume diário de biogás produzido nos biometanizadores foi obtido pelo deslocamento de água de um frasco Mariotte para um béquer, quando o registro da saída de biogás do biometanizador era aberto (Figura 1- b).

A análise da composição do biogás foi realizada quinzenalmente por cromatografia gasosa com detector de condutividade térmica (cromatógrafo GC-2010 - gás de arraste: argônio; cromatógrafo GC-2014 - gás de arraste: hidrogênio). Foram adaptadas seringas de insulina para a coleta do biogás, acoplando-se no corpo do instrumento um registro que permitia travar o êmbolo após a coleta (Figura 3). A seringa era acoplada na abertura da mangueira referente à saída de biogás e, após o registro do biometanizador ser aberto, lavava-se por dez vezes a seringa com o biogás e por fim coletava-se um volume de 1 mL, o qual seria distribuído proporcionalmente entre os dois cromatógrafos, permitindo analisar a presença dos gases metano, hidrogênio, dióxido de carbono, sulfeto de hidrogênio e nitrogênio.

Figura 3. Adaptação de seringas de insulina para a coleta de biogás com posterior análise cromatográfica



4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comparando-se a mistura afluente com a mistura efluente, verificou-se um aumento do pH em todos os biometanizadores, com valores superiores a 7 após 78 dias de operação (Figura 4). Tal fato foi consequência da capacidade tampão dos sistemas, garantida pela ação conjunta de dois fatores: da adição de alcalinizantes na partida do processo (bicarbonato de sódio - NaHCO_3 e bicarbonato de potássio - KHCO_3) (Tabela 1) e da característica alcalinizante dos inóculos utilizados (considerando a proporção dos mesmos em relação à FORSU e à serragem nas misturas afluentes).

Segundo Forster-Carneiro (2005), o pH é capaz de selecionar a velocidade de crescimento dos micro-organismos, afetando a eficiência da digestão anaeróbica que é dependente de um consórcio microbiano. Para processos anaeróbios, o pH ideal situa-se na faixa de 6,8 a 7,4 (MAO et al., 2015).



Figura 4. Caracterização das misturas afluentes e efluentes quanto aos parâmetros pH e alcalinidade

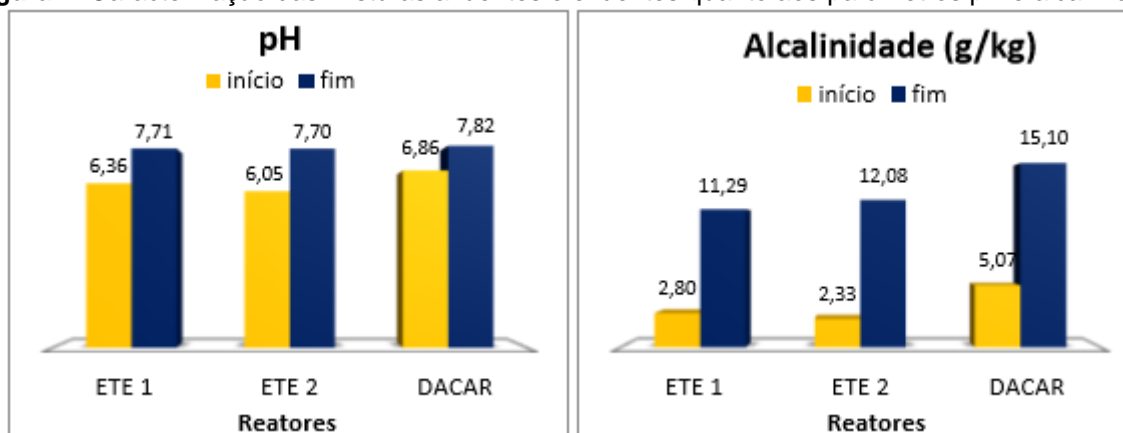
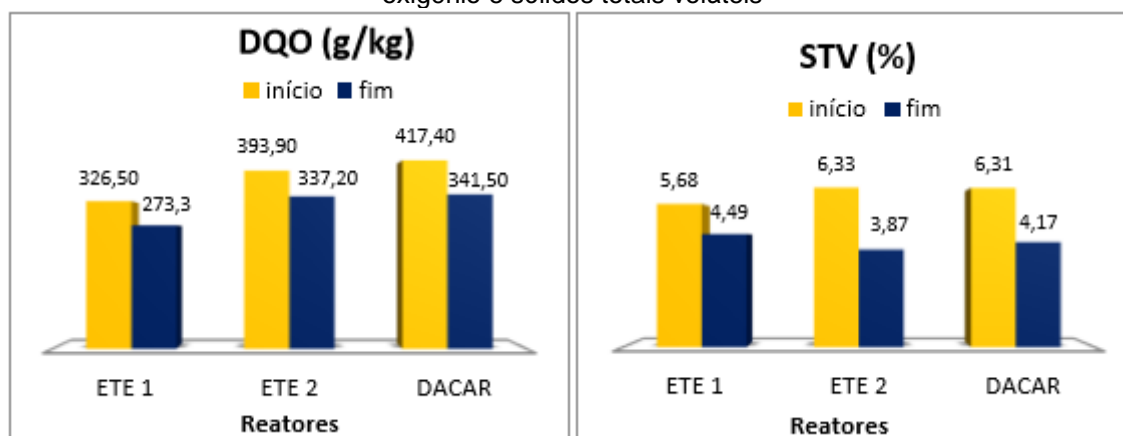


Tabela 1 - Quantidades (em gramas) dos alcalinizantes adicionados às misturas afluentes antes da vedação dos biometanizadores

Biometanizador 5 L	NaHCO ₃ (g)	KHCO ₃ (g)
ETE 1	22,72	10,46
ETE 2	28,64	14,28
DACAR	16,90	10,56

Quanto mais equilibrado um processo anaeróbico, maior será a porcentagem de metano obtida no biogás e maior estabilidade será obtida na mistura efluente (redução da DQO e dos STV) (SIDDHARTH JAIN et al., 2015). Na Figura 5, para todos os tratamentos verificou-se que houve um decréscimo na DQO e nos STV quando comparadas amostras de misturas iniciais e finais em um mesmo biometanizador. O biometanizador DACAR, inoculado com lodo granulado de avícola, foi o que apresentou maior redução desses parâmetros: 18,2% para DQO e 20,25% para STV. Entretanto, o biometanizador que apresentou a maior média de produção diária de biogás foi o ETE 2, com 0,50 L.dia⁻¹, seguido do ETE 1, com 0,22 L.dia⁻¹ e a menor produção foi obtida pelo DACAR, que gerou 0,20 L.dia⁻¹.

Figura 5. Caracterização das misturas afluentes e efluentes quanto aos parâmetros demanda química de oxigênio e sólidos totais voláteis



Quanto à composição do biogás, apenas aquele produzido pelo ETE 2 apresentou concentrações significativas de metano (24,02%) no 33º dia de operação (Figura 6). O biogás



proveniente dos biometanizadores ETE 1 e DACAR apresentaram como componente majoritário o nitrogênio, sendo que não houve produção relevante dos demais gases (apesar de detectada a presença de outros gases no cromatógrafo, inclusive de metano, suas áreas cromatográficas foram negativas, resultando em uma porcentagem nula) (Figuras 7 e 8).

Figura 6. Composição do biogás produzido no biometanizador ETE 2

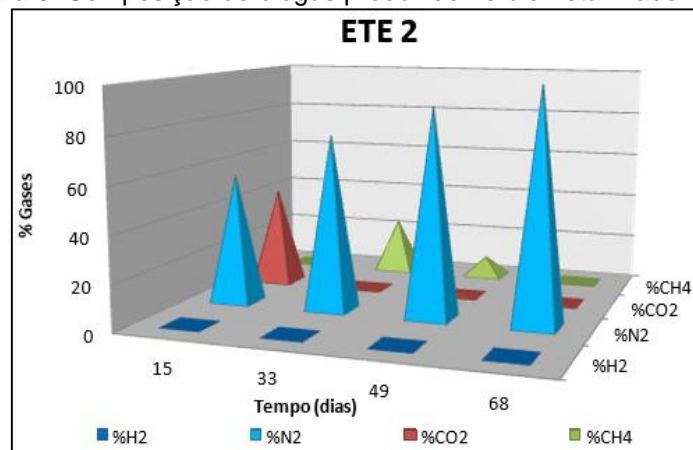


Figura 7. Composição do biogás produzido no reator ETE 1

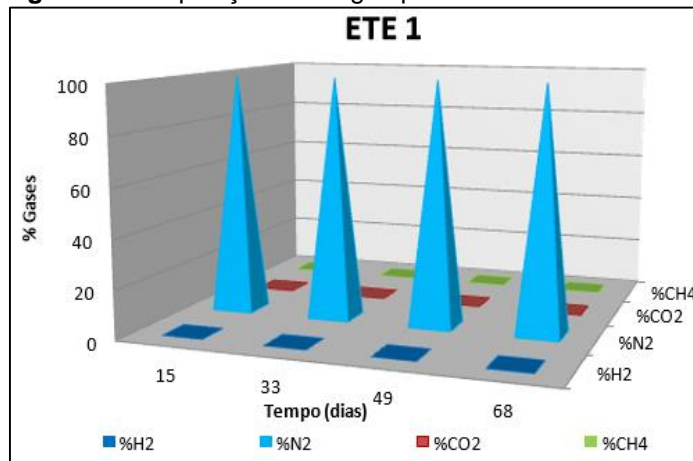
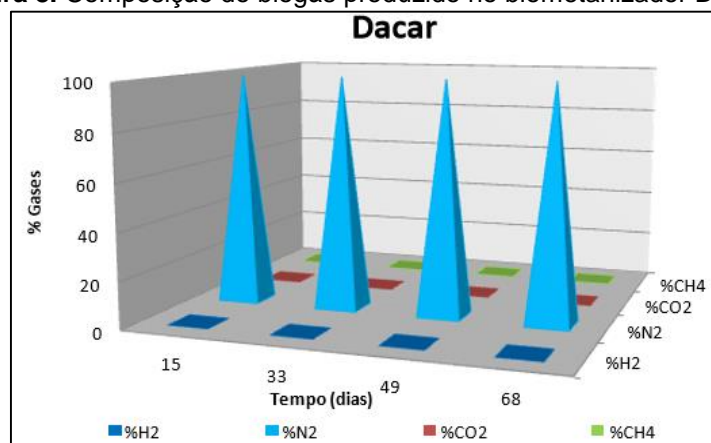




Figura 8. Composição do biogás produzido no biometanizador DACAR



A elevada concentração de nitrogênio gasoso presente no biogás pode ser devida aos seguintes fatores:

- processo de desnitrificação – os micro-organismos hidrolíticos e acidogênicos transformam a FORSU em ácidos orgânicos (matéria orgânica dissolvida), os quais são fonte de energia para bactérias anaeróbias que convertem nitrato à nitrogênio gasoso (ZHANG et al., 2016). Nos biometanizadores da presente pesquisa, pode-se sugerir que os ácidos orgânicos estavam disponíveis no meio e não foram prontamente consumidos por acetogênicos e metanogênicos, os quais tem crescimento lento. Assim, bactérias anaeróbias desnitrificantes, que atuam na faixa ótima de pH entre 6,5 e 8,0 (METCALF e EDDY, 2003), encontraram condições favoráveis para atuarem.
- inadequação do procedimento de coleta de biogás para a análise cromatográfica – pelo fato do ar atmosférico ser composto por 78% de nitrogênio, alguma falha na execução da coleta de biogás conforme descrita no item 3.2 pode ter incorrido na elevada concentração de nitrogênio detectada no biogás. Deve-se considerar também o fato da seringa ter sido adaptada para tal função.

5. CONCLUSÃO

A inoculação dos biometanizadores com lodos anaeróbios constituiu em uma fonte direta de alcalinidade, não sendo necessário adicionar grandes quantidades de substâncias químicas alcalinizantes para a manutenção do efeito tampão do sistema.

Comparando-se o desempenho dos dois inóculos utilizados em conjunto com operação à temperatura constante de 32 °C, o lodo de esgoto sanitário se adaptou melhor à digestão anaeróbia da FORSU do que o lodo granulado de avícola, pois houve produção detectável de metano somente no biometanizador ETE 2, o qual apresentava as mesmas proporções de inóculo/FORSU/serragem que o biometanizador DACAR.

REFERÊNCIAS

APHA – American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environmental Federation. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 22^{ed}. Washington, APHA, 2012.

CHERNICHARO, C. A. L. Reatores Anaeróbios. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG. Volume 5, 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2007. 379 p.



FERNÁNDEZ, J.; PÉREZ, M.; ROMERO, L. I. Kinetics of mesophilic anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste: influence of initial total solid concentration. *Bioresource Technology*, n. 101, p. 6322-6328.

FORSTER-CARNEIRO, T.; PÉREZ, M.; ROMERO, L. I. Influence of total solid and inoculum contents on performance of anaerobic reactors treating food waste. *Bioresource Technology*, n. 99, p. 6994-7002, 2008.

FORSTER-CARNEIRO, T. Digestión anaeróbica termofílica seca de resíduos urbanos: estudio de las variables del proceso en el arranque y estabilización del bio-reactor. 2005. 400p (Doutorado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Tecnologia de Alimentos Tecnologias do Meio Ambiente, Universidade de Cádiz, Espanha. 2005.

MAO, C.; FENG, Y.; WANG, X.; REN, G. Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 45, p. 540–555, 2015.

METCALF, E.; EDDY, M. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. McGraw Hill, 4th edition, 1819p. 2003.

OLIVEIRA, E. M; FRADE, D. C. Finep e seu papel na gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil. In: FRICKE, K.; PEREIRA, C.; LEITE, A.; BAGNATI, M. (Coords.). *Gestão Sustentável de Resíduos Sólidos Urbanos: transferência de experiência entre a Alemanha e o Brasil*. [versão impressa] ISBN: 978-3-924618-45-2. Braunschweig: Technische Universität Braunschweig, 2015. p. 585-586.

SIDDHARTH JAIN; SHIVANI JAIN; WOLF, I. G.; LEE, J.; TONG, Y. W. A comprehensive review on operating parameters and different pretreatment methodologies for anaerobic digestion of municipal solid waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.52, p.142-154, 2015.

SINGHAL, Y.; BANSAL, S. K.; SINGH, R. Evaluation of biogas production from solid waste using pretreatment method in anaerobic condition. *International Journal of Emerging Sciences*, v. 2, nº 3, p. 405-414, 2012.

ZHANG, Y.; WANG, X. C.; CHENG, Z.; LI, Y.; TANG, J. Effect of fermentation liquid from food waste as carbon source for enhancing denitrification in wastewater treatment. *Chemosphere*, n.144, p.689-696, 2016.