

III-333 - ENSAIOS DE POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO (BMP) NA DIGESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS

Ronaldo Stefanutti ⁽¹⁾

Professor adjunto/Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará (UFC). Graduado em Engenharia Agrônoma pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP). Mestre em Ciências pelo Centro de Energia Nuclear na Agricultura (USP) e Doutor em Ciências pelo Centro de Energia Nuclear na Agricultura (USP).

Geisa Vieira Vasconcelos Magalhães ⁽²⁾

Doutora em Engenharia Civil e Mestre em Engenharia Civil, com área de concentração em Saneamento Ambiental, pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Graduação em Química pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE).

Roani Simões Vera ⁽³⁾

Mestre em Engenharia Civil, com área de concentração em Saneamento Ambiental, pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Graduação em Engenharia Civil pela Universidade de Fortaleza (UNIFOR).

Luciane Mara Cardoso Freitas ⁽²⁾

Doutoranda em Engenharia Civil e Mestre em Engenharia Civil, com área de concentração em Saneamento Ambiental, pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Graduação em Engenharia Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE).

Ari Clecius Alves de Lima ⁽⁴⁾

Doutor em Engenharia Civil e Mestre em Engenharia Civil, com área de concentração em Saneamento Ambiental, pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Graduação em Engenharia Química pela UFC.

Endereço⁽¹⁾: Avenida mister Hull, bloco 713, CEP: 60455-760, Bairro Campus do Pici, Fortaleza-Ceará e-mail: ronaldostefanutti@hotmail.com

RESUMO

A utilização da produção de gás metano através da digestão anaeróbia, desponta como uma tecnologia estratégica de conversão de biomassa residual em bioenergia (biogás). O presente trabalho tem como objetivo avaliar a digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos (alimentares) com o inóculo de lodo de tanque séptico e a prospecção da produção acumulada de biogás visando a produção de metano. Através do ensaio de potencial bioquímico de metano (BMP), comparou-se as relações inóculo/ substrato (I/S) 1:1; 1:2; 1:3; 1:4 durante 60 dias de monitoramento. A composição do biogás foi quantificada por cromatografia e os resultados de volume de biogás gerado nos reatores foram calculados através das leituras das pressões e temperaturas de cada reator, bem como das pressões e temperaturas atmosféricas. Observa-se que dentre as relações testadas, a que obteve melhores resultados foi a relação 1:1 com valores de produção específica de 420,33NmLCH₄/gSV em comparação com as outras e a que teve um menor resultado foi a relação 1:4, que obteve valores de 99,01NmL/gSV.

PALAVRAS-CHAVE: BMP, Metano, Resíduos orgânicos, Biogás

INTRODUÇÃO

Em todo o mundo a quantidade de resíduos sólidos tem aumentado gradativamente, devido aos avanços tecnológicos, gerando inúmeros problemas como exemplo o agravamento dos problemas ambientais, econômicos, sociais e de saúde pública (ALMEIDA, 2013). Outro fator que contribui para o volume dos resíduos é o crescimento populacional, aumentando a sua produção e tornando cada vez mais escassas as áreas adequadas para disposição final do lixo, que, destinado a locais inadequados, contribui para a poluição do solo, das águas e ar, causando sérios impactos negativos principalmente com relação ao aumento dos gases do efeito estufa. Sob esse panorama, o uso da fração orgânica, que representa acima de 50% de volume de resíduo sólido urbano (FORSU) como fonte de energia renovável tem sido considerado no país.

Dentre esses tratamentos estão os métodos biológicos, em condições aeróbias ou anaeróbias, com vistas à reciclagem com valorização dos resíduos orgânicos através tanto da conversão em compostos para fins agrícolas ou pela produção de biogás, que é composto de metano, oxigênio e gás carbônico, através da digestão anaeróbia com a recuperação energética e aproveitamento do biogás.

Dessa maneira, a utilização do gás metano desponta como uma tecnologia estratégica de conversão de biomassa residual em bioenergia (biogás). Ressalta-se ainda que os subprodutos sólidos (lodo) e líquido do processo apresentam potencial de reutilização agrícola, como biossólidos e na fertirrigação de culturas vegetais, mitigando o uso de insumos agrícolas químicos para produção de alimentos. É importante salientar que o estudo das características físico-químicas e microbiológicas do biossólidos faz-se necessário antes da aplicação no solo, com vista a garantir a segurança ambiental e a saúde do consumidor (FERREIRA, 2015).

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos (alimentares) com o inóculo de lodo de tanque séptico e a prospecção da produção acumulada de biogás em larga escala visando a produção de metano. Avaliar qual a melhor relação inóculo/substrato (I/S) para a produção de metano, na geração do potencial bioquímico de metano (BMP) usando o substrato de resíduos sólidos orgânicos e inóculo de lodo de tanque séptico.

MATERIAIS E MÉTODOS

A partida dos reatores foi conduzida de forma a acompanhar a variação do potencial de geração de metano, utilizando o ensaio de BPM. Para o experimento foram utilizados frascos de vidro âmbar que possuíam cerca de 250 mL; a mistura ocupou 70% do volume do frasco (onde 50% foi destinado para substrato e 50% destinado para o inóculo) e 30% foi destinado para headspace do gás. Decidiu-se a não realização da purga do gás presente no frasco com N₂ grau FID, assim podendo-se avaliar a importância deste procedimento no teste, de acordo com a metodologia de Alves (2008).

Para o inóculo foi considerada uma concentração de 10gSV/L e para o substrato foi feita uma solução padrão. O resíduo orgânico foi diluído com água destilada, misturado em liquidificador, sendo obtida uma solução padrão com concentração final de cerca de 60gSV/L, na qual foram realizadas diluições no substrato para chegar nas relações testadas. As diferentes misturas foram preparadas em modo batelada e todas as amostras foram homogeneizadas de modo a aumentar a interação entre inóculo/resíduo. A Figura 18 esquematiza o preparo das misturas para o ensaio.

Após a coleta dos resíduos orgânicos (alimentares), foi realizada uma triagem dos resíduos para a remoção de materiais que não podiam ser triturados no liquidificador industrial (Figura 1), como pedaços de ossos, caroços, guardanapos, copos, casca de frutas, dentre outros. Após o processo de trituração, foram feitas soluções de concentrações de soluções de SV dos resíduos alimentares, as quais foram incubados em frascos e adicionados os volumes determinados das soluções de lodo de tanque séptico e substrato na relação I/S 1:1; 1:2; 1:3; 1:4 nos frascos de reação devidamente identificados, sendo que o volume da mistura deveria ocupar 70% da capacidade do frasco, já que 30% se constituía do headspace.

Figura 1 – Trituração dos resíduos orgânicos



Fonte: A autora (2019)

Para a realização do ensaio de BMP, foi utilizado um shaker orbital MA-420 Marconi (Figura 2) para incubação e agitação das amostras até que a produção de biogás cessasse. Optou-se por uma temperatura de 35°C e agitação de 150rpm, conforme utilizado por Lima (2015). O pH das amostras foi previamente ajustado para valores entre 6,5 e 7,5, utilizando-se solução de bicarbonato de sódio de concentração de 1g/L, como proposto por Lima (2015). Os testes tiveram uma duração máxima de até dois meses ou até quando houvesse a estabilização da produção de gás.

Figura 2 – Ensaio de BPM



Fonte: A autora (2019)

A composição do biogás foi quantificada por cromatografia em fase gasosa usando um cromatógrafo de fase gasosa GC 17A, Shimadzu acoplado a um detector de condutividade térmica (DCT). Tabela 8 mostra as condições de cromatografia em gás aplicado na análise de biogás de acordo com a metodologia desenvolvida e validada por Carneiro (2012).

Os resultados de volume de biogás gerado nos reatores foram calculados através das leituras das pressões e temperaturas de cada reator, bem como das pressões e temperaturas atmosféricas. As Equações 7, 8, 9 mostram as fórmulas utilizadas para os cálculos do potencial de geração de biogás (HARRIES, 2001; ARAÚJO MORAIS JR, 2006; ALVES, 2008, SILVA et al 2016).

- Volume de biogás gerado entre T e T+1

$$Volume = \frac{PF \times VUF \times 22,41 \times 1000}{83,14 \times TF}$$

- Volume de biogás acumulado = (Gerado entre T e (T +1) + VGA (mL)

- Volume de biogás acumulado CNTP (NmL) = $Volume\ acumulado\ normal = VA \times \frac{273}{TF} \times \frac{(Patm - 42)}{760}$

Onde:

T: Tempo (dias);

PF (mbar): Pressão do Frasco em milibar;

VUF (L): Volume Útil do Frasco em litros;

TF (K): Temperatura do Frasco em Kelvin;

VGA (mL): Volume de biogás acumulado do dia anterior em mililitros;

TF (K): Temperatura do Frasco em Kelvin;

Patm. (mbar): Pressão Atmosférica em milibar.

Portanto observa-se que o volume de biogás acumulado (mL) foi calculado e corrigido para as Condições Normais de Temperatura e Pressão – CNTP, sendo então obtido o volume de biogás em NmL. A partir dos valores de pressão medidos pelo método manométrico, é possível avaliar a quantidade, em volume, de biogás produzida em cada garrafa.

RESULTADOS

Caracterização físico química dos meios de reações

Na Tabela 1, encontram-se os resultados relativos aos parâmetros de início e final do ensaio de BMP para pH, alcalinidade total (AT), AGV e a relação AGV/AT. Em todas as amostras foram adicionadas uma dosagem de alcalinidade de 1,0 g/L de bicarbonato de sódio (NaHCO_3), visando assegurar a estabilidade do processo anaeróbio.

Devido a adição de bicarbonato, o pH manteve uma faixa entre 7 a 8 mantendo-se dentro do padrão para a produção de biogás com boa capacidade de tamponamento do pH frente a produção de ácidos graxos voláteis durante a hidrólise e de ácidos orgânicos na acidogênese (LOPES; LEITE; SOUSA, 2000). Appels et al. (2008) observaram que o pH do sistema é controlado pela concentração do CO_2 na fase gasosa e pela alcalinidade do bicarbonato (HCO_3^-) na fase líquida. Se a concentração de nitrogênio e alcalinidade elevadas favorecem a estabilização de pH, por outro lado, o elevado teor de nitrogênio poderá ser tóxico, principalmente para as bactérias metanogênicas (REIS, 2012).

Em relação à alcalinidade total, inicialmente foi registrada uma concentração entre 2,56g a 6,87g CaCO_3/L nas amostras, e no final do período monitorado houve um aumento nos teores de carbonato em todos os seis reatores. Conforme Felizola, Leite e Prasad (2006), esse aumento pode estar associado à elevada concentração de nitrogênio do meio de reação, o que contribui para a formação de bicarbonato de amônia. Para o processo funcionar corretamente a faixa de alcalinidade deve estar entre 1 e 5g/L (METCALF e EDDY, 2003) e assim manter a capacidade tamponante e evitar mudanças no pH (CHERNICHARO, 2007).

Tabela 1 - Caracterização física e química do meio de reação para o teste de biodegradabilidade de pH, AlcT, AGV e relação AGV/AT.

Amostras (relação I/S)	Resultados							
	pH		AlcT ($\text{gCaCO}_3 \text{ L}^{-1}$)		AGV (gHAc L^{-1})		AGV/ AT	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
1:1	7,56	8,21	5,56	8,12	6,43	9,56	0,67	1,15
1:2	7,58	8,01	6,74	9,86	12,93	5,87	1,91	0,62
1:3	7,97	7,33	3,99	5,59	8,54	8,91	2,13	1,61
1:4	7,80	7,16	2,56	3,27	3,15	5,78	1,22	1,55

Como resultado da alta quantidade de AGV produzidos durante a digestão anaeróbia de resíduos alimentares, é muito importante monitorar a estabilidade do processo. Por outro lado, o comportamento dos AGV fornece informação acerca do desempenho das etapas intermediárias da digestão anaeróbia, sendo o ácido propiônico apresentado como parâmetro chave quando é analisada a estabilidade da digestão anaeróbia. Por sua vez, a alcalinidade é a capacidade do meio de neutralizar os AGV gerados durante o processo e, portanto, mitigar as mudanças de pH (FONOLL et al., 2015).

A relação AGV/AT indica a ocorrência da estabilidade dos processos anaeróbios (SILVA, 2009). Leite (2004) aponta uma relação AGV/AT inferior ou igual a 0,50 como um sistema com uma boa capacidade de tamponamento, indicando um equilíbrio dinâmico ao sistema. Para as condições de biodegradabilidade ensaiadas no final, em todo o período avaliado os valores de AGV/AT estiveram, no final, entre 0,6 a 1,6 acima do recomendado, porém obteve-se bons resultados no sistema.

Comparando os valores de DQO, CO e SV iniciais e finais (Tabela 2), é possível verificar que houve diminuição das cargas orgânicas ao final do experimento. Os resultados de DQO apresentaram concentrações iniciais altas variando entre 22,26 a 50,93 $\text{gO}_2 \text{ L}^{-1}$ DQO e finais entre 15,45 $\text{gO}_2 \text{ L}^{-1}$ e 19,86 $\text{gO}_2 \text{ L}^{-1}$.

O teor de sólidos voláteis (SV%), parâmetro muito utilizado para medida do estado de biodegradabilidade da fração orgânica, apresentou um valor considerável entre 46,57% a 85,14% já que na literatura valores na faixa de 75% a 79% são considerados ótimos (ALCANTARA, 2007).

Tabela 2 - Caracterização física e química do meio de reação para o teste de biodegradabilidade de DQO%, C%, N%, C/N.

Amostras (relação I/S)	Resultados									
	DQO (g/L ⁻¹)		SV%		C%		N (%)		C/N	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
1:1	37,41	16,85	69,56	14,49	44,56	10,49	1,75	4,23	25,50	2,48
1:2	32,26	15,45	46,57	21,02	25,87	11,66	1,01	2,65	25,64	4,39
1:3	34,47	18,67	61,78	35,51	34,32	19,74	1,66	3,55	20,70	5,57
1:4	30,82	19,86	85,14	49,09	38,55	21,67	1,13	2,49	34,21	8,72

Produção de biogás e metano acumulado

Os resultados da geração de biogás e de CH₄ obtidos no ensaio de BMP estão descritos na Tabela 3 onde consta o volume acumulado (NmL) de biogás, volume acumulado de metano e da produção específica (volume acumulado de metano por grama de sólidos voláteis removidos – NmL/gSV) após os 60 dias de monitoramento (RAPOSO et al., 2011).

Observa-se que dentre as relações testadas, a que obteve melhores resultados foi a relação 1:1 com valores de produção específica de 420,33NmLCH₄/gSV em comparação com as outras e a que teve um menor resultado foi a relação 1:4, que obteve valores de 99,01NmL/gSV

Tabela 3 - Produção acumulada de biogás e CH₄ no ensaio BMP

Produção acumulada				
Amostras (relação I/S)	Produção acumulada biogás NmL	Produção acumulada CH ₄ NmL	Produção específica CH ₄ NmL/gSV	% médio CH ₄
Inóculo	26,68	10,54	30,48	40,00
1:1	1208,06	580,06	420,33	48,28
1:2	379,05	189,37	126,24	49,96
1:3	487,08	234,91	135,79	48,23
1:4	298,51	163,33	99,01	54,73

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

A digestão anaeróbia dos resíduos orgânicos alimentares com a utilização do inóculo de lodo de tanque séptico, através do ensaio de BMP mostrou-se bastante promissora, pois a digestão anaeróbia produz biogás com boa concentração de metano, sendo uma opção sustentável para geração de energia e para reduzir os impactos causados pelos efeitos da mudança climática, pois, ao invés dos resíduos estarem expostos a céu aberto gerando gases do efeito estufa, estão armazenados no biodigestor gerando gases para posteriormente serem utilizados como energia sustentável.

Os resultados satisfatórios foram principalmente a relação 1:1, onde se obteve valores maiores de produção específica de metano, 420,33 NmLCH₄/gSV.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALCÂNTARA, P.B. Avaliação da influência da composição de resíduos sólidos urbanos no comportamento de aterros simulados. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Engenharia Civil, 2007.
2. ALMEIDA, R. N. et. al. A problemática dos resíduos sólidos urbanos. Interfaces Científicas-Saúde e Ambiente, v. 2, n. 1, p. 25-36, 2013.
3. ALVES, I. R. F. S. Análise experimental do potencial de geração de biogás em resíduos sólidos urbanos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, 2008
4. ALVES, I. R. F. S. Avaliação da Co-digestão na Produção de Biogás. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.
5. CHERNICHARO, C.A.L. Reatores anaeróbios – Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. v.5. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.
6. FONOLL, X. et al. Anaerobic co-digestion of sewage sludge and fruit wastes : Evaluation of the transitory states when the co-substrate is changed. Chemical Engineering Journal. v. 262, p. 1268–1274, 2015.
7. LIMA, N. C. Análise de tipos e concentrações de inóculos para potencializar a geração de biogás na digestão anaeróbia da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares do bairro planalto pici, fortaleza – CE. Universidade Federal do Ceará Dissertação de mestrado. 140 p, 2015.
8. METCALF, E; EDDY, M. Wastewater engineering: treatment and reuse. 4.ed. New York: McGraw-Hill, 1819 p. 2003.
9. RAPOSO, A; DE LA RUBIA, M. A; FERNÁNDEZ-CEGRÍ, V; BORJA, R. Anaerobic digestion of solid organic substrates in batch mode: Na overview relating to methane yields and experimental procedures. In: Renewable and sustainable energy reviews. v.16, p.861-877, 2012.
10. SILVA, W. R. Estudo cinético do processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos vegetais. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Paraíba. 159 f, 2009.
11. REIS, A. S. Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbio. p. 79. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2012.