

III-067 - AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE METANO EM BIODIGESTORES ANAERÓBIOS E MICROAERÓBIOS TRATANDO RESÍDUOS ORGÂNICOS ALIMENTARES

Plínio Tavares Barbosa⁽¹⁾

Licenciado em Química pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). Mestre em Energias Renováveis pelo Instituto Federal do Ceará (IFCE). Doutorando em Engenharia Civil – Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (UFC).

Camylla Rachelle Aguiar Araújo Dantas

Engenheira Ambiental e Sanitarista pelo Instituto Federal do Ceará – *Campus* Maracanaú (IFCE). Mestra em Energias Renováveis pelo Instituto Federal do Ceará (IFCE). Doutoranda em Engenharia Civil – Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (UFC).

André Bezerra dos Santos

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC). PhD em Environmental Sciences pela Wageningen University, Holanda. Professor Associado do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da UFC.

Paulo Igor Milen Firmino

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Mestre em Engenharia Civil – Saneamento Ambiental pela UFC. Doutor em Engenharia Civil – Saneamento Ambiental pela UFC. Professor Adjunto A do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da UFC.

Marcos Erick Rodrigues da Silva

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Mestre em Engenharia Civil – Saneamento Ambiental pela UFC. Doutor em Engenharia Civil – Saneamento Ambiental pela UFC. Professor do Instituto Federal do Ceará – *Campus* Fortaleza.

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Campus do Pici, Bloco 713, Pici – Fortaleza – CE - CEP: 60455-900 - Brasil - e-mail: pliniotavaresapodi@hotmail.com

RESUMO

A digestão anaeróbia pode ser uma técnica adotada no tratamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos – FORSU. Contudo, o uso da microaeração em sistemas anaeróbios pode ser uma estratégia para o melhoramento da hidrólise da matéria orgânica particulada, oxidar os sulfetos gerados a partir de compostos à base de enxofre e, até mesmo, contribuir na estabilidade de digestores anaeróbios. O trabalho em questão teve como objetivo avaliar o efeito da microaeração na estabilidade operacional e produção de metano em biodigestores anaeróbios tratando os resíduos sólidos orgânicos de um restaurante universitário. A pesquisa consistiu na operação de dois reatores em batelada (R1 e R2), inoculados com lodo de um reator UASB. O reator R1 foi operado em condições microaeróbias ($0,5 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$) e o R2 em condições anaeróbias. A relação de $\text{gDQO}_{\text{sub}}/\text{gSV}_{\text{lodo}}$ aplicada no experimento foi de 0,5, com duração de 45 dias. Os reatores foram monitorados através dos parâmetros físico-químicos: DQO, ST, SV, SF, pH, AT, AGV e composição do biogás. Durante o experimento, a produção acumulada de metano em R1 (microaerado) foi de 10.598 mL, apresentando remoção de 82,6% de DQO. Já para R2 (sem aeração), o metano acumulado foi 1.228 mL e remoção 20,8% de DQO. Foi possível evidenciar melhorias na estabilidade operacional do reator sob condições microaeróbias em comparação ao sistema anaeróbio, em especial, pela manutenção do pH do meio, baixos níveis de AGV e maior produção acumulada de metano.

PALAVRAS-CHAVE: Digestão anaeróbia, Biogás, Microaeração, Resíduos sólidos urbanos.

INTRODUÇÃO

O aumento populacional, a rápida urbanização, a economia em expansão e o aumento do padrão de vida nos países em desenvolvimento aceleraram em muito a taxa, a quantidade e a qualidade da geração de resíduos sólidos urbanos. Essa produção tem causado sérios problemas ambientais ao planeta, sobretudo nas nações menos desenvolvidas (REIS, 2012). Nesse contexto, a produção dos resíduos sólidos urbanos é, sem dúvida,

um agravante bastante complexo em sua totalidade, tendo em vista que esses materiais são gerados inevitavelmente das atividades humanas.

A fração orgânica de resíduos sólidos urbanos (FORSU) é um nome comum para misturas heterogêneas de resíduos de áreas residenciais, comerciais, parcialmente industriais e urbanas. É composta de diferentes frações orgânicas e inorgânicas, como alimentos, vegetais, papel, madeira, plástico, vidro, metais e outros materiais inertes. Apesar da variabilidade em sua composição, o conteúdo orgânico constitui a maior porcentagem de resíduos sólidos que podem ser decompostos em compostos mais simples por microrganismos anaeróbios (BILGILI *et al.*, 2009). Este resíduo é de particular interesse para a digestão anaeróbia devido à quantidade elevada de sólidos voláteis (FANTOZZI E BURATTI, 2011).

A digestão anaeróbia apresenta vantagens interessantes em comparação ao tratamento aeróbio tradicional, como a alta capacidade de degradar substratos lentamente degradáveis em altas concentrações, curtos tempos de retenção hidráulica, produção de lodo muito lenta, requisitos de energia limitados e recuperação de energia através da combustão de metano (AGUILAR-GARNICA *et al.*, 2009).

Outras pesquisas que também vem se destacando na atualidade é o uso da técnica da microaeração, caracterizada pela injeção de pequenas quantidades de ar ou oxigênio no interior de sistemas anaeróbios, que pode aumentar a hidrólise de matéria orgânica complexa, oxidar os sulfetos gerados a partir de compostos à base de enxofre presente nos substratos e, até mesmo, ajudar na estabilidade de digestores anaeróbios (JOHANSEN, BAKKE, 2006; HAO *et al.*, 2009; JAGADABHI, KAPARAJU, RINTALA, 2009; DÍAZ, FDZ-POLANCO, 2012).

Contudo, o uso dessa tecnologia agregada à digestão anaeróbia ainda não está, de fato, consolidada. Estudos anteriores sobre os efeitos da microaeração na hidrólise de substratos com maior biodegradabilidade, como FORSU, ainda não foram relatados. Também não está claro se a microaeração terá impacto nos processos bioquímicos, além da hidrólise no processo de digestão anaeróbia. Diante do exposto, este estudo objetivou avaliar a aplicação da microaeração na estabilidade de um sistema anaeróbio para tratamento dos resíduos orgânicos de um restaurante universitário, e, conseqüentemente, avaliar a produção de metano do reator, buscando contribuir com o enriquecimento e solução de problemas enfrentados na tecnologia de aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos.

MATERIAL E MÉTODOS

Substrato

O substrato utilizado nos ensaios foi proveniente do Restaurante Universitário do Campus do Pici na Universidade Federal do Ceará (UFC), composto basicamente por restos dos alimentos servidos em seu refeitório. O resíduo foi coletado periodicamente em sacos plásticos e transportado até o Laboratório de Saneamento (LABOSAN). Os resíduos passaram por uma etapa de pré-tratamento, em que ocorreu a retirada de ossos, plásticos, papel e qualquer matéria indesejada. Posteriormente, para aumentar a superfície de contato e melhorar a hidrólise, os resíduos foram triturados em liquidificador e, posteriormente, diluídos com água.

Inóculo

O reator foi inoculado com lodo anaeróbio proveniente de um reator UASB, da Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE, que tratava esgoto doméstico.

Sistema Experimental

Foram usados dois reatores em batelada que possuíam capacidade total de 9,3 litros, confeccionados em PVC, acrílico e registros de instalações hidráulicas. Os reatores eram compostos por um sistema de agitação contínua do seu meio reacional, um termômetro para acompanhamento diário da temperatura do sistema e três pontos de coleta, dos quais eram retiradas pequenas alíquotas para o monitoramento dos parâmetros físicos e químicos do efluente de cada reator.

A Figura 1 apresenta uma visão geral dos reatores em batelada utilizados na pesquisa.



Figura 1: Sistema em Batelada

Os reatores foram operados em batelada de acordo com os parâmetros descritos na Tabela 1. Foram avaliados um reator microaeróbio (R1) e outro anaeróbio (R2).

Tabela 1: Parâmetros experimentais dos reatores R1 e R2 em regime batelada

Parâmetros	R1	R2
Relação A/M (gDQO _{Subst.} /gSV _{Lodo})	0,5	0,5
TDH (dias)	45	45
Volume útil (L)	9,3	9,3
Microaeração (mL/min)	0,5	0
TDH, tempo de detenção hidráulica.		

Métodos analíticos

Durante o monitoramento do reator, foram realizadas semanalmente três coletas e análises físico-químicas do efluente dos reatores, possibilitando, assim, a avaliação do seu desempenho.

DQO, sólidos totais, sólidos voláteis, sólidos fixos, pH, ácidos graxos voláteis e alcalinidade foram analisados segundo o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

A caracterização do biogás foi realizada em termos de ar ($O_2 + N_2$), CO_2 e CH_4 , por cromatografia gasosa com detecção por condutividade térmica (GC-TCD, *gas chromatography-thermal conductivity detection*) (GC-17A, Shimadzu Corporation, Japão) de acordo com Firmino (2013). Para a determinação das concentrações de H_2S (g), NH_3 (g) e O_2 (g) foi utilizado um medidor individual de gases (Dräger X-am® 5600, Drägerwerk AG & Co. KGaA, Alemanha) conforme Sousa (2016). Todas as análises foram realizadas três vezes por semana.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 2 e 3, estão apresentadas as variações de pH, concentrações dos ácidos graxos voláteis (AGV) e a alcalinidade total dos reatores R1 e R2 durante o experimento em batelada.

Para os valores de pH, a média obtida em R1 foi de 6,98, mantendo-se próximo da neutralidade, faixa ideal para a atividade metabólica das arqueias metanogênicas. Já para R2, a média de pH foi de 5,97, indicando uma queda significativa por volta do vigésimo nono dia de operação, como pode ser observado na Figura 2.

Comparando os dados de pH dos dois reatores, percebeu-se que a variação do pH do reator microaeróbio (R1) foi menor, isso pode ser atribuído ao efeito da microaeração aplicada ao sistema. Botheju *et al.*, (2010a) também observaram uma queda inicial de pH em um reator anaeróbio comparado com o microaerado. Simon (2003) descreveu que a microaeração reduz consideravelmente a acumulação de AGVs evitando a acidificação dos reatores, resultando numa melhor fase metanogênica. Além disso, acrescentou que quando a microaeração não foi utilizada, o pH caiu para um valor inferior de 5,2, em um reator tratando resíduos sólido orgânicos.

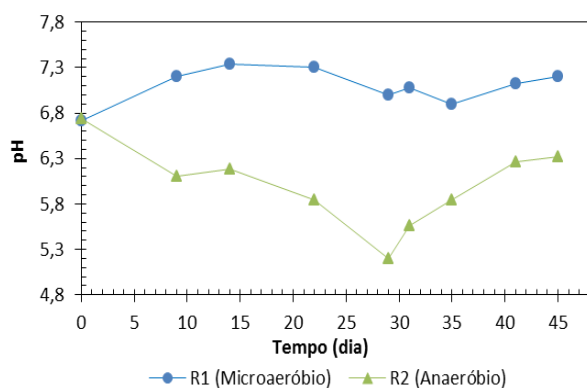


Figura 2: Variação temporal do pH nos reatores

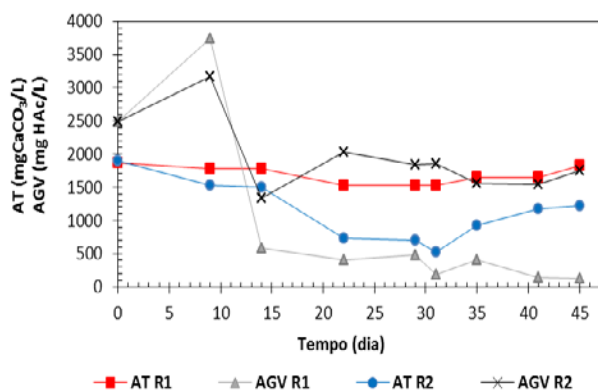


Figura 3: Variação temporal de AT e AGV

A queda do pH na digestão anaeróbia pode ser ocasionada pelo acúmulo de intermediários (AGVs) e a falta de tamponamento do sistema para compensar a produção desses ácidos. As médias obtidas de AGVs e AT nos reatores R1 e R2 durante o experimento estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 1: Concentrações médias, e desvio padrão dos dados obtidos de AGV e AT dos reatores R1 e R2

		Reatores	
		R1	R2
AGV	mgHAc/L	950,94	1951,80
		(127,96)	(563,40)
AT	mgCaCO ₂ /L	1680,56	1133,33
		(137,37)	(454,66)

O desvio padrão é exibido entre parênteses.

De acordo com Figura 3, foi possível identificar um acúmulo de AGV em R2, quando comparado com R1. Isso pode ser indicativo de desequilíbrio na taxa de produção e consumo dos intermediários da biodigestão. Hasegawa *et al.*, (2000) também notaram em seus experimentos que o acúmulo de AGVs foi significativamente maior para a baixa taxa de aeração comparado com a alta aeração.

Já para R1, percebeu-se que a taxa de consumo dos AGVs foi maior, identificado pela maior produção de metano. Ao estudar os efeitos da pré-aeração sobre a digestão anaeróbia termofílica da FORSU, Charles *et al.*, (2009) observaram aumento da atividade enzimática relacionados com a celulase e protease durante o pré-período de microaeração, e foram observadas reduções drásticas de AGV e DQO solúvel. Os trabalhos de Botheju *et al.*, (2010b) e Johansen e Bakke (2006) também obtiveram resultados semelhantes sobre o efeito da aeração na digestão anaeróbia.

Também pode ser observado que, após 15 dias de operação, o aumento da concentração de AGVs provocou a queda do pH e da AT no reator R2. Possivelmente, isso motivou a baixa produção de metano no reator anaeróbio, já que as atividades metabólicas das arqueias metanogênicas (microrganismos responsáveis pela produção de metano) são comprometidas em ambientes com pH abaixo de 6,5 (RIUJI, 2009).

Nas Figuras 4 e 5 estão descritas a produção diária e acumulada de metano no reator microaeróbio (R1) e anaeróbio (R2) durante o experimento em batelada. É possível verificar que a produção de metano no reator R1 (com microaeração) foi maior que no R2 (sem aeração).

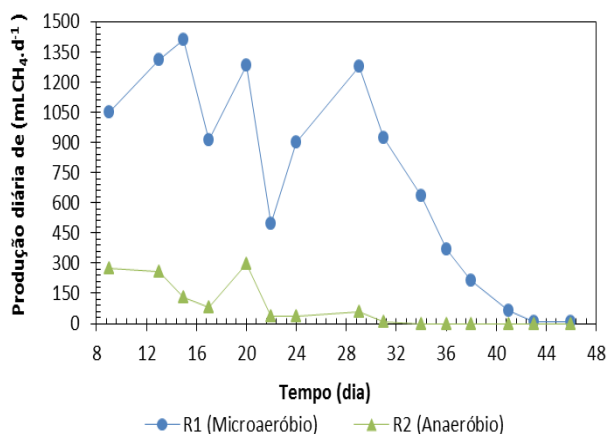


Figura 4: Produção diária de metano

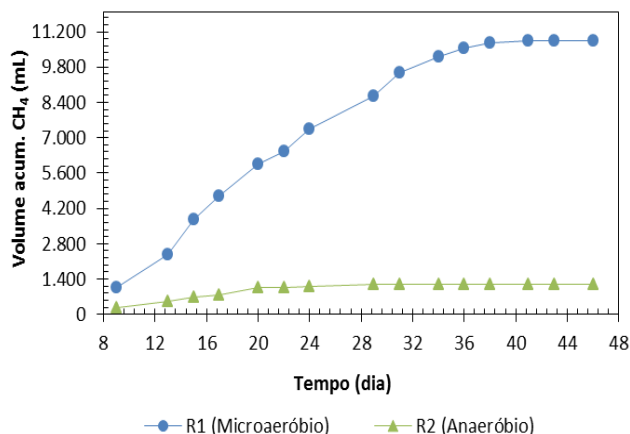


Figura 5: Volume acumulado de metano

As produções médias diárias de metano para R1 e R2 foram de 757 e 88 mL/dia e com volumes acumulados de 10.598 e 1.228 mL, respectivamente. Isso pode ser atribuído ao fato de que o reator microaeróbio apresentou maior estabilidade operacional, e suas condições de pH e AGV contribuíram para a maior produção de metano a partir dos restos de comida como substrato. Pirt e Lee (1983) observaram que pequenas quantidades de oxigênio aumentaram a digestão anaeróbia da biomassa de algas em reatores em batelada. Eles relataram que reatores microaerados com ar, produziam biogás mais rápido. Gerritse *et al.*, (1990) também descrevem um aumento de cerca de 20% na produção de metano com o uso da microaeração.

Para R2, notou-se que a produção de metano foi significativamente afetada pelos baixos níveis de pH, e, certamente, isso provocou o acúmulo de AGV no sistema, culminando na menor estabilidade operacional. Visto que, por volta do vigésimo dia de operação, o pH do meio se encontrava em torno de 5,8, provocando a diminuição da atividade das arqueias metanogênicas, que são sensíveis a essa faixa de pH, e, consequentemente, levou à queda da produção de metano.

A concentração de DQO inicial nos reatores em batelada foi de aproximadamente 5.000 mg/L. A eficiência de remoção da DQO do efluente para R1 chegou a 82,6%, já para R2, a remoção foi 20,8%. Como discutido anteriormente, a acidificação do reator R2 ocasionou a ineficiência da conversão biológica da matéria orgânica. Johansen e Bakke (2006) obtiveram um melhoramento de 50% da hidrólise de compostos orgânicos. Já Charles *et al.*, (2009) observaram o aumento da atividade enzimática relacionada à celulase e protease (duas enzimas hidrolíticas) e reduções drásticas de AGVs e DQO solúvel durante o período de microaeração.

A temperatura no interior dos reatores teve pequena variação ao longo do período experimental. A máxima temperatura registrada foi 29 e 28,9 °C para R1 e R2, respectivamente. A temperatura mínima no interior do reator foi de 27, 27,8 °C para R1 e R2, respectivamente, como mostrado na Figura 6.

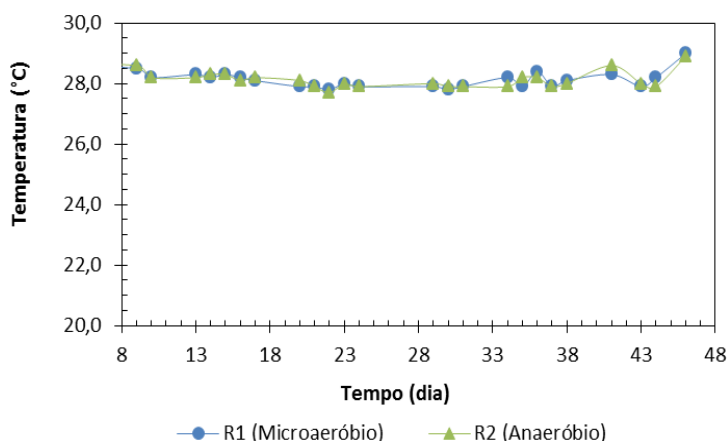


Figura 61: Variação da temperatura dos reatores R1 e R2 em batelada

Como pode ser observado, não houve grandes variações de temperatura em ambos reatores, e a média obtida para R1 e R2 foi de 28 °C. De acordo com Metcalf e Eddy (2004), o experimento ocorreu em faixa mesofílica (20 a 45 °C). Geralmente a digestão anaeróbia ocorre em condições mesofílicas, pois há mais estabilidade no processo e menores gastos energéticos. Contudo, Khalid et al., (2011) consideram uma faixa de temperatura entre 35 e 37 °C adequada para a produção de metano.

CONCLUSÃO

A partir da caracterização físico-química dos resíduos coletados do restaurante universitário, em especial: relação C/N e teor de ST e SV, verificou-se relações favoráveis à aplicação da digestão anaeróbia com opção de tratamento e produção de metano.

Os resultados mostraram que o lodo de inóculo oriundo de reator UASB tratando esgoto doméstico apresentou rápida adaptação aos resíduos de comida, produzindo biogás com mais de 50% de metano.

Através do experimento em batelada, foi possível evidenciar melhorias na estabilidade operacional do reator sob condições microaeradas, em especial, pela manutenção do pH do meio, baixos níveis de AGV e maior produção acumulada de metano.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará através do Edital PROINFRA-2017.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUILAR-GARNICA E., DOCHAIN D., ALCARAZ-GONZÁLEZ V., GONZÁLEZ-ÁLVAREZ V. A multivariable control scheme in a two-stage anaerobic digestion system described by partial differential equations. J. Process Control, 19, pp. 1324-1332. 2009.
2. APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22a. ed. Washington: American Public Health Association. 2012.
3. BILGILI M., DEMIR A., VARANK G. Evaluation and modeling of biochemical methane potential (BMP) of landfilled solid waste: a pilot scale study. Bioresour. Technol., 100, pp. 4976-4980. 2009.
4. BOTHEJU, D.; BAKKE, R. Bio-gasification under partially aerated conditions; Results from batch experiments, Submitted Manuscript to the proceedings of the Linnaeus Eco-Tech'10, The 7th International Conference on the Establishment of Cooperation Between Companies and Institutions in the Nordic Countries, the Baltic Sea Region, and the World, Kalmar, Sweden, 2010.

5. CHARLES, W.; WALKER, L.; CORD-RUWISCH, R. Effect of preaeration and inoculum on the start-up of batch thermophilic anaerobic digestion of municipal solid waste, *Bioresource Technology*, v. 100, p. 2329-2335, 2009.
6. DÍAZ, I.; FDZ-POLANCO, M. Robustness of the microaerobic removal of hydrogen sulfide from biogás, *Water Science & Technology*, v. 65, n. 8, p. 1368-1374, 2012.
7. FANTOZZI, F.; BURATTI, C. Anaerobic digestion of mechanically treated OFMSW: experimental data on biogas/methane production and residues characterization. *Bioresour. Technol.*, 102, pp. 8885-8892. 2011.
8. FIRMINO, P. I. M. Tratamento anaeróbio e microaeróbio de águas sintéticas contaminadas com BTEX. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, p. 168, 2013.
9. GERRITSE, J.; SCHUT, F.; GOTTSCHAL, J. C. Mixed chemostat cultures of obligately aerobic and fermentative or methanogenic bacteria grown under oxygen-limiting conditions, *FEMS Microbiology Letters*, v. 66, p. 87-94, 1990.
10. HAO, L.; HE, P. J.; LU, F.; SHAO, L.; ZHU, M. Regulating the hydrolysis of organic waste by microaeration and effluent recirculation, *Waste Management*, v. 29, p. 2042-2050, 2009.
11. HASEGAWA, S.; SHIOTA, N.; KATSURA, K.; AKASHI, A. Solubilization of organic sludge by thermophilic aerobic bacteria as a pretreatment for anaerobic digestion, *Water Science and Technology*, v. 41, n. 3, p. 163-169, 2000.
12. JAGADABHI, P. S.; KAPARAJU, P.; RINTALA, J. Effect of microaeration and leachate replacement on COD solubilization and VFA production during mono-digestion of grass-silage in one-stage leach-bed reactors, *Bioresource Technology*, vol. 101, p. 2818-2824, 2009.
13. JOHANSEN, J. E.; BAKKE, R. Enhancing hydrolysis with microaeration, *Water Science and Technology*, v. 53, n. 8, p. 43-50, 2006.
14. KHALID, A.; ARSHAD, M.; ANJUM, M.; MAHMOOD, T.; DAWSON, L. The anaerobic digestion of solid organic waste. *Waste Management*, v.31, p.1737–1744, 2011.
15. METCALF e EDDY. *Wastewater engineering: treatment and reuse*. 4 ed. New York: McGraw-Hill, p. 1819, 2004.
16. PIRT, S. J.; LEE, Y. K. Enhancement of methanogenesis by traces of oxygen in bacterial digestion of biomass, *FEMS Microbiology Letters*, v. 18, p. 61-63, 1983.
17. REIS, A. S. Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbio. 2012. 63f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Caruarú, 2012.
18. RIUJI, L. C. Research on anaerobic digestion of organic solid waste at household level in Dar Es Salaam, Tanzania. 2009, 71f. (Bachelor Thesis), Zurich University of Applied Sciences in collaboration with EAWAG (Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology), 2009.
19. SIMON, M. A new approach to produce soil conditioner and biogas from organic waste, *A környezetkímélő, gazdaságos napraforgótermesztés feltételrendszere az EU-ban*. Agroforum, 2003.
20. SOUSA, M. R. Análise integrada da tecnologia microaeróbia como estratégia de dessulfurização in-situ. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, p. 152, 2016.