



## Estudo do potencial para geração de energia a partir dos efluentes sanitários gerados no Centro Universitário Cesmact

### Study of the potential for energy generation from sanitary effluents generated at Centro Universitário Cesmact

Mayco Sullivan Araujo de Santana<sup>(1)</sup>; Esterphany Cerqueira de Carvalho<sup>(2)</sup>;  
Karine Sampaio de Andrade<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup>ORCID: 0000-0002-8624-107X. Professor do departamento de engenharia e arquitetura do Centro Universitário CESMAC; Maceió, Alagoas;; mayco.sullivan\_@hotmail.com

<sup>(2)</sup>ORCID: 0000-0002-6566-5885. Doutoranda em Geotecnia Ambiental; Universidade Federal de Pernambuco – UFPE;; esterphanycerqueira28@hotmail.com

<sup>(3)</sup>ORCID: 0000-0002-1438-0302 Arquiteta; Estudante de engenharia no Centro Universitário CESMAC; karinesampaio9@gmail.com.

Todo o conteúdo expresso neste artigo é de inteira responsabilidade dos seus autores.

Recebido em: 25 de março 2020; Aceito em: 08 de julho de 2020; publicado em 10 de 10 de 2020. Copyright© Autor, 2020.

**RESUMO:** Estações de tratamento de esgoto são um dos responsáveis pela produção de biogás, que, quando emitido descontroladamente, pode causar graves problemas ambientais, pois sua composição é formada principalmente por gás metano e dióxido de carbono. Uma das formas mais promissoras de aproveitamento desse biogás é a produção de energia elétrica, térmica ou mecânica. Esta pesquisa tem como proposta realizar um levantamento do potencial energético dos efluentes sanitários gerados no Centro Universitário – CESMAC. Foram realizados cálculos para a estimativa do de gás metano contabilizando suas perdas durante o processo de tratamento anaeróbico e potências geradas para geração de energia elétrica. Verificou-se que o potencial de produção real de metano foi de 139,54 m<sup>3</sup>/dia e potência de 315,98 kWh/dia que equivale a 9.611,06 kWh/mês ou 115.332,70 kWh/ano. Estes valores seriam suficientes para fornecimento de energia para operar até 91 computadores por dia, uma vez que cada computador necessita de 130 watts por hora. Além de possibilidade de atendimento de alunos e funcionários, pode-se ganhar créditos revertendo a energia elétrica gerada na rede de distribuição através do sistema de compensação de energia elétrica. Alternativas energéticas através de fontes renováveis de energia, com o objetivo de diminuir a dependência de combustíveis fósseis, além de encontrar soluções ambientalmente sustentáveis para ampliar a matriz energética dos países e reduzir os impactos globais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Potencial energético. Biogás. Sustentabilidade.

**ABSTRACT:** Sewage treatment plants are responsible for the production of biogas, which, when emitted uncontrollably, can cause serious environmental problems, as its composition is formed mainly by methane gas and carbon dioxide. One of the most promising ways of using this biogas is the production of electrical, thermal or mechanical energy. This research has as proposal to carry out a survey of the energetic potential of the sanitary effluents generated in the University Center - CESMAC. Calculations were performed to estimate methane gas, accounting for its losses during the anaerobic treatment process and the power generated for generating electricity. It was found that the real methane production potential was 139.54 m<sup>3</sup> / day and a power of 315.98 kWh / day, which is equivalent to 9,611.06 kWh / month or 115,332.70 kWh / year. These values would be sufficient to supply power to operate up to 91 computers per day, since each computer requires 130 watts per hour. In addition to the possibility of attending students and employees, credits can be earned by reversing the electricity generated in the distribution network through the electricity compensation system. Energy alternatives through renewable energy sources, with the aim of reducing dependence on fossil fuels, in addition to finding environmentally sustainable solutions to expand the countries' energy matrix and reduce global impacts.

**KEYWORDS:** Energetic potential. Biogas. Sustainability.

## INTRODUÇÃO

Preocupações crescentes com segurança energética, impactos ambientais e aumento do custo de energia para o tratamento de águas residuais restabeleceram o processo de digestão anaeróbica como uma das principais tecnologia de produção de energia renovável (MARAGKAKI, A. E. et al., 2018).

O biogás produzido a partir da digestão do lodo de esgoto é particularmente útil devido à sua composição estável, contendo uma alta fração de metano e um baixo nível de enxofre (MARECHAL et al., 2004).

O biogás é uma mistura gasosa, resultante do processo de digestão anaeróbia da matéria orgânica, e é constituído principalmente por metano e dióxido de carbono, com quantidades menores de hidrogênio sulfeto, amônia e vapor de água com traços de hidrogênio e amônia (SALOMON e LORA, 2005; HARYANTO et al., 2018).

Esses gases constituem os chamados GEE – Gases de Efeito Estufa, que “são capazes de reter o calor do sol [...]. O efeito estufa é um fenômeno que ocorre de forma natural na atmosfera. Os GEE são essenciais, portanto, para manter a temperatura necessária para a existência de vida no planeta” (SILVA; CAMPOS, 2008, p. 88).

A utilização do biogás como combustível para geração de energia elétrica não apenas aproveita de forma sustentável este subproduto da disposição dos resíduos sólidos, como também evita que o gás metano (CH<sub>4</sub>) nele contido seja emitido para a atmosfera (MENEZES, 2016).

A digestão anaeróbica, é um processo de estabilização biológica complexa no qual um consórcio de microrganismos, na ausência de oxigênio molecular, promove a transformação de compostos orgânicos complexos em produtos mais simples como metano e gás carbônico (CASSINI, 2003).

A digestão anaeróbica tem sido aplicada com sucesso no tratamento de efluentes industriais e domésticos, estabilização de lodo de efluentes, manejo de aterros e reciclagem de resíduos biológicos e agrícolas como fertilizantes orgânicos. Além disso, cada vez mais os processos de digestão anaeróbica estão sendo usados para degradação de poluentes orgânicos pesados como os organoclorados ou materiais resistentes ao tratamento aeróbico (METCALF & EDDY, 2003).

O processo de digestão anaeróbia pode ser dividido em quatro fases: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (SPERLING, 1996).

Vários trabalhos relatam os benefícios econômicos da utilização de biogás na geração de energia. Menezes (2016) avaliou o potencial energético do biogás de uma estação de tratamento de esgoto, em um condomínio residencial de baixa renda, e através desta avaliação, verificou a necessidade de demanda energética das áreas comuns do empreendimento e realizou a análise de viabilidade econômica da reutilização do biogás em forma de energia elétrica, para o empreendimento ou para a concessionária elétrica local.

Estudo de caso realizado por Coelho et al., (2006) referente a duas metas do projeto PUREFA (Programa de Uso Racional de Energia e Fontes Alternativas), contendo a discussão dos resultados provenientes das análises da composição química do esgoto, do biogás e dos gases de exaustão, além da descrição dos sistemas de tratamento e de armazenamento do biogás, assim como o sistema proposto para converter o biogás em energia elétrica, utilizando um conjunto motor-gerador ciclo Otto.

Bilotta e Ross (2016) quantificou a energia fornecida pelo biogás gerado em uma estação de tratamento de esgotos (ETE) e estimou a emissão evitada de gases de efeito estufa (GEEs) com a recuperação do biogás. A ETE analisada apresentou vazão de 33.220,8 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup> e DQO afluente 14.617,1 kg.d<sup>-1</sup> e com capacidade de atender a cerca de 190.000 habitantes.

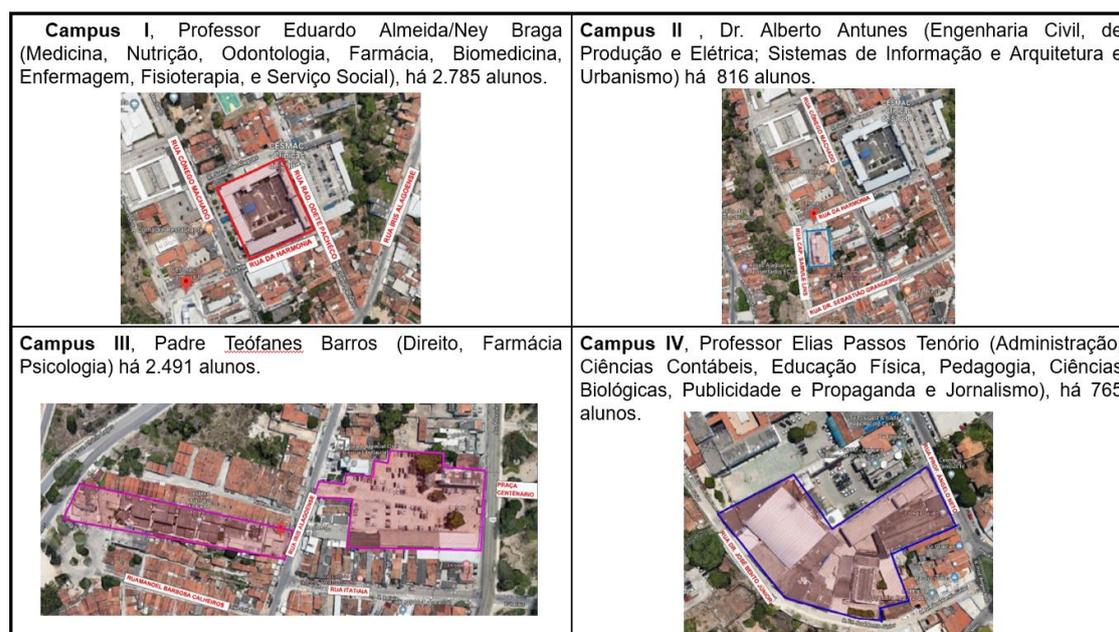
O tratamento anaeróbico é influenciado por vários fatores, como: a temperatura, a carga orgânica bruta e a presença de materiais inibidores. Quanto maior for a temperatura, mais veloz será a digestão anaeróbica microbiana, sendo então, mais eficiente nesse estado (CASSINI, 2003; HEBERLE, 2013). Por meio do subproduto da biodigestão anaeróbica dos resíduos, o biogás gerado pode ser usado como fonte de energia, devido ao poder calorífico do metano (HEBERLE, 2013).

Tendo em vista todos esses aspectos, faz-se necessário o desenvolvimento da presente pesquisa, tendo como objetivo a realização de um levantamento do potencial energético dos efluentes sanitários gerados no CESMAC, para posterior aproveitamento, minimização dos impactos ambientais e desenvolvimento sustentável.

## PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

O Centro Universitário CESMAC foi fundado em 1973. Em 2012, houve migração para o sistema MEC (Ministério da Educação), transformando-se em um sistema federal de educação superior. Hoje, o CESMAC está presente em várias cidades do estado de Alagoas: Maceió (distribuídos em quatro campus); Palmeira dos Índios, Marechal Deodoro e Arapiraca. A pesquisa se atentou aos campos da cidade de Maceió que destinam seus efluentes para tratamento em uma estação de tratamento. A Figura 1 apresenta a disposição dos campos analisados.

Figura 1: Campos do Centro Universitário CESMAC



Para o cálculo da produção de gás metano será seguido o passo a passo apresentado na Tabela 1 a seguir, seguindo as metodologias de Sperling (1997), Lobato (2011), Zilotti (2012) e Bilotta (2014).

Tabela 1: Equações de cálculo da produção de gás metano.

Parâmetro	Equações	Variáveis
Vazão per capita média de esgoto	$Q_{med} = \frac{Q_{pc} \times r \times Pop}{1000}$	$Q_{med}$ – vazão média de esgoto; r = coeficiente de retorno = 0,8; $Q_{pc}$ – Consumo per capita de água; Pop – n° de habitantes
Estimativa da massa diária de DQO removida no sistema	$R_{DQO}^{rem} = \frac{Pop \times QPC_{DQO} \times E_{DQO}}{100}$	Pop – n° de habitantes; $QPC_{DQO}$ – Contribuição per capita de DQO; $E_{DQO}$ – Eficiência de remoção de DQO (%);
Estimativa da massa diária de DQO utilizada pela biomassa	$R_{DQO}^{lodo} = R_{DQO}^{rem} \times Y \times K_{sólidos}$	$R_{DQO}$ – carga diária de DQO removida no sistema; Y – coeficiente de produção de sólidos no sistema $K_{sólidos}$ – fator de conversão de STV em DQO;
Estimativa da carga de sulfato convertida em sulfeto	$R_{SO4}^{con} = \frac{Q_{med} \times C_{SO4} \times E_{SO4}}{100}$	$Q_{med}$ – Vazão média de esgoto; $C_{SO4}$ – Concentração média de $SO_4$ no afluente; $E_{SO4}$ – eficiência de redução de sulfato;
Estimativa da massa diária de DQO	$R_{DQO}^{SO4} = R_{SO4}^{con} \times K_{DQO}^{SO4}$	$K_{SO4DQO}$ – DQO consumida na redução de sulfato; $R_{conSO4}$ – Carga de $SO_4$ convertida em sulfeto
Estimativa da massa diária de DQO	$R_{DQO}^{CH4} = R_{DQO}^{rem} - R_{DQO}^{rem} - R_{DQO}^{lodo} - R_{DQO}^{SO4}$	$R_{DQO}$ – Carga diária de DQO removida no sistema; $R_{lodoDQO}$ – Carga diária de DQO convertida em biomassa; $K_{SO4DQO}$ – DQO consumida na redução de sulfato
Estimativa da quantidade diária de metano	$Q_{CH4} = \frac{R_{DQO}^{CH4} \times R \times (273 + T)}{P \times K_{DQO} \times 1000}$	$R_{CH4DQO}$ – Carga diária de DQO convertida em metano; R – Constante dos Gases (0,08206); T – Temperatura operacional na ETE; P – pressão atmosférica; $K_{DQO}$ – DQO correspondente a um mol de $CH_4$ ;
Perda de metano na fase gasosa, com o gás residual	$Q_{CH4}^w = Q_{CH4} \times P_w$	$Q_{CH4}$ – Produção teórica de metano; $P_w$ – percentual de perda de metano na fase gasosa;
Outras perdas de metano	$Q_{CH4}^o = Q_{CH4} \times P_o$	$Q_{CH4}$ – Produção teórica de metano; $P_o$ – percentual de outras perdas de metano na fase gasosa;
Perda de metano na fase líquida	$Q_{CH4}^L = Q_{med} \times P_l \times f_{ch4} \times \frac{R \times (273 + T)}{P \times K_{DQO} \times 1000}$	pL – perda de metano dissolvida no efluente; $f_{CH4}$ – coeficiente estequiométrico; R – constante dos gases; T – temperatura operacional; R – constante dos gases; P – pressão atmosférica; $K_{DQO}$ – DQO correspondente a um mol de $CH_4$ .
Produção real de metano	$Q_{real} = Q_{CH4} - (Q_{CH4}^w + Q_{CH4}^o + Q_{CH4}^L)$	

Para conversão energética de biogás em kWh/m<sup>3</sup> será utilizado a Equação a seguir, que transforma diretamente energia por metro cúbico de biogás.

$$P_{cid} = PE \times P_{CL} \times K$$

$P_{Cid}$  = Potencial Calorífico Inferior disponível [kWh m<sup>-3</sup>];

PE = Peso Específico [kg N<sup>-1</sup> m<sup>-3</sup>];

$P_{CL}$  = Potencial calorífico inferior [kcal kg<sup>-1</sup>];

K = 4,19 kWh/3600. Constante de conversão entre kcal→kJoules→kwh.

As principais variáveis necessárias para se estimar a produção de metano e o potencial energético obtidos estão descritas na Tabela 2:

**Tabela 2:** Premissas adotadas para estimativa de produção de biogás e potencial energético.

Parâmetro	Valor	Unidades	Referências
Consumo de água	50	l hab <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	-
Contribuição média de esgoto	322,4	m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup>	-
População contribuinte (Pop)	8060	Hab	-
Contribuição per capita de DQO (QPCDQO)	0,10	kg DQO hab <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	Von Sperling e Chernicharo (2005)
Eficiência de remoção de DQO	70	%	Von Sperling e Chernicharo (2005)
Coefficiente de produção de sólidos (Y)	0,15	-	Lobato, Chernicharo e Souza(2011)
Fator de conversão de STV em DQO (ksólidos)	1,42		Lobato, Chernicharo e Souza(2011)
Concentração de SO <sub>4</sub> no afluente (CSO <sub>4</sub> )	0,06	kg SO <sub>4</sub> m <sup>-3</sup>	Metcalf & Eddy (20013)
Eficiência de redução de sulfato (ESO <sub>4</sub> )	75	%	Souza (2010)
DQO consumida na redução de sulfato (KDQO)	0,6670	kgDQO/kgSO <sub>4</sub>	Eller (2013)
Temperatura operacional do reator (T)	25	°C	Von Sperling e Chernicharo (2005)
Perda de CH <sub>4</sub> na fase gasosa (pw)	5	%	Lobato, Chernicharo e Souza(2011)
Outras perdas de CH <sub>4</sub> na fase gasosa (p0)	5	%	Lobato, Chernicharo e Souza(2011)
Perda de CH <sub>4</sub> dissolvido no efluente (pL)	0,02	Kg.m <sup>-3</sup>	Lobato, Chernicharo e Souza (2011)
Percentual de CH <sub>4</sub> no biogás (CCH <sub>4</sub> )	65	%	Lobato, Chernicharo e Souza( 2011)

Energia calorífica decorrente da combustão do CH <sub>4</sub>	35,9	MJ/Nm <sup>3</sup>	Lobato (2011) e Eller (2013)
Peso específico do CH <sub>4</sub> (PE)	1,15	kg/Nm <sup>3</sup>	Lobato (2011) e Eller (2013)
Poder calorífico inferior do CH <sub>4</sub> (PCI)	4.831,1	Kcal/Kg	-

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Estimativa de Produção de Metano

O CESMAC é formado por 1.200 colaboradores e somado a quantidade alunos, há aproximadamente 8.060 usuários distribuídos nos prédios de ensino. Segundo a NBR 13969 a contribuição diária de dejetos e de carga orgânica em escolas (externatos) e locais de longa permanência é de 50 litros/dia por pessoa.

Utilizando as premissas adotadas e as equações vistas na metodologia, obteve-se os resultados expressos na tabela 3 a seguir:

**Tabela 3** – Resultados da estimativa de metano.

Variável	Valor obtido	Unidades
Estimativa da massa diária de DQO removida no Sistema	564,20	kgDQO dia <sup>-1</sup>
Estimativa da massa diária de DQO utilizada pela Biomassa	120,17	kgDQO lodo dia <sup>-1</sup>
Estimativa da carga de sulfato convertida em sulfeto	14,508	kg SO <sub>4</sub> dia <sup>-1</sup>
Estimativa da massa diária de DQO utilizada na redução de sulfato	9,676	kgDQO SO <sub>4</sub> dia <sup>-1</sup>
Estimativa da massa diária de DQO convertida em metano	434,354	kgDQO CH <sub>4</sub> dia <sup>-1</sup>
Estimativa da quantidade diária de metano produzida	165,96	m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup>
Estimativa das perdas de metano na fase gasosa, como gás residual.	8,29	m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup>
Estimativa de outras perdas de metano na fase gasosa (vazamentos, purgas de condensado, etc)	8,29	m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup>
Estimativa das perdas de metano na fase líquida, dissolvido no efluente.	9,85	m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup>
Estimativa da produção real de metano	139,54	m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup>

## Conversão Energética

Utilizando os valores encontrados na estimativa de metano obteve-se o seguinte resultado:

$$\text{Poder calorífico disponível de CH}_4 = 6,47 \text{ kWhm}^{-3}$$

Considerando uma eficiência na geração de energia de 35%, uma vez que a eficiência de geração de energia elétrica varia numa faixa entre 33 e 36%, tem-se uma potência efetiva de 315,98 kWh/dia.

Diante de muitos problemas ambientais e esgotamentos de fontes naturais, a população ao mesmo tempo que necessita da matéria prima também deve procurar formas de amenizar a extração ou até substituir totalmente esse material.

O esgoto sanitário não tratado é um grande poluidor do meio ambiente. O tratamento desse material além de tornar o efluente menos poluidor é transformado em fonte de energia.

O fluxo de pessoas nos prédios do CESMAC é grande e são utilizados durante os três turnos. Por um lado, o custo de energia é alto e por outro, a capacidade de gerar energia sustentável através de efluentes sanitários também é alta.

A estimativa da produção real de metano foi de 139,54 m<sup>3</sup>/dia o que forneceu um poder calorífico de 6,47 kWh/m<sup>3</sup> e considerando uma eficiência na geração de energia de 35% tem-se uma potência de 315,98 kWh/dia que equivale a 9.611,06 kWh/mês ou 115.332,70 kWh/ano.

Estes valores seriam suficientes para fornecimento de energia para operar até 91 computadores por dia, uma vez que cada computador necessita de 130 watts por hora.

## CONCLUSÃO

O aproveitamento energético do biogás objetiva a melhoria do desempenho global do tratamento do esgoto, reduzindo a emissão de gases efeito estufa, colaborando para aumentar a eficiência energética da estação de tratamento e, conseqüentemente, a viabilidade do saneamento básico no País.

O uso do biogás deve ser tratado além do que interesse econômico, visando também a proteção do meio ambiente, pois além de ser utilizado como fonte de energia, evita a emissão de gás metano (altamente poluidor) para a atmosfera.

Baseado na população que utiliza os prédios, conclui-se que o potencial de produção real de metano foi de 139,54 m<sup>3</sup>/dia e potência de 315,98 kWh/dia que equivale a 9.611,06 kWh/mês ou 115.332,70 kWh/ano, o que seria suficiente para abastecimento elétrico de computadores, retroprojetores e demais equipamentos na instituição.

Com esses dados é possível confirmar que há potencial energético para aproveitamento do biogás gerado pelos efluentes do Centro Universitário Cesmac, gerando benefícios econômicos e ambientais para a empresa, para o meio ambiente e para a sociedade. Porém a falta de incentivo público e custo de implementação ainda elevado dificultando a real aplicação do sistema de tratamento dos efluentes.

É essencial a continuação de pesquisas, demonstrativos e incentivos às empresas privadas e públicas, para que projetos sejam implantados em ampla escala.

Os autores sugerem ainda um estudo econômico para identificar o investimento necessário para a implantação do sistema de aproveitamento do biogás na geração de energia elétrica e o tempo de retorno desse investimento, considerando despesas (aquisição de tecnologias) e receita (redução do consumo de energia).

## REFERÊNCIAS

1. BILOTTA, P. *Determinação da capacidade de geração de energia da estação de tratamento de esgotos Santa Quitéria em Curitiba/PR a partir do Biogás*. Especialização em projetos sustentáveis, Mudança climáticas e Gestão corporativa de carbono do Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná. 2014
2. BILOTTA, P.; ROSS, B. Z. Leite. *Estimativa de geração de energia e emissão evitada de gás de efeito estufa na recuperação de biogás produzido em estação de tratamento de esgotos*. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 21, n. 2, p. 275-282, 2016.

3. CASSINI, ST, VOZOLLER, R., & PINTO, M. (2003). *Digestão de resíduos orgânicos e aproveitamento do biogás*. Rio de Janeiro: ABES / Rima.
4. COELHO, Suani Teixeira et al. *Geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto*. Proceedings of the 6. Encontro de Energia no Meio Rural, 2006.
5. CHERNICHARO, C.A.L.; SOUZA, C.L.; LOBATO, L.C.S. *Estimativa de perdas metano e de potencial de recuperação de energia em reatores UASB tratando esgoto doméstico*. Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011.
6. ELLER, C.M.; *Caracterização dos compostos traços influentes no aproveitamento energético do biogás gerado em reator UASB no tratamento de esgoto doméstico*. Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental. Universidades Federal do Espírito Santo-Vitória. 2013.
7. HARYANTO, A.; HASANUDIN, U.; CHANDRA, A.; ISKANDAR, Z. *Biogas production from anaerobic codigestion of cowdung and elephant grass (Pennisetum purpureum) using batch digester*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v. 141, 2018.
8. HEBERLE, Alan Nelson Arenhardt. *Biogás gerado a partir de lodo de estação de tratamento de efluentes suplementado com óleo vegetal residual*. Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, nov. 2013.
9. LOBATO, L.C.S. *Aproveitamento energético de biogás gerado em reatores UASB esgoto doméstico*. 187f. Tese (Doutorado em Saneamento. Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2011.
10. MARAGKAKI, A. E. et al. *Improving biogas production from anaerobic co-digestion of sewage sludge with a thermal dried mixture of food waste, cheese whey and olive mill wastewater*. Waste management, v. 71, p. 644-651, 2018.
11. MARÉCHAL, F. et al. *Process flow model of solid oxide fuel cell system supplied with sewage biogas*. Journal of power sources, v. 131, n. 1-2, p. 127-141, 2004.
12. MENEZES, M. Beuttenmuller Castro de et al. *Aproveitamento dos efluentes domésticos para geração de energia em condomínios residenciais de baixa renda*. 2016.

13. METCALF & EDDY inc. *Wastewater Engineering: Treatment and reuse*. 4<sup>th</sup> edition, McGraw Hill, New York, 2003.
14. SALOMON, K. R.; LORA, E. E. S. *Estimativa do potencial de geração de energia elétrica para diferentes fontes de biogás no Brasil*. *Biomassa & Energia*, v. 2, n. 1, p. 57-67, 2005.
15. SILVA, T. N.; CAMPOS, L. M. S. *Avaliação da Produção e Qualidade do Gás de Aterro para Energia no Aterro Sanitário dos Bandeirantes – SP*. *Eng. sanit. ambient*. Vol. 13 N° 1. jan/mar. 2008, 88-96.
16. VON SPERLING, M. *Princípios básicos do tratamento de esgoto*. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.
17. VON SPERLING, M.; CHERNICHARP, C.A.L. *Biological wastewater treatment in warm climate regions*. Two volumes. IWA Publishing. London, 2005.
18. ZILOTTI, H.A.R. *Potencial de Produção de Biogás em uma Estação de Tratamento de Esgoto de Cascavel para Geração de Energia Elétrica*. Programa de pós-graduação Stricto Sensu em Energia na Agricultura. Universidade Estadual do Oeste do Paraná- UNIOESTE, Paraná, 2012.