

Potencial energético de reator UAHB tratando esgoto sanitário em diferentes temperaturas

Potential energy of HUASB treating domestic sewage at different temperatures

RESUMO

Fernanda de Almeida Leon
fernandaleon@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Fernando Hermes Passig
fhpassig@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

José Gustavo Venâncio da Silva Ramos
gustavoramos848@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Karina Querne de Carvalho
kaquerne@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Devido à importância em se buscar fontes de energias renováveis, este trabalho foi desenvolvido utilizando um reator anaeróbio híbrido (UAHB), constituído de manto móvel na parte inferior e filtro anaeróbio na superior, tratando esgoto sanitário sintético, com o objetivo de determinar o potencial de geração de energia por meio do biogás produzido, comparar a produção em cada leito e verificar a perda do metano dissolvido no efluente. O reator foi operado por 183 dias divididos em três etapas nas quais foi mantido em temperaturas constantes de 18, 23 e 28 °C. Com o aumento da temperatura maior foi a produção do biogás e menor a concentração de metano dissolvido. A concentração do metano no biogás foi em média 63,04, 65,13 e 62,50% no leito superior e 66,79, 70,20 e 70,88% no inferior para cada etapa. A vazão média de metano produzido no leito superior foi $4,6 \times 10^{-4}$, $4,9 \times 10^{-4}$ e $5,7 \times 10^{-4}$ m³.dia⁻¹ e no inferior $1,74 \times 10^{-3}$, $2,21 \times 10^{-3}$ e $2,59 \times 10^{-3}$ m³.dia⁻¹ para cada etapa, respectivamente. O percentual de metano perdido dissolvido no efluente foi 38,17, 29,76 e 23,45% respectivamente em cada etapa. A energia elétrica teórica média gerada a partir do biogás em cada etapa foi de 3,57, 4,92 e 5,69 Wh.dia⁻¹ respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Metano. Fontes alternativas de energia. Biogás.

ABSTRACT

Because of the importance in searching renewable energy sources, this study was developed using a hybrid anaerobic reactor (UAHB), consisted of a moving bed in its lower part and an anaerobic filter in its upper part, treating synthetic domestic sewage, with the objective of determining the potential of energy generation by the biogas produced, comparing the production in each bed and verifying the loss of methane dissolved in the effluent. The reactor was operated for 183 days divided in three phases in which it was kept in constant temperatures of 18, 23 and 28 °C. With the increase of temperature the higher was the biogas production and lower was the dissolved methane concentration. The methane concentration on biogas was on average 63.04, 65.13 and 62.50% in the upper bed and 66.79, 70.20 and 70.88% in the lower bed for each phase. The average flow rate of methane produced in the upper bed was 4.6×10^{-4} , 4.9×10^{-4} and 5.7×10^{-4} m³.day⁻¹ and in the lower 1.74×10^{-3} , 2.21×10^{-3} and 2.59×10^{-3} m³.day⁻¹ in each phase, respectively. The percentage of methane lost dissolved in the effluent was 38.17, 29.76 and 23.45% respectively in each phase. The average theoretical electric energy generated by the biogas in the reactor in each phase was 3.57, 4.92 and 5.69 Wh.day⁻¹, respectively.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autorial: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



KEYWORDS: Methane. Alternative sources of energy. Biogas.

INTRODUÇÃO

As fontes de energia renovável contribuem amplamente para diminuir os impactos ambientais resultantes das atividades humanas, além de complementarem as fontes de energia já existentes (LINDEMEYER et al., 2008). Nesse contexto, o interesse na utilização do biogás como fonte de energia tem crescido muito, de 2018 para 2019 o aumento foi de 31,8 % de acordo com o último balanço energético nacional (EPE, 2020; LORA e VENTURINI, 2012). O metano é o principal constituinte responsável pela determinação do potencial energético do biogás (KONRAD et al., 2010). A proporção dos gases na mistura depende do tipo de biodigestor, ou reator biológico, e do substrato utilizado (GARCILASSO et al., 2008a).

Alguns parâmetros possuem uma alta influência na digestão anaeróbia, como a temperatura que interfere na intensidade da atividade microbiana, além de interferir na concentração de metano dissolvido no efluente, que de acordo com o princípio da solubilidade de gases nos líquidos proposto pela lei de Henry, será maior em menores temperaturas (LETTINGA et al., 1993; CHERNICHARO et al. 2015; CRONE et al. 2016).

A perda de metano não significa só perda de potencial energético, mas também um problema ao meio ambiente, uma vez que é um dos gases causadores do aquecimento global. Grande parte do metano dissolvido, mais tarde é liberado na atmosfera, por esses motivos a aplicação desse processo em lugares mais frios é prejudicada (LETTINGA et al., 1983; CHERNICHARO et al. 2015).

O reator anaeróbio híbrido (UAHB), proposto inicialmente por Maxham e Wakamiya (1981), possui sobre o manto móvel de lodo um filtro anaeróbio, essa adaptação supre falhas existentes em reatores anaeróbios tradicionais (UASB). Pela parte superior apresentar atividade biológica, devido à aderência a biomassa, o reator tem um aumento na taxa de remoção da matéria, na produção de biogás e melhoria no polimento do efluente em comparação ao UASB tradicional, além disso apresenta uma melhora na separação de fases (LOGANATH, MASZUMDER, 2018).

MATERIAS E MÉTODOS

O trabalho se desenvolveu durante 183 dias em três etapas, a primeira etapa teve duração de 25 dias e o reator foi mantido a temperatura de 18,3(0,16) °C, a segunda de 32 dias a 23,1(0,22) °C e a terceira de 29 dias a 28,0(0,24) °C. Utilizou-se um reator anaeróbio híbrido (UAHB), no qual a porção inferior era formada por um manto móvel de lodo e a superior por um filtro anaeróbio, em ambos um separador trifásico se localizava acima deles. Para se manter a temperatura constante, o reator foi colocado dentro de um tambor com água e encoberto por mantas térmicas de alumínio na parte interna e externa. Para controlar a temperatura, um termostato, modelo TIC-17RGTi da Full Gauge Controls® e resistência elétrica de 3000 W, foi posto na água contida no tambor.

O reator foi alimentado com esgoto sanitário sintético, composto por extrato de carne, amido solúvel, farinha de trigo, sacarose, cloreto de amônio, cloreto de sódio, cloreto de magnésio P.A (hexahidratado), cloreto de cálcio anidro P.A,

fosfato de potássio monobásico P.A e bicarbonato de sódio P.A que está de acordo com a receita de Torres (1992).

Em todas as etapas o TDH foi constante e de 8h. Antes do começo das análises de cada etapa o reator permanecia operando durante uma semana para aclimação, além disso nas fases de transição de temperatura, foi aumentado 0,5 °C por dia, evitando a mudança muito brusca que pode causar dano ao funcionamento do reator (KUNZ et al., 2019; SURYAWANSHI et al., 2010). Eram feitas análises duas vezes por semana em dias não consecutivos, nelas eram coletadas amostras do afluente e do efluente para que fosse obtido o pH, a alcalinidade, DQOb, DQOs e ácidos voláteis. Com exceção dos ácidos voláteis, que foi realizado de acordo com Di Lallo e Albertson (1961), as análises foram realizadas de acordo com *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (EATON, 2012).

Um sistema de sensores conectado a um Arduino® era responsável por realizar medições e enviá-las para um computador. A temperatura do líquido no reator foi medida pelo sensor de temperatura (DS18B20) e a temperatura e umidade do ar pelo sensor DHT11, os dois sensores enviavam as medidas a cada 5 min. O medidor de vazão de gás, RITTER® MilliGascounters MGC-1 PMMA, media a produção de biogás e enviava um sinal a cada 3,18 mL de gás produzido no separador trifásico inferior, e 3,24 mL no superior. Na caracterização quantitativa do metano, utilizou-se o medidor de gases Drager® X-am 7000, previamente calibrado com gás metano 99%. O biogás foi transportado ao medidor por meio de bags de 3L de volume.

Para a determinação do metano dissolvido do efluente do reator foi utilizada uma adaptação do método de salting-out de Daelman (2012). Para isso utilizou-se um kitassato de 1 L com uma mangueira e uma torneira de três vias conectada a ponta. No frasco colocou-se 300g de NaCl(s) e uma barra magnética. Tampou-se o recipiente com uma rolha de borracha com dois furos, nos quais passavam duas mangueiras fechadas com pinças de Mohr. Em seguida tirou-se o ar do kitassato por meio de uma bomba de vácuo. Com uma seringa de 50 mL coletou-se amostras do líquido acima do separador trifásico superior e a conectou a torneira de três vias, ainda fechada. Após ligar o agitador magnético, abriu-se a torneira de três vias e deixou-se o líquido fluir para dentro do frasco, sem pressionar a seringa. O procedimento foi repetido até que não fosse mais observado o líquido fluindo para o recipiente. Desligou-se o agitador e anotou-se o volume preenchido do frasco e o volume injetado. Por fim conectou-se as mangueiras com as pinças de Mohr ao Drager® X-am 7000 e retirou as pinças para que os gases fossem medidos.

Por meio da Equação (1), descrita abaixo, que é uma adaptação da equação geral dos gases ideais, a concentração de metano dissolvido foi calculada.

$$CH_{4\text{dis}} = \frac{CH_{4\text{gás}} * P (V_{\text{frasco}} - V_{\text{total}}) M}{R (T + 273,16) * V_{\text{inj}}} \quad (1)$$

Sendo $CH_{4\text{dis}}$, a concentração do metano dissolvido em mg.L^{-1} ; $CH_{4\text{gás}}$, a concentração de gás metano no frasco em %; P, a pressão atmosférica em atm (para Curitiba 0,87 atm); V_{frasco} , o volume total do frasco em L; V_{tot} , o volume da barra magnética, do sal e da amostra injetada em L; M, a massa molar do CH_4 em mg.mol^{-1} ($16,04 \times 10^3 \text{ mg.mol}^{-1}$); R, a constante dos gases perfeitos em atm.L.mol^{-1}

$1.K^{-1}$ (0,08206 atm.L.mol⁻¹.K⁻¹); T, a temperatura ambiente em °C; V_{inj}, o volume injetado de amostra em L.

Para calcular a energia elétrica gerada a partir do metano produzido no biogás foi adotado o método descrito por Zilotti (2012) e Bilotta (2014), na qual determina-se o potencial calorífico inferior disponível Equação (2).

$$PCI_d = PE * PCI * K \quad (2)$$

Sendo PCI_d, o potencial calorífico inferior disponível em kWh.m⁻³; PE, o peso específico em kg.N⁻¹.m⁻³; PE, o peso específico do metano em kg.N⁻¹.m⁻³; PCI, o potencial calorífico inferior em kcal.kg⁻¹; K, constante de conversão (4,19 kWh/3600).

No cálculo do potencial calorífico inferior disponível quanto maior a concentração de metano no biogás, maior o poder calorífico. Na Tabela 1 de acordo com as concentrações de metano, as características de PCI do biogás estão apresentadas.

Tabela 1 – Variação do poder calorífico de acordo com a composição do biogás

Composição Química do Biogás	Peso específico (kg/Nm ³)	P.C.I. (kcal/kg)
60% CH ₄ , 40% CO ₂	1,2143	4.229,98
65% CH ₄ , 35% CO ₂	1,1518	4.831,14
75% CH ₄ , 25% CO ₂	1,0268	6.253,01

Fonte: Zilotti (2012).

Em seguida a Equação (3) foi empregada para o cálculo da potência elétrica disponibilizada pelo metano.

$$P = Q_{CH_4} * PCI_d * Ef \quad (3)$$

Sendo P, Potência Elétrica Disponibilizada em kWh.d⁻¹; Q_{CH₄}, metano disponível em m³.d⁻¹; PCI_d, o potencial calorífico inferior disponível em kWh.m⁻³; Ef, Eficiência de conversão de máquinas térmicas (0,25).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O pH durante as etapas no efluente foi de 7,13(0,47) para a primeira etapa, 6,93(0,21) na segunda e 7,23(0,11) na terceira. Como pode ser visto o pH se manteve próximo ao neutro, o que é muito bom para a população microbiana que necessita de pH entre 6,5 e 7,5 para seu crescimento (BARROS et al., 2015).

Observou-se também o aumento da alcalinidade em todas as etapas sendo que, a alcalinidade total no afluente para as três temperaturas em média foi de 85(24) mgCaCO₃.L⁻¹; no efluente na primeira etapa foi de 139(20) mgCaCO₃.L⁻¹, na segunda 121(48) mgCaCO₃.L⁻¹ e na terceira 123(42) mgCaCO₃.L⁻¹. Para a neutralização dos ácidos voláteis e tamponamento do reator é muito importante que ocorra o aumento na alcalinidade (AQUINO e CHERNICHARO, 2005).

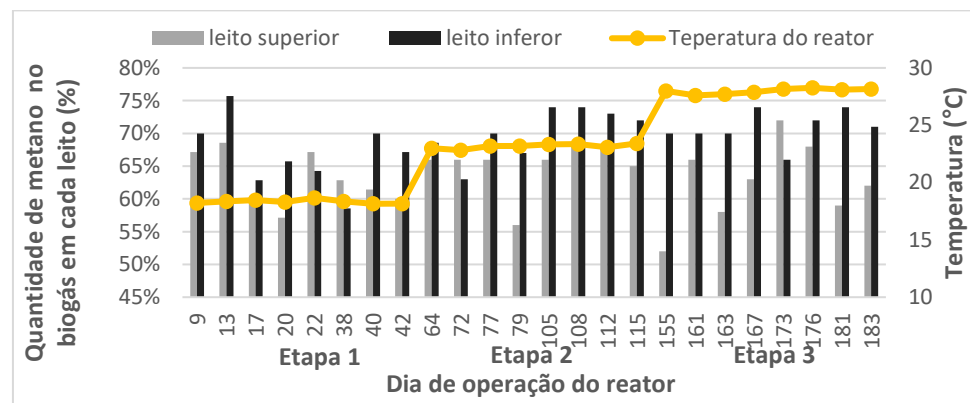
A concentração de ácidos voláteis no efluente foi de 78,82(63,07) mg.L⁻¹ para temperatura de 18 °C, 70,30(40,96) mg.L⁻¹ para 23 °C e 53,92(11,68) mg.L⁻¹ para 28

°C. Essa concentração foi menor que 200 mg.L⁻¹ e do que a do afluente para as três etapas, que para Chernicharo (2006) mostra uma boa operação do reator.

A remoção da matéria orgânica para DQOb e DQOs, apresentou boa eficiência em todas as fases, com destaque a DQOb na qual removeu aproximadamente 90%. A parte do leito fixo inserida na parte superior do reator pode ser uma razão da alta eficiência da remoção de matéria orgânica.

A produção do metano durante as etapas pode ser observada na Figura 2.

Figura 2 – quantidade de metano no biogás nos leitos fixo e móvel para as três etapas no reator UAHB.



Fonte: Autoria própria (2020).

A produção de metano média no leito superior foi de $4,6 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ para 18 °C, $4,9 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ para 23 °C e $5,7 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ para 28 °C. No leito inferior foi de $1,74 \times 10^{-3}$, $2,21 \times 10^{-3}$ e $2,59 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$, respectivamente. A produção no leito inferior foi maior em todas as etapas e nos dois leitos aumenta com o aumento da temperatura.

A média de teor do metano no biogás no leito superior foi de 63,04, 65,13 e 62,50% em cada etapa, respectivamente; enquanto no leito inferior foi de 66,79, 70,20 e 70,88% em média. A porcentagem média de metano no biogás no leito inferior foi maior em todas as etapas, quando comparado ao superior. Além disso, observou-se que ela aumentou com o aumento da temperatura. No leito superior nota-se que a variação da produção média de metano no biogás foi pequena, o que indica que a temperatura tem menor influência na eficiência do filtro anaeróbio.

No cálculo do potencial calorífico inferior disponível quanto maior a concentração de metano no biogás, maior o poder calorífico. Com as porcentagens de metano no biogás e de acordo com a Tabela 1, obteve-se os resultados da Tabela 2.

Tabela 2 – Potencial calorífico inferior disponível do CH₄.

Leito	PCI _d (kWh.m ⁻³)	PCI _d (kWh.m ⁻³)	PCI _d (kWh.m ⁻³)
	18°C	23°C	28°C
Superior	6,48	6,48	5,98
Inferior	6,48	7,47	7,47

Fonte: Autoria própria (2020).

Por meio da equação 3 e dos dados da Tabela 2 obteve-se a potência elétrica disponível em cada leito, exibida na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 – Potência elétrica disponível em cada etapa.

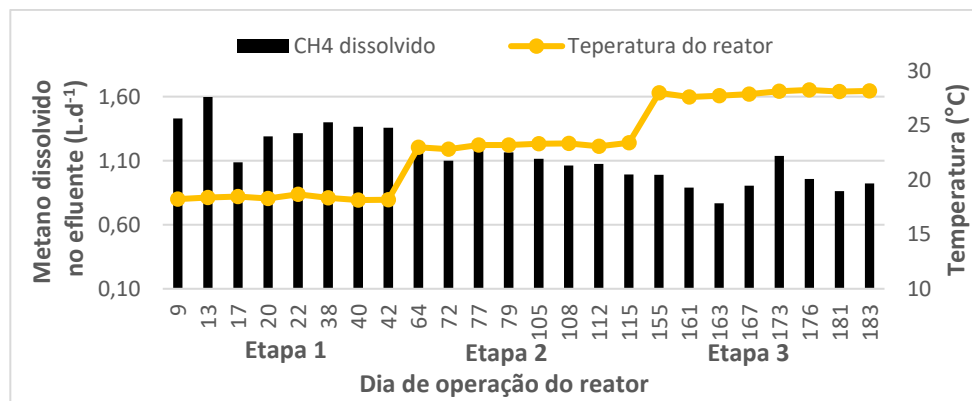
Leito	P(Wh.d ⁻¹) 18°C	P(Wh.d ⁻¹) 23°C	P(Wh.d ⁻¹) 28°C
Superior	0,745	0,794	0,852
Inferior	2,82	4,13	4,84
Total	3,57	4,92	5,69

Fonte: A autoria própria (2020).

Nota-se que o leito inferior tem significativamente maior potência elétrica nas três etapas. Deve-se levar em consideração que os dados utilizados para o PCI e PE, apresentados na Tabela 1, foram aproximados aos calculados nas análises. Para fim de comparação, uma lâmpada LED de 7 W que fique acesa 6h por dia, terá o consumo de 42 Wh.dia⁻¹. Logo, na primeira etapa o metano gerado corresponderia a 8,50% do consumido, na segunda 11,71% e na terceira 13,55%.

A concentração de metano perdida no efluente está apresentada na Figura 3.

Figura 3 – Quantidade de metano dissolvido no efluente para as três etapas no reator UAHB.



Fonte: A autoria própria (2020)

Como pode ser visto no gráfico da Figura 3, a perda de metano diminuiu de acordo com o aumento da temperatura, isso está de acordo com o princípio da solubilidade dos gases nos líquidos prevista pela lei de Henry. A produção de metano dissolvido foi de $1,35 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ na primeira etapa, $1,11 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ na segunda e $9,29 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ na terceira. Em média, para a temperatura de 18 °C, 38,17% do metano produzido no reator foi perdido no efluente, 29,76% foi perdido em 23 °C e 23,45% em 28 °C. O aumento de metano no biogás de 60% para 65% aumentaria o PE de 1,2143 kg/Nm³ para 1,1518 kg/Nm³ e o PCI de 4.229,98 para 4.831,14 kcal/kg, de acordo com a Tabela 1. Assim o PCI_d no leito superior em 28 °C, por exemplo, seria 6,48 e a potência elétrica nesse leito aumentaria em 8,33%. Essa porcentagem mostra a importância de se resgatar o metano dissolvido, sendo a perda de energia potencial significativa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos nesse estudo, constatou-se que o biogás gerado pelo reator apresentou maior teor de metano no leito inferior e quando a temperatura era mais alta. Concluiu-se também que a temperatura tem menor influência no leito superior. A produção média de metano que poderia ser utilizado para o aproveitamento energético no leito superior foi de $4,6 \times 10^{-4}$, $4,9 \times 10^{-4}$ e $5,7 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ para as três etapas respectivamente. Enquanto no leito inferior a produção foi de $1,74 \times 10^{-3}$, $2,21 \times 10^{-3}$ e $2,59 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$.

O total de energia elétrica potencialmente gerada foi estimada em 3,57, 4,92 e 5,69 Wh/d para 18, 23 e 28 °C, respectivamente. Esse valor representa 8,50, 11,71 e 13,55% do consumo de uma lâmpada LED que gaste 42 Wh/d.

A perda de metano dissolvido no efluente foi maior na temperatura mais baixa, sendo, do total de metano produzido, 38,17% foi perdido na primeira etapa, 29,76% na segunda e 23,45% na terceira. A perda de potencial energético por metano dissolvido mostrou-se expressiva, indicando a importância em estudar métodos para resgatá-lo.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da Bolsa de Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS

- AQUINO, S. F.; CHERNICHARO, C. A. L. Acúmulo de ácidos graxos voláteis (AGV) em reatores anaeróbios sob estresse: causas e estratégias de controle. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.10, n. 2, p. 152-16, abr./jun. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/esa/v10n2/a09v10n2>. Acesso em: 15 de ago. 2020.
- BARROS, K. K.; et al. The influence of excess sludge discharge on the performance of a full-scale UASB reactor. **Water Practice and Technology**, v. 10, n. 2, p. 250-258, 2015.
- BILOTTA, P. **Determinação da capacidade de geração de energia da estação de tratamento de esgotos Santa Quitéria em Curitiba/PR a partir do biogás**. 2014. Trabalho de conclusão de curso (Especialização) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2014. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/40175/R%20-%20E%20-%20PATRICIA%20BILOTTA.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Acesso em: 15 de ago. 2020.
- CHERNICHARO, C. A. L. Post-treatment options for the anaerobic treatment of domestic wastewater. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 5, n. 1, p. 73-92, 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/225511555_Post-Treatment_Options_for_the_Anaerobic_Treatment_of_Domestic_Wastewater. Acesso em: 15 de ago. 2020.

CHERNICHARO, C. A. L.; et al. Anaerobic sewage treatment: state of the art, constraints and challenges. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 14, n. 4, p. 649-679, 2015.

CRONE, B.C.; et al. Significance of dissolved methane in effluents of anaerobically treated low strength wastewater and potential for recovery as an energy product: A review. **Water Research**, v. 104, p. 520-531, 2016.

DAELMAN, M.R.J.; et al. Methane emission during municipal wastewater treatment. **Water research**, v. 46, n. 11, p. 3657-3670, 2012.

DI LALLO, R; ALBERTSON, O. E. Volatile acids by direct filtration. **Journal Water Control Federation**, v.33, n. 4, p.356-365, 1961.

EATON, A. D.; et al. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22a. ed. Washington: American Public Health Association (APHA). 2012.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional, Ministério de Minas e Energia, 2020. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-521/Relato%CC%81rio%20Si%CC%81ntese%20BEN%202020-ab%202019_Final.pdf. Acesso em: 03 de set. 2020.

GARCILASSO, V. P.; et al. Potencial de geração de energia elétrica e iluminação a gás por meio do aproveitamento de biogás proveniente de aterro sanitário. In: VII CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ENERGIA NO MEIO RURAL, 2008a, Fortaleza.

KONRAD, O.; et al. Avaliação da produção de biogás e geração de metano a partir de lodo de estação de tratamento de efluentes e glicerina residual CETEC/UNIVATES. **Revista destaques acadêmicos**, ano 2, n. 4, 2010. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/e97f/ee7c903feda9b646055c76d80ec61884678d.pdf>. Acesso em: 15 de ago. 2020.

KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. S. (Editores Técnicos). **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019. 209 p. ISBN 978-85-93823-01-5. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1108617>. Acesso em: 15 de ago. 2020.

LETTINGA, G.; ROERSMA, R.; GRIN, P. Anaerobic treatment of raw domestic sewage at ambient temperatures using a granular bed UASB reactor. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 25, n. 7, p. 1701–1723, 1983.

LETTINGA, G.; et al. Anaerobic treatment of domestic sewage and wastewater. **Water Science and Technology**, v. 27, n. 9, p. 67-73, 1993.

LINDEMEYER, R. M. **Análise da viabilidade econômica-financeira do uso do biogás como fonte de energia elétrica**. 2008. Trabalho de Conclusão de Estágio – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2008. Disponível em:
<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/131678/Adm291179.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 de ago. 2020.

LOGANATH, R.; MAZUMDER, D. Performance study on organic carbon, total nitrogen, suspended solids removal and biogas production in hybrid UASB reactor treating real slaughterhouse wastewater. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, n. 2, p. 3474-3484, 2018.

LORA, E. E. S.; VENTURINI, O. J. **Biocombustíveis**. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. 1.200 p.

MAXHAM, J. V.; et al. Innovative biological wastewater treatment technologies applied to the treatment of biomass gasification wastewater. In: Proceedings of the 35th industrial waste conference, Lafayette. **Anais...** Lafayette: Purdue University, p. 80-94, 1980.

SURYAWANSHI, P. C.; CHAUDHARI, A. B.; KOTHARI, R. M. Mesophilic anaerobic digestion: first option for waste treatment in tropical regions. **Critical reviews in biotechnology**, v. 30, n. 4, p. 259-282, 2010.

TORRES, P. **Desempenho de um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) de bancada no tratamento de substrato sintético simulando esgotos sanitários**. 1992. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia, São Carlos, 1992.

ZILOTTI, H. A. R. **Potencial de produção de biogás em uma Estação de tratamento de esgoto de cascavel para a geração de energia elétrica**. 2012. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012. Disponível em:
http://portalpos.unioeste.br/media/File/energia_agricultura/pdf/Dissertacao_Helcio_A_Zilotti.pdf. Acesso em: 15 de ago. 2020.