

### **III-568 - QUANTIFICAÇÃO TEÓRICA E EXPERIMENTAL DO BIOGÁS PRODUZIDO DURANTE A REMOÇÃO ANAERÓBIA DE MATÉRIA ORGÂNICA DE EFLUENTE DOMÉSTICO**

**Talita Lorena da Silva do Nascimento<sup>(1)</sup>**

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e Mestranda em Engenharia Química na Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

**Vítor Pinheiro Ferreira<sup>(2)</sup>**

Doutor em Energia e Meio Ambiente (CIENAM) e professor Adjunto III da Universidade Federal da Bahia

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Dom Antônio de Almeida Lustosa 161 - Planalto - Natal - RN - CEP: 59073110 - Brasil - Tel: (75) 992634362 - e-mail: talitalorenasn@gmail.com

#### **RESUMO**

O fornecimento de energia elétrica no Brasil é predominantemente proveniente do setor hidráulico. Dessa forma, torna-se necessário a utilização de outras fontes de energia para minimizar a sobrecarga sobre a fonte hidráulica. A biomassa, que é todo recurso renovável obtido a partir da matéria orgânica, é tida como uma alternativa para diversificação da matriz energética e como técnica de conversão de biomassa em energia renovável pode-se citar o processo de digestão anaeróbia. A etapa final no processo de digestão anaeróbia resulta na produção de biogás, que pode ser convertido em energia mecânica nos motores térmicos. O presente estudo visou aferir o potencial do biogás produzido por Digestores Anaeróbios de Fluxo Ascendente da ETE de Muritiba - BA como fonte de energia primária. Análises físico-químicas foram realizadas no esgoto a fim de determinar a eficiência do tratamento. Para determinação da produção teórica de biogás e de eletricidade utilizou-se o modelo proposto na literatura. Para validação dos dados teóricos, foi construída uma réplica da instalação de biodigestão anaeróbia em escala de bancada, que funcionou como plataforma para determinação da produção experimental de biogás e eletricidade, através da quantificação de metano. A remoção de carga orgânica do reator DAFA apresentou eficiência de remoção de SST, DBO e DQO em média de 62%, 73% e 79%, respectivamente. Como este se constitui num tratamento primário, foi constatado que o mesmo apresenta funcionamento adequado dentro dos padrões determinados pela literatura. Quando comparada a média da produção teórica de eletricidade com a produção experimental, observou-se divergência nos resultados, sendo a produção teórica suficiente para abastecer uma pequena comunidade com 175 habitantes e a experimental para 32 habitantes. Levando em consideração a influência da variação diária de temperatura, comparou-se a produção de metano experimental (a partir do protótipo) com a média da produção de metano teórica contabilizando apenas as amostras coletadas pela manhã (turno no qual foi coletado o material orgânico testado no protótipo). Fazendo essa relação os dados de produção de metano foram similares, com consequente similaridade nos dados de produção de energia elétrica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia renovável, saneamento, tratamento de efluentes, aproveitamento energético, biodigestão

#### **INTRODUÇÃO**

Os serviços de saneamento têm grande importância na qualidade de vida da população. A ausência de coleta e tratamento de esgotos adequados pode contribuir com a proliferação de doenças de veiculação hídricas, além de ocasionar a degradação das condições dos recursos hídricos (BORGES, 2016).

O tratamento biológico é a forma mais eficiente de remoção da matéria orgânica dos esgotos, onde a matéria orgânica é decomposta pela ação das bactérias presentes no próprio efluente. Havendo oxigênio livre (dissolvido), são as bactérias aeróbias que promovem a decomposição, não havendo, são as anaeróbias. A digestão anaeróbia é um processo biológico para tratamento de águas residuárias que tem sido muito utilizado nos últimos anos para tratamento de esgoto doméstico. O esgoto pode ser tratado em diferentes configurações de reatores anaeróbios, uma delas é o DAFA – Digestor Anaeróbio de Fluxo Ascendente, que é o mais utilizado devido ao baixo custo de implantação, facilidade operacional, baixa produção de sólidos e eficiência de remoção de matéria orgânica na ordem de 70% (BORGES, 2016).

Uma importante e valiosa vantagem associada ao tratamento anaeróbio de esgotos é a produção de Biogás, que é um composto constituído essencialmente por metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e pequenas quantidades de ácido Sulfúrico e amônia. Esse gás surge como combustível proposto para geração de calor e eletricidade, substituindo as energias não renováveis e minimizando a sobrecarga do setor hidroelétrico. (ANEEL, 2008)

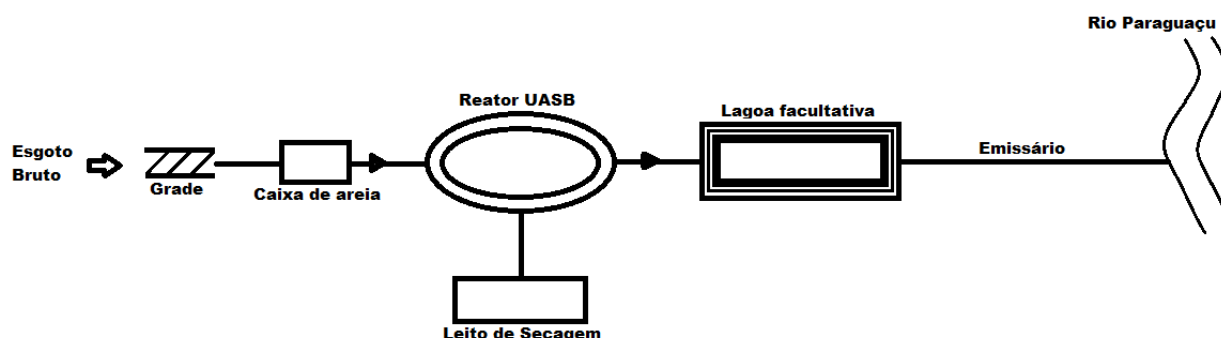
De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2017), 9% da potência instalada no país são provenientes da biomassa, com 547 usinas em operação. Das plantas que utilizam biogás proveniente da biodigestão de biomassa, apenas 4 são de origem de ETE. Tal dado evidencia a importância de estudos que comprovem a eficiência qualitativa e quantitativa do uso do biogás produzido durante a biodigestão anaeróbia, tendo em vista que muitas ETE's utilizam a biodigestão anaeróbia, porém poucas aproveitam o biogás produzido no processo.

O aproveitamento do biogás gerado durante o tratamento de esgotos para fim energético traz benefícios econômicos e ambientais, sendo possível minimizar os impactos ambientais causados no processo de tratamento de esgoto e diminuir custos com energia.

Dessa forma objetivo do presente estudo foi medir o volume de biogás produzido durante o processo de biodigestão anaeróbia do esgoto da ETE de Muritiba-BA, verificando seu potencial como fonte de energia primária, a partir da Avaliação da eficiência de remoção de carga orgânica do reator DAFA da ETE de Muritiba – BA; estimativa da produção do biogás a partir da remoção da DQO do DAFA da ETE em estudo e seu potencial de produção de energia elétrica; construção de um protótipo de reator DAFA que servisse como plataforma experimental para se medir o volume de metano produzido e calcular o potencial de produção de energia elétrica do gás produzido e comparação dos resultados da quantificação de biogás obtidos a partir da DQO removida e a partir do protótipo do DAFA.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa se desenvolveu na ETE do município de Muritiba – BA, que possui uma população estimada em 28.899 mil habitantes (IBGE, 2010). O Sistema de Esgotamento Sanitário - SES Muritiba beneficia 11.061 habitantes (correspondendo a aproximadamente 40% da população). A ETE entrou em funcionamento em 2011. A Figura 1 ilustra o caminho percorrido pelo esgoto desde o ponto de entrada até o descarte final no corpo receptor.



**Figura 1. Fluxograma da ETE de Muritiba - BA**

Foram escolhidos dois pontos para coleta de amostra de água residuária: um ponto anterior ao reator anaeróbio onde foi recolhido amostra de esgoto bruto (afluente) e um posterior ao reator anaeróbio onde foi recolhida amostra de esgoto tratado (efluente). As coletas foram realizadas no período de Maio/2017 à Julho/2017 e ao todo foram realizadas 5 coletas denominadas de A1, A2, A3, A4 e A5.

As análises foram realizadas nos laboratórios de qualidade da água e laboratório de tratamento de águas residuárias da ESA/CETEC/UFRB. A Tabela 1 apresenta os parâmetros físico-químicos analisados e as respectivas metodologias utilizadas para determinação dos mesmos.

**Tabela 1. Parâmetros e metodologia adotados para análise das amostras**

PARÂMETROS	TÉCNICA ANALÍTICA	UNIDADE
pH	pHmetro (medidor de pH).	-----
SST	Método padrão - Gravimétrico	mg/L
DBO <sub>5</sub>	Método padrão - Método da incubação	mg/L
DQO	Método padrão - Refluxo fechado titulométrico	mg/L

Para calcular a eficiência de remoção da carga orgânica do reator DAFA utilizou-se a equação 1, aplicada a cada parâmetro avaliado.

$$\text{Eficiência de remoção} = \frac{C_{\text{entrada}} - C_{\text{saída}}}{C_{\text{entrada}}} * 100 \quad (1)$$

Onde:

Eficiência de remoção = Eficiência de remoção biológica (%)

C entrada = Concentração de entrada (mg/L).

C saída = Concentração de saída (mg/L).

Para estimar a produção de biogás em biodigestor anaeróbio a partir da produção de biogás foi utilizada a equação descrita pelo projeto geração distribuída (2009 apud FARIA, 2012), que relaciona a produção de metano por DQO removida e a concentração de metano do biogás, conforme descrito na equação 2. Essa equação fornecerá de produção teórica de biogás

$$PB = \frac{V_{\text{ef}} * DQO * y}{C_{\text{CH}_4}} * 100 \quad (2)$$

Onde:

PB = Produção de Biogás (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/dia)

V<sub>ef</sub> = Vazão de efluente através do biodigestor anaeróbio (m<sup>3</sup>/dia)

DQO = Valor médio da demanda química de oxigênio de biomassa residual produzida (kg DQO/m<sup>3</sup>)

Y = é a produção de metano por kg de DQO (m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kg DQO);

C CH<sub>4</sub> = é a concentração de metano no biogás (CH<sub>4</sub>)

Segundo Chernicharo (1997, apud GERVASONI, 2011) a estimativa da produção de metano produzido durante a biodigestão anaeróbia pode ser dada a partir da relação estequiométrica que o mesmo tem com a remoção de DQO. Em condições normais de temperatura e pressão 22,4 litros de metano correspondem a 64 gramas de DQO removida, ou seja, são gerados 350 litros de CH<sub>4</sub> por kg de DQO removida, podendo esse valor variar com base nas características do esgoto, tais como: Qualidade do esgoto tratado, a eficiência do processo de tratamento e a variação do esgoto afluente ao longo da operação (GERVASONI, 2011). Sendo assim a produção de metano por Kg de DQO (Y) é estimada em 0,350 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/Kg DQO.

De acordo com Percora (2006) o biogás produzido a partir da digestão anaeróbia é constituído aproximadamente de 60 a 75% de metano (CH<sub>4</sub>), portanto foi adotado para concentração de metano do Biogás um valor médio de 65%.

Para medição do volume real de metano produzido durante a biodigestão anaeróbia do esgoto da ETE de Muritiba, foi construído um protótipo de reator DAFA visando recriar as condições de digestão anaeróbia existentes no reator de Muritiba.

O protótipo foi idealizado para funcionar em fluxo contínuo, para simular o mesmo comportamento que ocorre na ETE. O mesmo foi composto por um biodigestor, feito com um recipiente de polietileno de 5 L e dois reservatórios, um com finalidade de manter o nível do reator constante e o outro para armazenar e permitir a alimentação do biodigestor nos períodos entre as coletas. Os mesmos foram construídos com um recipiente plástico com volume interno de 12 L e um vaso de 20 L, respectivamente. Na Figura 2 encontra-se o protótipo montado com todos os seus componentes.

Após observação da estanqueidade do protótipo, percebeu-se que o regime de fluxo contínuo prejudicaria a medição de metano produzido, uma vez que, os pontos de alimentação e saída do esgoto abertos durante todo

o experimento acarretariam no vazamento do gás. Dessa forma, decidiu-se mudar o fluxo do biodigestor de contínuo para batelada, substituindo-se o reservatório de 20 L por um recipiente similar ao utilizado para coleta das amostras, no intuito de facilitar o reabastecimento do protótipo, como visto na Figura 3. O tempo de detenção hidráulica considerado foi equivalente ao tempo de estabilização da produção de gás no protótipo, sendo assim determinado após a realização dos testes.

A fim de melhorar a estanqueidade do protótipo e eliminar o máximo possível de pontos prováveis de vazamento, o mesmo foi simplificado como mostrado na Figura 4, onde se utilizou apenas o biodigestor. O afluente e o lodo utilizados foram inseridos antes da realização da vedação da tampa rosqueável.



**Figura 2. Protótipo do biodigestor em fluxo contínuo.**



**Figura 3. Protótipo de biodigestor em batelada.**

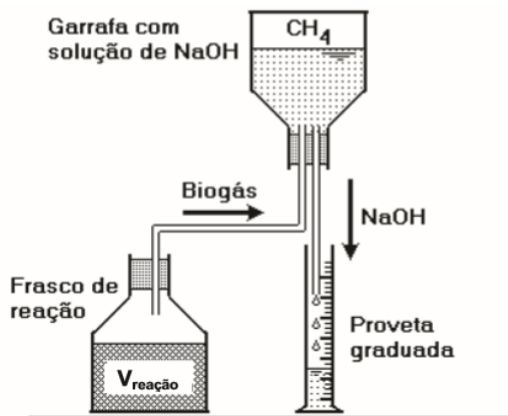


**Figura 4. Protótipo simplificado do biodigestor em batelada.**

Para a medição da quantidade de metano gerado no processo de tratamento do esgoto dentro do protótipo, utilizou-se a metodologia de medição direta do volume de metano durante um intervalo de tempo fixo. Foram utilizados dois aparatos experimentais. O aparato I proposto por Aquino *et. al.* (2007) e o aparato II proposto por Schneiders *et. al.* (2013), ambos com princípios de funcionamento similares.

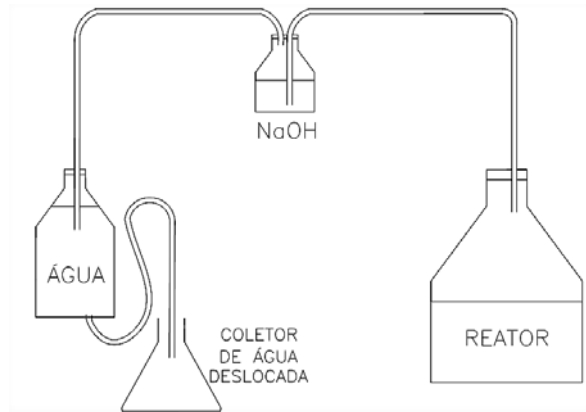
A principal diferença entre os aparatos está no líquido utilizado como indicador direto da quantidade de metano produzido e na posição do tubo de saída desse líquido. No aparato I (Figura 5) o gás produzido é encaminhado para um vaso com solução de NaOH, onde é lavado, e a solução de NaOH é conduzida da garrafa conforme o gás vai sendo gerado e a medição é feita através de uma proveta graduada que coleta a solução da tubulação de saída. A tubulação de saída foi instalada verticalmente na parte inferior da garrafa.

No aparato II (Figura 6) o gás produzido sai do reator e circula por um frasco contendo escamas de NaOH para ser lavado, logo após segue para uma garrafa contendo água que é deslocada conforme há a produção de biogás. A água é deslocada para um coletor onde é feita a medição do volume produzido. A tubulação de saída do aparato II é dotada de um sifão.



**Figura 5. Aparato experimental I para medição do volume de metano produzido.**

Fonte: Aquino *et. al.* (2007)



**Figura 6. Aparato experimental II para medição do volume de metano produzido.**

Fonte: Próprio autor (2017)

Para a escolha da concentração e do volume de inoculo e substrato a serem utilizados no reator, utilizou-se a metodologia da AME a fim de obter-se um ambiente favorável para os micro-organismos anaeróbios realizarem a degradação da matéria orgânica com a consequente produção de biogás, respeitando as características reais do UASB de estudo. O inoculo utilizado foi o lodo proveniente do UASB da Estação de Tratamento de Esgoto da ETE de Muritiba- BA e como substrato foi utilizado o esgoto sanitário bruto da mesma ETE.

A concentração do lodo escolhida para alimentação do reator foi de 10 g SSV/L que, segundo Penna (1994 apud FERREIRA, 2008) é a concentração mais adequada para testes de atividade metanogênica com lodo de esgoto sanitário sob o ponto de vista de menor duração do ensaio e melhor repetitividade dos resultados.. O substrato e o inoculo ocuparam 4 L do volume do protótipo enquanto o 1 L restante foi destinado à fase gasosa. Para alimentação do protótipo foram realizadas duas coletas, na qual se obteve 1,5 litros do lodo contido no reator DAFA da ETE de Muritiba através do sistema de descarga do DAFA nos leitos de secagem e 3,5 litros de esgoto afluente. O lodo foi armazenado em garrafas plásticas e utilizado imediatamente após a coleta. Para caracterização do lodo foram realizadas análises da série de sólidos suspenso e totais no laboratório de tratamento de águas residuárias da UFRB (Universidade Federal do Recôncavo da Bahia).

Para estimar a produção de energia a partir do biogás produzido na biodigestão anaeróbia, utilizaram-se as equações (3) e (4) do relatório técnico parcial do FINEP-ITAI (2009 apud FARIA, 2012) correspondente ao potencial teórico e técnico de produção de eletricidade, respectivamente, sendo este último o potencial que leva em consideração as perdas do sistema.

$$PTE = PCI * PB \quad (3)$$

Onde:

PTE = Potencial teórico de produção de eletricidade (kWh/dia)

PCI = Poder calorífico inferior (kWh/m<sup>3</sup>)

PB = Produção diária de biogás (m<sup>3</sup>/dia)

Para estimar a produção de energia o poder calorífico inferior adotado foi de 6.5 kWh/m<sup>3</sup>, que corresponde a biogás com 65% de metano, valor este que, segundo a literatura, é a porcentagem estimada de metano no processo de biodigestão anaeróbia do tratamento de esgoto. (FARIA, 2012)

$$PTCE = \frac{PTE * n}{100} \quad (4)$$

Onde:

PTCE = Potencial técnico de geração (kWh/dia)

PTE = Potencial teórico de produção de eletricidade (kWh/dia)

n = Eficiência de conversão (adotado neste trabalho como 25% , referente a conversão por motores ciclo Otto)



## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para determinação da eficiência de remoção do processo de tratamento foram realizadas análises físico-químicas nas amostras coletas. Os parâmetros determinados foram: pH, SST, DBO e DQO. Os valores médios das análises físico-químicas das 5 coletas realizadas nos esgotos bruto e tratado, encontram-se na Tabela 2.

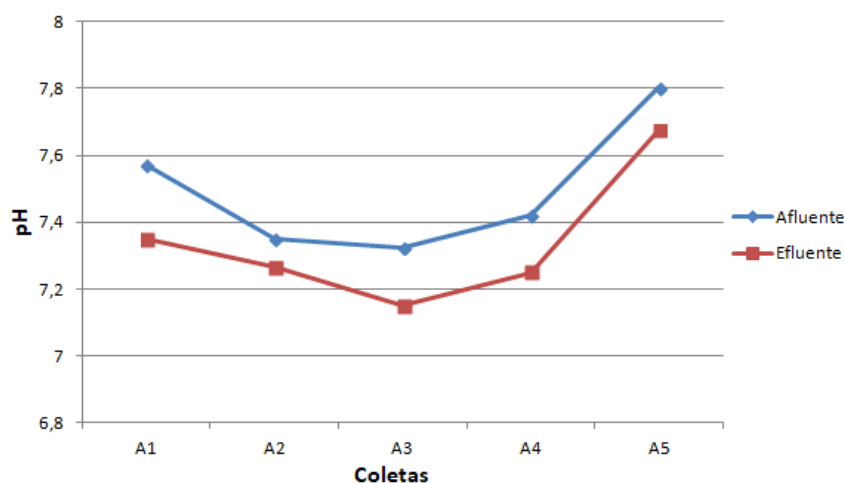
**Tabela 2. Valores e Concentrações médias do esgoto afluyente e efluente**

PARÂMETROS	VALOR E CONCENTRAÇÃO		EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO (%)
	AFLUENTE	EFLUENTE	
pH	<b>7,5±0,2</b>	<b>7,3±0,2</b>	<b>2</b>
SST	<b>619 ± 400</b>	<b>233 ± 98</b>	<b>62</b>
DBO5	<b>395 ± 70</b>	<b>105 ± 32</b>	<b>73</b>
DQO	<b>1167 ± 667</b>	<b>247 ± 50</b>	<b>79</b>

De uma forma geral, pode-se observar que os valores médios obtidos para o pH dos esgotos afluyente e efluente foram similares e com pequena variação nos resultados, porém os outros parâmetros apresentam grandes variações dos resultados, sendo evidenciado através do desvio padrão. As variações dos resultados ocorreram devido a fatores como: Condições climáticas e horário de coleta, haja vista que nem todas as coletas ocorreram no mesmo horário. Com o intervalo de incerteza do esgoto tratado mais uniforme que o do esgoto bruto em todos os parâmetros, pode-se concluir que o processo anaeróbico que ocorre no reator UASB consegue acompanhar o aumento da carga orgânica dos esgotos, ou seja, os microorganismos decompositores de matéria orgânica degradam maiores quantidades quando necessário e/ou durante os períodos em que existem maiores cargas orgânicas a proliferação de microorganismo anaeróbios é maior, o que aumenta a quantidade de matéria orgânica degradada.

### • Análise dos Resultados do pH do Esgoto

A média do pH do esgoto afluyente e efluente da ETE de Murtiba apresentou valor igual a 7,5 e 7,3 respectivamente. A figura 7 apresenta os resultados obtidos para pH de cada coleta.

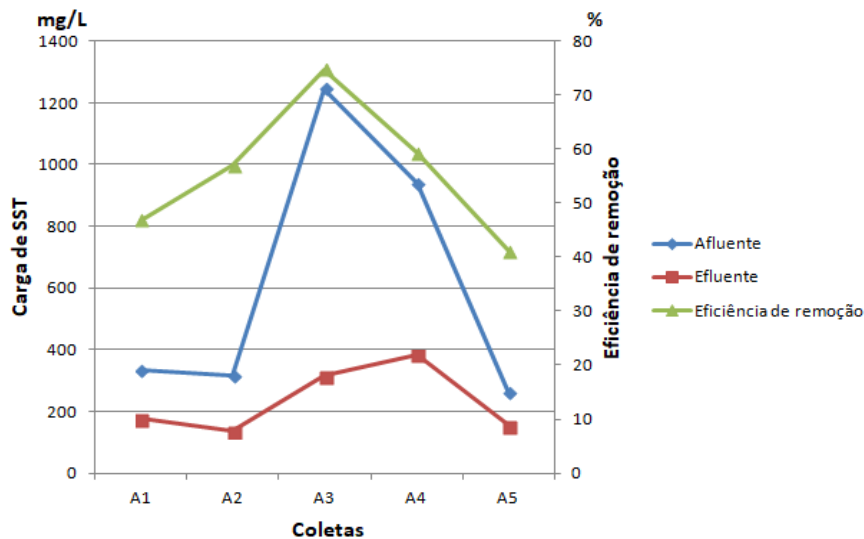


**Figura 7. Resultado das análises de pH de afluentes e efluentes da ETE.**

Após o tratamento através do UASB, o esgoto efluente apresentou pH aproximadamente neutro, assim como o esgoto afluyente. Jordão e Pessoa (2011) afirmam que na digestão anaeróbia, durante o processo de acidificação no qual ocorre a intensa produção de ácidos, existe a queda do pH que varia entre 5,1 a 6,8; chegando até a 4, em seguida, durante o processo de digestão dos ácidos, o pH se eleva novamente. A partir dos resultados obtidos para o pH do afluyente e efluente, e observando na Tabela 2 que houve remoção da matéria orgânica pode-se inferir que os processos ocorridos durante a digestão anaeróbia do reator UASB, que causam alterações naturais no pH do esgoto, tiveram suas variações de pH condizentes com as etapas do processo fazendo com que ao final da digestão anaeróbia o efluente mantenha o seu pH neutro.

- **Análise dos Resultados dos Sólidos Suspensos Totais do Esgoto e Eficiência de Remoção**

A figura 8 apresenta os resultados dos sólidos suspensos totais de cada amostra analisada.



**Figura 8. Resultados das análises de SST.**

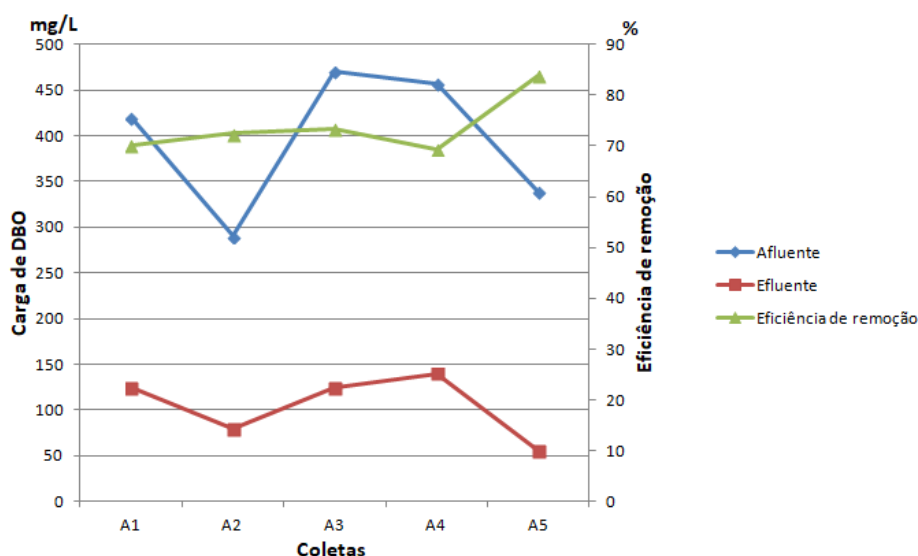
De acordo com a Tabela 2, a média de eficiência de remoção dos Sólidos Suspensos Totais (SST) foi de 62%. Como se podem observar Figura 3, as coleta A1, A2 e A5 apresentam concentração de sólidos suspensos totais mais baixos que as das coletas A3 e A4. Tal discrepância pode ser explicada pelo horário da coleta. As coletas A1, A2 e A5 foram realizadas as 09h00min da manhã, enquanto que as coletas A3 e A4 foram realizadas 14h00min e 16h00min da tarde, respectivamente. De acordo com Valente, Padilha e Silva (1997) a vazão de água residual são maiores no período entre 06h30min e 09h30min devido aos preparativos do público em geral para ir ao trabalho: uso do banheiro e cozinha para o café da manhã. Além disso, as atividades domésticas como lavagem de roupas e louças, preparação de almoço são realizadas durante a manhã o que aumenta a vazão de esgoto que chega à ETE. Com isso pode-se supor que, com uma maior vazão, o esgoto torna-se mais diluído diminuindo a quantidade de SST por litro.

As amostras A3 e A4, que foram coletas pela tarde, também apresentam diferenças entre si, os valores de SST das amostras afluente e efluente foram maiores na coleta A3. Tal diferença pode ser explicada pelas condições climatológicas. De acordo com os dados meteorológicos disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para estação automática Cruz das Almas – BA, estação mais próxima da cidade Murtiba - BA no dia e horário da coleta A4 foi verificado índice pluviométrico igual a 1,4 mm, ao passo que no dia e horário da coleta A3 não apresentou chuva, o que tornou o esgoto A4 mais diluído que o A3, tornando sua carga de SST menor.

A quantidade de SST removido acompanhou as variações de carga de SST do esgoto, ou seja, nas coletas em que houve maiores cargas de SST a quantidade de remoção também foi maior, indicando que a remoção de matéria orgânica através do processo anaeróbio que ocorre no reator UASB acompanha o aumento de carga orgânica no esgoto.

- **Análise dos Resultados da DBO<sub>5</sub> do Esgoto e Eficiência de Remoção**

A figura 9 apresenta os resultados da demanda bioquímica de oxigênio das coletas realizadas.



**Figura 9. Resultado das análises de DBO**

A eficiência média de remoção da DBO foi de 73% (Tabela 2). Levando em consideração que as coletas em questão foram realizadas pela manhã, e que nesse período a vazão que chega na ETE é maior do que a que chega pela tarde, pode-se notar que a vazão tem uma relação direta com a diluição de matéria orgânica no esgoto.

A temperatura é um parâmetro que afeta as taxas de reações biológicas, quanto maior a temperatura maior será a atividade biológica. Na Figura 4 pode-se observar que as coletas A3 e A4 obtiveram melhor desempenho na remoção bioquímica de oxigênio. As coletas em questão foram realizadas no período da tarde onde a temperatura em geral, é mais elevada, indicando uma maior atividade dos microorganismos decompositores de matéria orgânica. A Tabela 3 apresenta o horário que foi realizado cada coleta bem como a temperatura equivalente, confirmando a relação entre a temperatura e os horários de coleta. Os dados de temperatura foram obtidos a partir da estação automática de Cruz das Almas – BA monitorada pelo INMET, estação meteorológica mais próxima da cidade de Muritiba.

**Tabela 3. Temperatura identificada para o horário de cada coleta**

COLETA	HORÁRIO	TEMPERATURA
A1	09:00	20,0
A2	09:00	20,1
A3	14:00	23,4
A4	16:00	21,7
A5	09:00	17,6

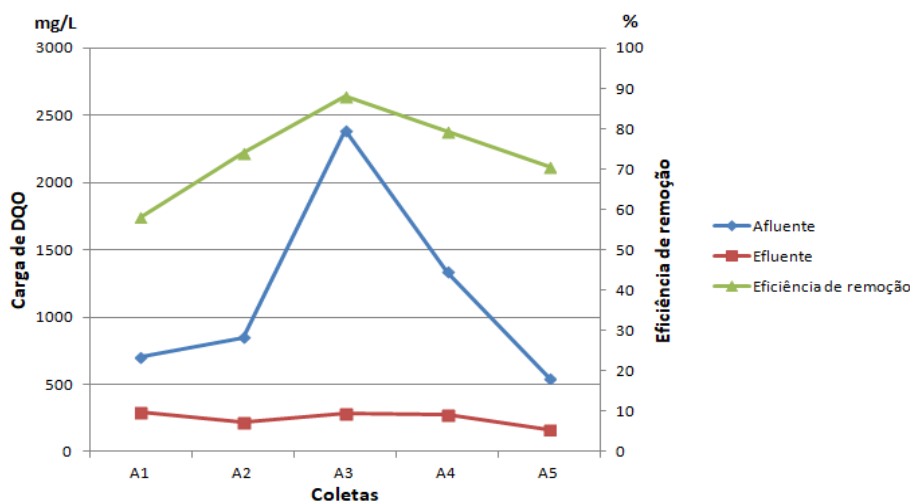
Fonte: INMET(2017)

De acordo com Jordão e Pessoa (2011) a eficiência de remoção de DBO nos tratamentos anaeróbios de esgoto está entre 45 a 85%. No caso do DAFA, para ser considerado um bom projeto, o mesmo deve possuir em média remoção de DBO equivalente a 70% e efluente com concentração inferior a 120mg/L. Através do gráfico podemos observar que o DAFA atende ao que é indicado por Jordão e pessoa (2011) onde todas as coletas apresentaram valores de eficiência próximos ou superiores a 70%.

#### • Análise dos Resultados da DQO do Esgoto e Eficiência de Remoção

A figura 10 apresenta os resultados da Demanda Química de Oxigênio das coletas realizadas.





**Figura 10. Resultados das análises DQO.**

Como observado nos outros parâmetros, a vazão de entrada, que variou conforme o horário da coleta e as condições climáticas interferiram na quantidade de matéria orgânica do afluente, onde as coletas A3 e A4, menos diluídas, apresentaram maiores valores de DQO.

A eficiência média de remoção de DQO foi de 79%. Pode-se notar que, quanto maior a quantidade de matéria orgânica nas amostras coletadas, maior foi a eficiência de remoção da carga de DQO, indicando que nas coletas realizadas a tarde onde a temperatura é maior (Tabela 3), houve maior atividade dos microorganismos, portanto maior eficiência de remoção. Esses resultados refletiram diretamente na curva de DQO do efluente, a mesma apresentou valores similares em todas as coletas, com poucas variações na curva dos resultados. Tal resultado demonstra que o processo anaeróbio do UASB acompanha as variações de matéria orgânica ao longo do dia e que o tempo de detenção hidráulica do mesmo é suficiente pra permitir que a remoção de matéria orgânica do esgoto seja eficiente.

Vale a pena ressaltar que DBO e DQO medem a oxidação da matéria orgânica presente no esgoto, porém as mesmas ocorrem por vias diferentes. A diferença entre as duas pode ser notada nos resultados, onde os valores de DQO são mais altos que os resultados de DBO. Sabe-se que o poder de oxidação do dicromato de potássio (oxidante químico utilizado para medir a DQO) é maior do que o que resulta mediante a ação de microrganismos, desta forma os resultados da DQO de uma amostra é superior ao de DBO. Além disso, a DBO determina apenas a concentração de matéria orgânica biodegradável dos esgotos enquanto que a DQO determina a matéria orgânica biodegradável ou não (VALENTE, PADILHA e SILVA, 1997).

- **Quantificação da Produção de Biogás a Partir da DQO Removida (produção teórica de biogás) e Potencial de Utilização como Fonte de Energia Primária**

A partir das equações (1), (2), (3) e (4), foi possível obter a produção de biogás a partir dos resultados de DQO removida, bem como o potencial de produção de energia elétrica do mesmo. Os dados encontram-se na tabela 4.

**Tabela 4. Estimativa da produção de biogás e do potencial teórico e técnico de produção de eletricidade a partir da DQO removida na biodigestão anaeróbia do reator DAFA da ETE de Muritiba-BA.**

Coleta	Vazão (m³/dia)	DQO removida (KgDQO/m³)	Y (m³CH₄ /Kg DQO removida)	Produção de Biogás (m³/dia)	PTE (kWh/dia)	PTCE (kWh/dia)
A1	959,9	0,41	0,14	87	565	141
A2	911,5	0,63	0,22	195	1266	317
A3	845,9	2,11	0,74	2028	13181	3285
A4	845,9	1,06	0,37	512	3327	832
A5	845,9	0,39	0,13	69	450	113
Média	881,8	0,92	0,32	578	3758	939

Os valores obtidos para a produção de Biogás apresentaram grandes diferenças entre as coletas. Levando em consideração que a estimativa da produção de biogás é calculada com base na DQO removida do esgoto, os resultados obtidos podem ser justificados pelos fatores que contribuíram para a variação da DQO, conforme discutido anteriormente.

A DQO apresentou resultados que foram influenciados pelo horário da coleta e pelas condições climáticas. Os maiores valores de produção de biogás condizem com os dias em que houve maior carga de matéria orgânica no afluente, maior remoção de matéria orgânica nas coletas e temperatura mais elevada, como se sabe, a produção de biogás a partir da digestão anaeróbia sofre influência de fatores como quantidade de matéria orgânica e temperatura, portanto os resultados obtidos para produção de biogás a partir da DQO produzida estão coerentes.

A partir dos resultados obtidos, não só para produção de biogás, mas também para remoção de DQO, identifica-se que a quantidade de matéria orgânica no esgoto sofre variações ao longo do dia, além de variar conforme as condições climáticas. Com isso, pode-se concluir que para avaliar a produção de Biogás a partir da DQO removida deve-se realizar mais de uma análise de DQO ao longo do dia, para contemplar os horários em que há picos e declínios de vazão afluente e matéria orgânica no esgoto, além de utilizar um período de análise que enquadre as épocas chuvosas e de estiagem para que se obtenha uma média que contemple o máximo de variáveis interferentes possível.

A ETE de estudo produzirá uma média de  $939 \pm 1206$  kWh/dia. De acordo com a resenha mensal da Empresa de Pesquisa Energética (2016) o consumo médio residencial do país no ano de 2015 foi de 161,8 kWh/mês, portanto o valor obtido para produção de energia elétrica da ETE de Murtiba seria suficiente pra atender a uma comunidade composta por 175 habitantes.

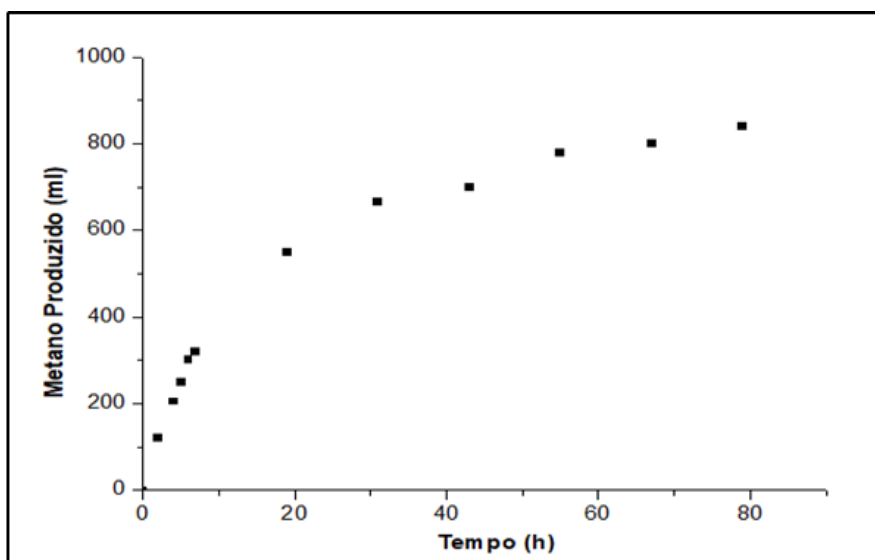
- **Quantificação da produção de metano a partir do protótipo do reator UASB (produção experimental de biogás) e potencial de utilização como fonte de energia primária**

Os testes no protótipo foram iniciados após a modificação do protótipo de fluxo contínuo para batelada. Inicialmente, para realização da medição do metano produzido, testou-se o protótipo do reator acoplado ao Aparato I. O reator foi preenchido com água e após o período de 24 h esperava-se que o aparato permanecesse estanque tendo em vista que não havia a produção de gás. Em menos de 12 h o aparato I liberou NaOH indicando que o sistema não estava seguro e poderia comprometer a medição do volume de biogás.

O teste com o aparato II foi realizado com o mesmo princípio que o teste do aparato I e o mesmo permaneceu estanque por mais de 24h, dessa forma definiu-se que o aparato II seria o mais adequado para realização da medição de metano produzido. Após certificação da vedação do protótipo e escolha do aparato a ser utilizado iniciou-se a operação do reator com o lodo e o afluente proveniente da ETE de Murtiba

Considerando a concentração ideal de lodo igual a 10 g SSV/L, a concentração do lodo coletado avaliada em 54 g SSV/ L e que o espaço ocupado pelo inoculo e substrato é de 4 L temos que a quantidade de lodo inserida no reator é de 0,74 L e os outros 3,25 L são destinados ao substrato.

A produção de metano foi verificada após 2 h do início do experimento, tempo necessário para o gás produzido ter volume e pressão suficientes para permitir que a água circulasse pela curvatura do sifão da tubulação de saída do aparato II. Observou-se que a produção de metano aumentou até 79 h e encerrou a produção em seguida, ou seja, o tempo de detenção hidráulica do sistema foi de 79 h. Nesse período foram produzidos 852,1 ml de metano. A produção acumulada de metano durante o experimento esta ilustrada no gráfico da Figura 11.



**Figura 11. Produção acumulada de metano durante o funcionamento do protótipo**

Até 7 h decorridas do início da produção, a medição foi feita a cada 1 h, após esse período aumentou-se o intervalo para 12 h. Considerando que a produção de metano aumenta até atingir a atividade biológica máxima e depois inicia o processo de decaimento pode-se afirmar que no primeiro intervalo de 12 h a atividade das bactérias ainda estava atingindo seus valores máximos, gerando um intervalo acumulado maior do que os outros de 12 h. A partir desse intervalo foi possível observar diminuição na produção de metano.

Os intervalos noturnos (31 a 43 h e 55 a 67 h) obtiveram menores volumes de metano do que todos os intervalos diários (43 a 53 h e 67 a 79 h), ou seja, o intervalo diário de um determinado dia, mesmo com decaimento em relação aos outros intervalos diários, apresentou valores mais altos que o intervalo noturno do dia anterior, indicando a influência da temperatura na produção de metano.

A produção de metano no protótipo do reator UASB foi de  $0,000259 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{dia}$ . A partir das equações (3) e (4) obteve-se uma produção de eletricidade de 175,8 kWh/dia que, levando em consideração os hábitos de consumo da população brasileira, seria suficiente para atender as necessidades de uma pequena comunidade com 32 habitantes.

- **Comparação Entre os Resultados do Potencial de Produção de Eletricidade do Biogás Obtido a Partir da Produção Teórica de Biogás e da Produção Experimental.**

A produção teórica média de biogás na ETE de Muritiba, para uma vazão afluyente de  $881,82 \text{ m}^3/\text{dia}$ , foi de  $578 \text{ m}^3/\text{dia}$ . O biogás é composto de 65% metano, portanto a ETE de Muritiba produz em média  $375,7 \text{ m}^3/\text{dia}$  de metano. Nesse contexto, para uma vazão de  $0,00325 \text{ m}^3/\text{dia}$ , temos que essa produção teórica de metano seria de  $0,00138 \text{ m}^3/\text{dia}$ . Para essa mesma vazão o protótipo do reator DAFA produziu  $0,000259 \text{ m}^3/\text{dia}$  de metano, dessa forma pode-se observar que a estimativa teórica de produção de metano é cerca de 5 vezes maior que a produção de metano medida no protótipo, Indicando que a obtenção da produção de biogás através da DQO removida está superestimada e que as variações ocorridas nesse parâmetro interferiram no resultado final.

Considerando que a coleta do afluyente para o funcionamento do reator foi realizada pela manhã e que, como visto nos resultados das análises físico-químicas, as mudanças de vazão e temperatura devido aos diferentes horários de coleta ocasionou em diferentes resultados de produção de biogás, é justificável a utilização apenas da média das coletas realizadas pela manhã.

Partindo desse princípio, tem-se que para uma vazão média de  $905,77 \text{ m}^3/\text{dia}$  obteve-se um resultado teórico  $117,13 \text{ m}^3/\text{dia}$  de biogás, portanto a produção teórica de metano foi de  $76,13 \text{ m}^3/\text{dia}$ , considerando a vazão igual  $0,00325 \text{ m}^3/\text{dia}$ , a produção teórica de metano seria de  $0,000273 \text{ m}^3/\text{dia}$ , valor este similar ao determinado através do protótipo que foi  $0,000259 \text{ m}^3/\text{dia}$  de metano, porém essa semelhança entre os resultados não valida a utilização das equações teóricas, tendo em vista as incertezas originadas pelas

influências de temperatura na remoção de DQO e da vazão na concentração de carga poluidora no esgoto ser similares, devido horário de coleta ter sido igual.

A incerteza se deve ao espectro amostral que foi pequeno, sendo assim a utilização de uma amostra composta para realização do estudo eliminaria as dúvidas a respeito da confiabilidade do modelo teórico para estimativa do biogás.

## CONCLUSÕES

Com base nos dados analisados conclui-se que:

A remoção de carga orgânica do reator DAFA da ETE de Muritiba apresentou eficiência de remoção de SST, DBO e DQO em média de 62%, 73% e 79%, respectivamente. Como este é um tratamento primário, que visa a remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica, pode-se concluir que o Reator DAFA apresenta funcionamento adequado e remoção de carga orgânica dentro dos padrões determinados pela literatura. Dessa forma, se o tratamento secundário da ETE, composto por lagoas facultativas, for eficiente, ao final do processo o efluente apresentará características que cumprirão com o padrão de lançamento de efluentes determinado pela resolução nº 430 do CONAMA.

As condições climáticas e vazão de entrada, esta última determinada pelos horários de maior e menor consumo, influenciam na diluição da matéria orgânica no esgoto o que causou variabilidade nos resultados obtidos para concentração dos parâmetros no afluente. A temperatura influencia na eficiência de remoção da carga orgânica, onde quanto maior a temperatura, maior a atividade dos microorganismos, portanto maiores foram os resultados de eficiência de remoção.

A estimativa da produção de biogás a partir da digestão anaeróbia do reator DAFA da ETE de Muritiba apresentou média de 578 m<sup>3</sup>/dia, contudo com grande intervalo de incerteza. A grande variabilidade nos resultados é explicada pela variação da carga orgânica presente no esgoto nos dias da coleta. Dessa forma, pode-se concluir que a produção de Biogás sofre variações ao longo do dia e que para determinação mais eficiente do quanto é produzido deve-se fazer um monitoramento mais eficiente das condições meteorológicas e da vazão de afluente ao longo do dia.

A estimativa da produção de eletricidade apresentou valor médio de 939 kWh/dia, onde sua elevada variabilidade está atrelada à variação da carga orgânica ao longo do dia. Considerando a média do consumo per capita mensal da população brasileira, essa quantidade seria suficiente para suprimimento da necessidade de uma comunidade com 175 habitantes.

A produção de metano no protótipo do reator DAFA atingiu 852,1 ml de metano ao longo de 79 horas. Comparando os resultados teóricos da produção de biogás e os resultados obtidos com a construção do protótipo observa-se que, considerando todas as coletas (matutinas e vespertinas) os valores teóricos para produção de biogás foram superestimados em 5 vezes, porém utilizando apenas as coletas realizadas pela manhã, devido ao afluente utilizado no reator ter sido coletado nesse horário, o valor teórico é compatível com valor medido no protótipo. Dessa forma, pode-se concluir que características como pluviosidade e vazão de entrada influenciam diretamente na produção de biogás e que essa variação de produção pôde ser observada ao longo do dia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AQUINO, S. F. et al.; Metodologia para determinação da atividade metanogênica específica (AME) em lodos anaeróbios. Artigo técnico; Vol.12 - Nº 2 - abr/jun 2007
2. ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, Banco de Informações de Geração – BIG – Capacidade de geração do Brasil. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/Combustivel.cfm>. Acesso em: dezembro de 2017
3. BORGES, H. D. Avaliação da produção de biogás gerado no reator UASB da estação de tratamento de esgotos sanitários Paranoá – DF. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental); Universidade de Brasília, Brasília – DF, junho de 2016.
4. EPE – Empresa de Pesquisa Energética, BEN Balanço Energético Nacional – 2016

5. FARIA, R. A. P.; Avaliação do potencial de geração de biogás e de produção de energia a partir da remoção da carga orgânica de uma estação de tratamento de esgoto – estudo de caso. Dissertação (Mestrado); Universidade Estadual do Oeste do Paraná; Cascavél- PR; Fevereiro. 2012.
6. FERREIRA, F. A., Avaliação da Viabilidade do tratamento de líquidos percolados em estação de tratamento de esgoto, monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2008.
7. GERVASONI, Ronald; Estudo da produção de metano a partir da biodigestão anaeróbia: Relação entre teoria e prática. Trabalho de conclusão de curso, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologias da Universidade Tuiuti do Paraná. Curitiba-PR, 2011.
8. IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; Cidades: Bahia –Muritiba. 2015. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=290980&search=bahia|muritiba>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2018.
9. INMET; Instituto Nacional de Meteorologia, Consulta Dados da Estação Automática: Cruz das Almas (BA); Disponível em: [http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg\\_dspDadosCodigo\\_sim.php?QTQwNg](http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTQwNg). Acesso em: setembro de 2017.
10. JORDÃO, E. P.; PESSOA, A. C., Tratamento de Esgotos Domésticos. 6ª edição. Rio de Janeiro, 2011.
11. SANTOS, M. M., Produção e uso do Biogás no Brasil, Instituto de Energia e Ambiente (IEE), USP, São Paulo, 2016
12. PERCORA, Vanessa; Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento de esgoto residencial da USP- Estudo de caso; Dissertação (Mestrado); Universidade de São Paulo; Programa interunidades de pósgraduação em energia; São Paulo; 2006
13. SCHNEIDERS, D. et. al., Atividade Metanogênica Específica (AME) de lodos industriais provenientes do tratamento biológico aeróbio e anaeróbio, Ambi-Agua, Taubaté, v 8, n. 2, p. 135-145, 2013.
14. VALENTE, J. P. S.; PADILHA, P. M.; SILVA A. M. M. Oxigênio dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no Ribeirão Lavapés/Botucatu – SP; Eclética Química, vol.22 São Paulo 1997.