

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

CAMPUS DO SERTÃO

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JOÃO PAULO RODRIGUES CARDOSO DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA ESPUMA DE POLIURETANO COMO
MATERIAL SUPORTE PARA REATOR DE LEITO FIXO TRATANDO
EFLUENTE INDUSTRIAL**

DELMIRO GOUVEIA

2021

JOÃO PAULO RODRIGUES CARDOSO DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA ESPUMA DE POLIURETANO COMO
MATERIAL SUPORTE PARA REATOR DE LEITO FIXO TRATANDO
EFLUENTE INDUSTRIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Campus do Sertão, como requisito parcial à obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof. Dr. Antônio Pedro de Oliveira Netto

DELMIRO GOUVEIA

2021

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus Sertão
Sede Delmiro Gouveia

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza – CRB-4/2209

O48a Oliveira, João Paulo Rodrigues Cardoso de

Avaliação do desempenho da espuma de poliuretano como material suporte para reator de leito fixo tratando efluente industrial / João Paulo Rodrigues Cardoso de Oliveira. – 2021.
50 f. : il.

Orientação: Antônio Pedro de Oliveira Netto.
Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas.
Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2021.

1. Tratamento de efluentes. 2. Efluente industrial. 3. Espuma de poliuretano. 4. Reator anaeróbio. 5. Impactos ambientais. I. Oliveira Netto, Antônio Pedro de. II. Título.

CDU: 628.34

Folha de aprovação

João Paulo Rodrigues Cardoso de Oliveira

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA ESPUMA DE POLIURETANO COMO MATERIAL SUPORTE PARA REATOR DE LEITO FIXO TRATANDO EFLUENTE INDUSTRIAL

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao corpo docente do Curso
de Engenharia Civil da Universidade
Federal de Alagoas – Campus do
Sertão e aprovado em 20 de setembro
de 2021.

Prof. Dr. Antonio Pedro de Oliveira Netto, UFAL – Campus do Sertão
(Orientador)

Banca Examinadora:

 Documento assinado digitalmente
Antonio Pedro de Oliveira Netto
Data: 30/09/2021 17:15:54-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Antonio Pedro de Oliveira Netto, UFAL – Campus do Sertão
(Orientador)

Regina Camara Lins

Prof^a. Dr^a. Regina Camara Lins, UFAL – Campus do
Sertão(Examinadora Interna)

Rayanne Karlla Santos da Silva

Rayanne Karlla Santos da Silva – Engenheira Civil
(Examinadora Externa)

Agradecimentos

Agradeço a minha mãe Maria Aparecida e meu pai José Cardoso por terem me ensinado desde criança os valores que uma boa pessoa deve ter ao longo da vida, por todo o incentivo ao estudo que me deram, por todos os conselhos, e acima de tudo por todo amor. Gostaria de deixar uma relevância especial a minha mãe por ser uma mulher guerreira, cujo bom caráter é destaque em sua personalidade, foi a principal responsável por ter chegado nesse momento e conquistado o pouco que conquistei até aqui.

À minha família tenho imensa gratidão por todo carinho, sabedoria e suporte que me deram ao longo da minha graduação. Em especial a minha avó Maria que abriu as portas da sua casa e me acolheu como um filho no início da jornada.

Um agradecimento imensurável a minha namorada Krystila por todo companheirismo, por todo encorajamento, por sua compreensão em diversos momentos, além de estar ao meu lado nos bons e maus momentos. Um agradecimento especial a família da minha namorada por todo acolhimento, por toda atenção e afeto ao longo desses anos.

Agradeço ao professor e orientador Antonio Netto por todos os conselhos dados, por todas as dúvidas esclarecidas, por todo ensinamento repassado ao longo da graduação. Um grande agradecimento por ter me aceito como integrante do PIBIC, além de integrante do laboratório de saneamento e por fim como orientando nesse trabalho de conclusão de curso.

Agradeço ao extinto PEC sertão e todos os membros que ao longo de uma boa parte da graduação proporcionaram um elevado crescimento pessoal e acadêmico, me fizeram ter um desenvolvimento em diversos ambientes da graduação, serei sempre grato por todos os momentos únicos.

Agradeço ao meu grupo do projeto de pesquisa encabeçado pelo professor Thiago Pereira, os alunos Italo, Gabrielle e Beatriz por terem me aceito, por todo conhecimento construído ao longo da pesquisa, além de toda ajuda e parceria envolvida do grupo.

Um agradecimento a todos os funcionários da UFAL campus sertão que ao longo da graduação se mostraram sempre à disposição, com grande acolhimento e auxílio dos alunos durante a graduação.

Um agradecimento especial ao Laboratório de Saneamento Ambiental da UFAL, tanto o campus do sertão quanto o A.C Simões, em especial aos funcionários. Agradeço as pessoas com quem tive a honra de trabalhar junto, no Laboratório de Saneamento do campus, ao técnico Marcel, ao Leandro, Rafael, Guilherme, Julio e Sandro.

Agradeço especialmente à todos os grandes amigos que a UFAL me proporcionou ao longo da graduação, em especial a minha turma composta por Alvaro, Andreza, Douglas, Clara, Gabriel, Carlos, Paula, Islânio, Beatriz, Cristina, Ariany, Katarina Beatriz, Katarina Gomes, Lindayane, Verônica, Tranzillo, Leonam e Fernando.

Por fim, mas não menos importante, não poderia deixar de agradecer à alguns amigos de estudos, das risadas, das dificuldades e, principalmente, da união sendo eles Julio Abelardo, Tadeu Melo, Zezão, Felipe Coutinho e Ricardo Aciole. Além desses não poderia agradecer imensamente pelo irmão que a vida me deu durante o curso, Yury Reis "O cara!" uma pessoa iluminada e abençoada com quem eu tive a honra de conviver ao longo de 4 anos.

Resiliência

Alexandre “Gaules” Borba

RESUMO

Os impactos ambientais ocasionados pelo rápido crescimento urbano e industrial representam uma grande preocupação para a sociedade, de modo que as indústrias são geradoras de boa parte dos efluentes líquidos destinados ao tratamento adequado antes da destinação final. Dessa forma, o presente estudo tem por finalidade avaliar o desempenho de um reator anaeróbio de leito fixo utilizando como material suporte a espuma de poliuretano. O reator anaeróbio foi de fluxo ascendente e confeccionado com tubulação de policloreto de vinila de diâmetro 75 mm. Assim, a altura do material suporte dentro do reator foi de 110 cm e o tempo de detenção hidráulica utilizado foi de 24 horas. Em relação à taxa de remoção da DQO a espuma de poliuretano apresentou uma eficiência de 71%, o pH teve uma média de $8,10 \pm 0,22$, enquanto que a média de carga orgânica aplicada foi de $1,276 \text{ kgDQO/ m}^3.\text{dia}$ e a média da carga orgânica removida foi de $0,90 \text{ kgDQO/ m}^3.\text{dia}$. Os sólidos sedimentares apresentaram resultados variáveis, em que o sólido total apresentou máxima eficiência de 14%, os sólidos suspensos totais e sólidos totais voláteis apresentaram eficiência média de 42%. Durante a pesquisa, a espuma de poliuretano apresentou um resultado satisfatório para a remoção de DQO, segundo NBR 13969:1997. No entanto, a remoção dos sólidos sedimentares teve resultado abaixo do esperado.

Palavras-chave: Reator anaeróbio, impacto ambiental, material suporte.

ABSTRACT

The environmental impact caused by rapid urban and industrial growth is a major concern for society, so that industries generate a large part of the liquid effluents intended for proper treatment before final disposal. Thus, the present study aims to evaluate the performance of an anaerobic fixed-bed reactor using polyurethane foam as support material. The anaerobic reactor was of ascending flow and made with polyvinyl chloride tubing of diameter 75 mm. Thus, the height of the support material inside the reactor was 110 cm and the hydraulic detention time used was 24 hours. Regarding the COD removal rate, polyurethane foam had an efficiency of 71 %, pH had an average of $8,10 \pm 0,22$, while the average organic charge applied was 1,276 kgDQO/ m³.day and mean organic load removal was 0,90 kgDQO/ m³.day. Sedimentary solids presented variable results, in which the total solid presented maximum efficiency of 14%, total suspended solids and total volatile solids presented an average efficiency of 42%. During the research, polyurethane foam presented a satisfactory result for the removal of COD, according to NBR 13929:1997. However, the removal of sedimentary solids was below expected.

Keywords: Anaerobic reactor, environmental impact, support material.

Lista de Figuras

Figura 01 - Rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia	19
Figura 02 - Distribuição dos sólidos do esgoto bruto (em termos de concentração).....	24
Figura 03 - Fluxograma da configuração do sistema.....	27
Figura 04 - Espuma de poliuretano.....	28
Figura 05 – Configuração do sistema de tratamento da indústria de embalagens.....	29
Figura 06 - Reator em funcionamento.	30
Figura 07 - Variação de pH durante operação completa.	32
Figura 08 - Variação de DQO durante operação completa.....	34
Figura 09 - Eficiência na remoção de DQO com relação à média efluente	34
Figura 10 - Relação entre COV aplicada e COV removida.....	37
Figura 11 - Variação de SST durante operação completa.....	38
Figura 12 - Percentual de remoção de SST com relação à média efluente	38
Figura 13 - Variação de SSV durante operação completa.....	39
Figura 14 - Percentual de remoção de SSV com relação à média efluente	40
Figura 15 - Variação temporal da concentração de ST.....	41
Figura 16 - Percentual de remoção de ST com relação à média efluente.....	42
Figura 17 - Variação temporal da concentração de STV.....	42
Figura 18 - Percentual de remoção de STV com relação à média efluente.....	43

Lista de Tabelas

Tabela 01 - Parâmetros Analisados, método utilizado e frequência de amostragem	31
Tabela 02 - Descrição das amostras coletadas	32
Tabela 03 - Valores de COV durante operação do sistema.....	33
Tabela 04 - Valores de COV durante operação do sistema.....	36
Tabela 05 - Compilação dos resultados médios obtidos.....	39

Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos

ANA – Agência Nacional de Águas

CO – Carga Orgânica

CO₂ – Dióxido de Carbono

CH₄ - Metano

CHV – Carga Hidráulica Volumétrica

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COV – Carga Orgânica Volumétrica

CTEC – Centro de Tecnologia

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

H₂ – Hidrogênio

H₂S – Sulfeto de hidrogênio

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

OMS – Organização Mundial da Saúde

PVC – Policloreto de Vinila

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SST – Sólidos Suspensos Totais

SSV – Sólidos Suspensos Voláteis

ST – Sólidos Totais

STV – Sólidos Totais Voláteis

TDH – Tempo de Detenção Hidráulico

UASB – Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente com Manta de Lodo (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

UFAL – Universidade Federal de Alagoas

Sumário

1.0. Introdução	14
2.0. Objetivos	16
2.1. Objetivo Geral.....	16
2.2. Objetivos Específicos.....	16
3. Revisão Bibliográfica	17
3.1. Tratamento anaeróbio.....	17
3.2. Fatores intervenientes na digestão anaeróbia	21
3.2.1. pH.....	21
3.2.2. Tempo de detenção hidráulica (TDH)	22
3.2.3. Carga orgânica volumétrica (COV)	22
3.2.4. Demanda química de oxigênio (DQO)	23
3.2.5. Sólidos	24
3.2.6. Material suporte.....	25
4. Metodologia	26
4.1. Reator Anaeróbio de Leito Fixo	26
4.2. Material Suporte	27
4.3 Operação do Sistema	28
4.4 Ensaios.....	31
5.0. Resultados e Discussões.	32
6. Considerações Finais	45
6.1. Principais dificuldades	45
6.2 Sugestões.....	46
7.0. Referências	47

1.0. Introdução

O Brasil possui uma das maiores reservas de água doce do mundo. Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2010), cerca de 12% da água potável do mundo, se encontra em território brasileiro. Além disso, o Brasil alcançou significativo desenvolvimento econômico e demográfico, passando de pouco mais de 172 milhões em 2001 para mais de 210 milhões de habitantes em 2019 (IBGE, 2019)

Ainda de acordo com levantamento o Sistema Nacional de Informações (SNIS, 2018), apenas 52,9% do esgoto gerado é coletado, no qual 46,2% é tratado. Em algumas regiões, esses índices são ainda piores, como exemplo temos a região Nordeste, onde cerca de 28% do esgoto é coletado. Dessa forma, é importante desenvolver tecnologias eficazes, e economicamente viáveis que possam ser utilizadas em sistemas de processamento, garantindo maior eficiência das condições de processamento.

Por esse motivo, pesquisas têm sido realizadas sobre a implantação de reatores anaeróbios como base principal para o tratamento de esgoto doméstico. Segundo Chernicharo (2016), a tecnologia de tratamento anaeróbio comprova a eficiência na remoção de matéria orgânica em esgoto doméstico e sua boa aplicabilidade, além de poder, ser bem adaptada às regiões tropicais e subtropicais onde o Brasil está localizado.

O reator anaeróbio de leito fixo possui como característica no tratamento de esgoto a estabilidade do processo baseada na retenção da biomassa ativa no interior do reator, durante um intervalo maior que o período de geração das arqueias metanogênicas (SANTANA JUNIOR, 2018). Segundo Santos e Oliveira (2011), este possui boas características hidrodinâmicas, mantém elevadas concentrações de biomassa aderida ao suporte e tempo de detenção hidráulico relativamente curto para cargas orgânicas elevadas.

Os custos elevados e a complexidade são fatores que aumentaram ao longo dos anos à dificuldade para o tratamento dos resíduos gerados pelas indústrias, cada mais robotizadas e tecnologicamente avançadas. Assim, parte das indústrias consideram projetos de estações de tratamento convencionais, cuja idealização é para remoção de matéria orgânica de fácil biodegradação,

consequentemente contaminantes nocivos não são removidos (SPÓSITO e MORITA, 2008).

Ainda segundo Spósito e Morita (2008), situação preocupante é a implantação de um sistema de tratamento, inteiramente construído pela indústria, com base em padrões convencionais das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE). Tal fator resulta em problemas para operação do sistema, com dificuldades em atingir a completa remoção de agentes nocivos resultantes da indústria.

Kamali et al. (2016), mostraram que o tratamento anaeróbio de efluentes da fábrica de papel e celulose, tem uma elevada eficiência na redução de resíduos e produção de biogás. No mesmo estudo, os autores apresentaram que a digestão anaeróbia é significativamente utilizada como tratamento primário ou secundário de diversos resíduos industriais. Portanto, demonstra que o tratamento anaeróbio tem sido cada vez mais utilizado para tratar resíduos das indústrias.

Com base nisso, foi proposto a aplicação de um reator anaeróbio de leito fixo mais conhecido como filtro biológico para atuar em escala de bancada. O material suporte utilizado na presente pesquisa será a espuma artificial de poliuretano, sendo este um material bastante consolidado em pesquisas e representa uma boa alternativa para a aderência da biomassa em reatores anaeróbios.

2.0. Objetivos

2.1. Objetivo Geral

Analisar o desempenho em relação à remoção de sólidos e carga orgânica para um efluente industrial, a partir de um reator anaeróbio de leito fixo e fluxo ascendente, utilizando espuma de poliuretano, um material reciclável, como material suporte.

2.2. Objetivos Específicos

- Verificar a eficiência da espuma de poliuretano na remoção dos parâmetros da série de sólidos.
- Verificar a eficiência na remoção de matéria orgânica do filtro anaeróbio.
- Analisar a eficiência da espuma de poliuretano como material suporte de filtro biológico tratando efluente industrial.

3. Revisão Bibliográfica

3.1. Tratamento anaeróbio

Ao longo das últimas décadas a ação humana sobre o meio ambiente ganhou notoriedade nos mais distintos setores sociais, resultando em uma preocupação crescente no que se refere aos cuidados com a preservação do meio ambiente. Dessa forma, muitos campos de pesquisas foram desenvolvidos ou mesmo criados para suprir o déficit de quanto a relação humana afeta os ecossistemas que estão presentes e como reduzir tal problemática.

Entre os problemas apresentados está a relação de tratamento de esgoto sanitário e o impacto que este gera ao meio ambiente, bem como a saúde pública das pessoas que fazem parte da localidade. De acordo com Ferreira (2016) a falta de saneamento ocasiona doenças cuja maioria é transmitida por meio orofecal, resultando em sintomas como a diarreia.

Ainda de acordo com o autor citado acima, a Dengue e a Zika acabaram gerando grandes epidemias nacionais, o que resultou em grandes problemas sanitários para os brasileiros. Nessa conjuntura, desenvolveu-se ao longo das décadas diversos sistemas para o tratamento de esgoto, em que pesquisas foram e continuam sendo feitas para orientar na melhor escolha de sistema de acordo com as necessidades do local.

Seguindo esse aspecto, Von Sperling (2018) determina que para a escolha do sistema de tratamento é necessário levar em consideração fatores como a viabilidade técnico-econômica de implantação, o impacto ambiental provocado ao corpo receptor, além do nível de tratamento e sua eficiência na remoção de elementos que se deseja.

Diante de tal cenário, a digestão anaeróbia tem sido cada vez mais empregada nos mais diversos tipos de efluentes, aproveitando dos aspectos ambientais em que o sistema é inserido, em que se destaca o baixo custo operacional, assim como, a baixa demanda energética necessária para o funcionamento do sistema. Segundo Camargo (2000) após o mundo ser envolvido em uma grave crise energética, diversas pesquisas foram financiadas e incentivadas para se alcançar o menor custo energético durante o tratamento de águas residuárias.

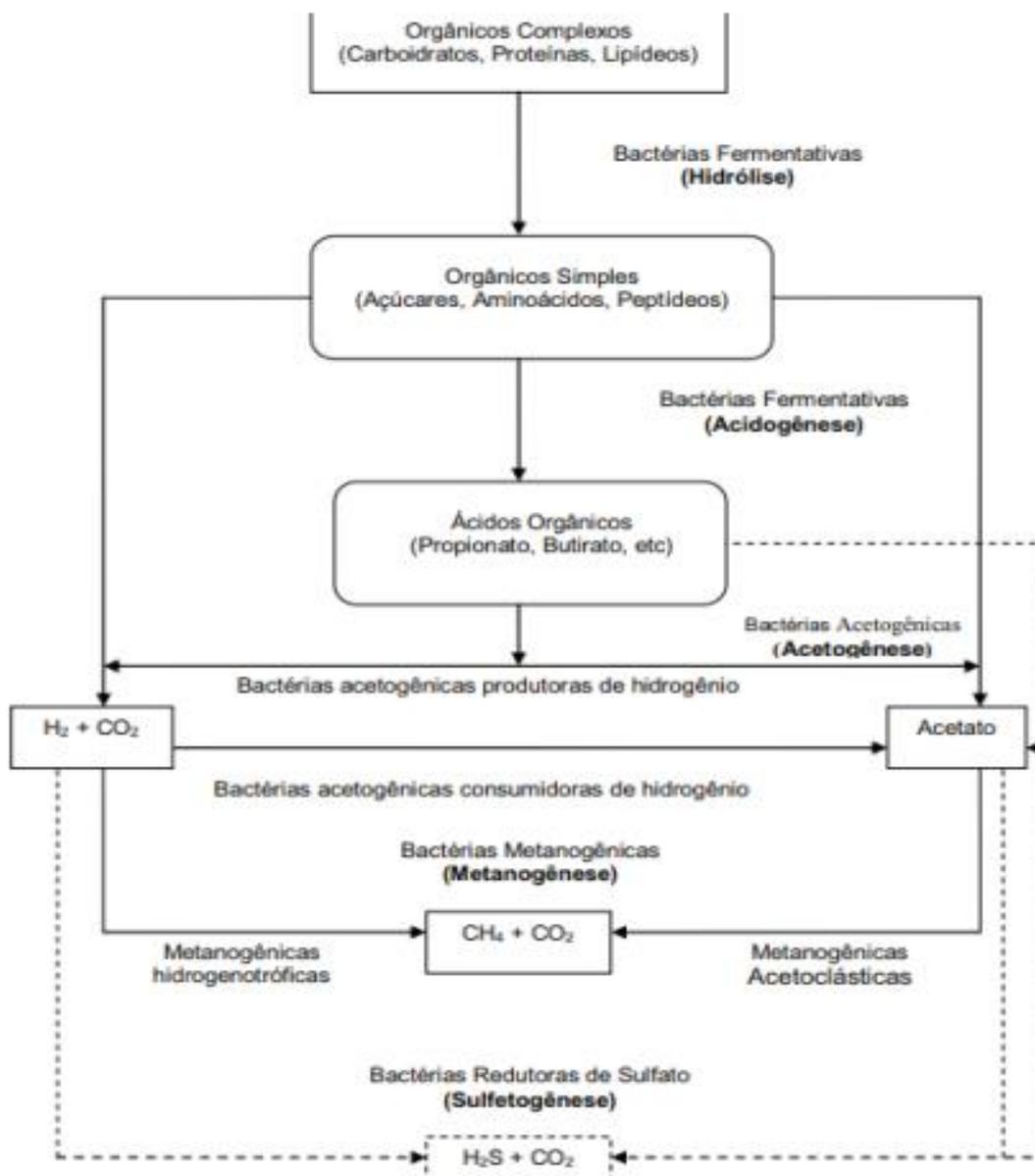
Segundo Torres (2012) o reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo, denominado internacionalmente por UASB – *upflow anaerobic sludge*

blanket, é o sistema de tratamento anaeróbio mais difundido no mundo. Esse sistema se utiliza de uma manta de lodo para tratar o esgoto, em que um separador trifásico é empregado para separar os gases e o lodo gerado durante todo o tratamento. Segundo Carvalho (2019) a temperatura é um fator determinante para a eficiência de reatores UASB com relação a remoção de matéria orgânica, de modo que temperaturas elevadas favorecem o bom funcionamento do sistema, conseqüentemente, o Brasil tem apresentado uma elevada disseminação dessa tecnologia por apresentar um clima tropical.

De acordo com Chernicharo (2016) o tratamento anaeróbio é um sistema amplamente utilizado no tratamento de resíduos sólidos, esgotos domésticos e provenientes de indústrias agrícolas e alimentícias. Ainda segundo o autor o tratamento apresenta como vantagem o baixo consumo de energia; a produção de metano cujo resultante pode ser reutilizado; por suportar elevadas cargas orgânicas. Assim como, possui desvantagens por se tratar de um tratamento que requer um pós-tratamento; a remoção de alguns nutrientes e patógenos é insatisfatório; bem como a geração de odor desagradável.

De acordo com Pontes (2003) o processo de digestão anaeróbia se divide em três fases envolvendo a hidrólise de compostos orgânicos complexos, a produção de ácidos (acidogênese e acetogênese) e a produção de metano (metanogênese). Enquanto que, Chernicharo (2016) simplifica a digestão anaeróbia em duas fases, sendo elas a acidogênica e metanogênica, subdividindo as mesmas em vários caminhos metabólicos. Em situações específicas das condições do reator e do substrato, é possível existir uma etapa a mais chamada de sulfetogênese, de acordo com Chernicharo (2016). A Figura 01 apresenta os caminhos metabólicos definidos por Chernicharo.

Figura 01 - Rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia.



Fonte: Chernicharo, adaptado (2016).

Na etapa de hidrólise, por meio de bactérias fermentativas hidrolíticas, existe a conversão de material particulado complexo em materiais dissolvidos mais simples, como aminoácidos, açúcares e ácidos, sendo estes capazes de transpor a parede celular. Segundo Chernicharo (2016) a hidrólise é uma etapa usualmente lenta, que pode ter seu processo acelerado a partir de fatores como, o potencial hidrogeniônico, os aspectos químicos e físicos do composto e a temperatura de operação.

Com relação a acidogênese, o material resultante da hidrólise é metabolizado pelo metabolismo fermentativo no interior celular, resultando em

produtos simples como os ácidos graxos voláteis, gás hidrogênio e carbônico, álcoois e outros (MARQUES, 2018).

Na acetogênese os compostos decorrentes da acidogênese são transformados em substratos intermediários em acetato, gás carbônico e hidrogênio. Ainda de acordo com Marques (2018) nessa fase pode ocorrer a homoacetogênese em que H_2 são utilizados por microrganismos e resultam no acetato.

No que se refere a metanogênese as arqueas metanogênicas empregam os substratos da acetogênese, ou seja, utilizam o acetato e hidrogênio resultante para a produção de metano e gás carbônico. Segundo Marques (2018) o processo de metanogênese é medido por dois grupos de arqueas, sendo estes as acetoclásticas e as hidrogenotróficas, em que as primeiras são responsáveis por gerar cerca de 70% do metano a partir do acetato, enquanto as hidrogenotróficas são responsáveis por gerar os 30% restantes a partir do hidrogênio.

Com base em Chernicharo (2016) ainda é possível citar a sulfetogênese como etapa da digestão anaeróbia, em que sulfatos são transformados em sulfetos, classificando essa etapa de razoável relevância devido a produção de sulfeto de hidrogênio a partir das bactérias sulforedutoras.

Durante este trabalho de pesquisa foi utilizado o filtro anaeróbio de fluxo ascendente, sendo um reator característico por comportar um material aderente inerte em seu interior, de modo que se tenha o desenvolvimento de bactérias agregadas ao material suporte. Também conhecido como filtro de leito fixo ou filme fixo, o sistema se caracteriza por possibilitar o crescimento do biofilme na superfície do recheio inerte (GRAVILESCU, 2002).

O filtro anaeróbio é um tanque contendo material suporte, podendo ser citados as pedras britadas, carvão ativado, argila expandida entre outros materiais inertes, responsáveis por proporcionar o crescimento celular aderido. Na superfície de cada peça do material suporte acontece a fixação e desenvolvimento de microrganismos na forma de biofilme, bem como na forma de flocos ou grânulos nos poros do material inerte (COSTA, 2008).

Ainda segundo a autora o meio suporte ocupa cerca de 50 a 70% do filtro, de modo que o espaço submerso do filtro possua vazios entre os meios suportes resultando assim no preenchimento dos mesmos pelo efluente líquido.

De acordo com Costa (2008) os filtros anaeróbios podem operar sobre um tempo de detenção hidráulico (TDH) baixo, com gasto energético mínimo, sendo capaz de permitir variações de vazões durante operação, além de baixa perda dos sólidos biológicos. Toda via, um dos principais problemas para a operação do filtro anaeróbio é a sua capacidade de entupimento do suporte ou colmatação, principalmente quando empregados no tratamento de águas residuárias com maiores concentrações de sólidos em suspensão (CRUZ et al., 2013).

3.2. Fatores intervenientes na digestão anaeróbia

O tratamento biológico é diretamente influenciado por reações complexas e fenômenos físicos, químicos e biológicos, sendo assim existem diversos fatores reacionários do sistema que podem sofrer modificações e conseqüentemente alterar a eficiência do sistema biológico. Segundo Magassy (2017) a necessidade dos organismos vivos no tratamento biológico, torna o processo mais susceptível a alterações quando comparado com outros tratamentos, a exemplo do químico.

De acordo com Silva (2015) são diversos os fatores que afetam a digestão anaeróbia, sendo eles o pH, temperatura, tempo de detenção hidráulica (TDH), carga orgânica (CO), macro e micro nutrientes presentes no meio.

3.2.1. pH

Segundo Chernicharo (2016) para monitoramento adequado de um sistema anaeróbio de tratamento é relevante observar o pH e a alcalinidade do meio por se tratarem de aspectos ambientais de igual relevância. O processo de degradação anaeróbio, apresenta diversos tipos de bactérias metanogênicas e acidogênicas, representando um fator importante para o devido equilíbrio do sistema de tratamento o equilíbrio entre os diferentes microrganismo.

Ainda segundo o mesmo autor, bactérias acidogênicas são razoavelmente menos sensíveis ao pH do meio, quando comparadas às bactérias metanogênicas, indicando em seu trabalho uma faixa de pH entre 6,0 e 8,3 como ideal para equilíbrio do sistema. Desse modo, variações abruptas de pH podem indicar um efeito negativo no processo de digestão anaeróbia (CHERNICHARO, 2016).

3.2.2. Tempo de detenção hidráulica (TDH)

De modo geral, o tempo de detenção hidráulica corresponde ao tempo em que o resíduo mantém-se dentro do sistema de tratamento, sendo este um fator variável entre horas ou dias e caracterizado por sua alta relevância para o bom funcionamento do sistema anaeróbio.

Para determinação do valor de TDH em sistemas como o do presente estudo, em que o volume de entrada é semelhante ao volume de saída, é necessário empregar uma relação entre o volume do reator e a vazão de entrada do efluente.

Segundo Hoyos (2016) os reatores anaeróbios de alta taxa são capazes de condicionar o substrato com tempos de retenção hidráulica abaixo do tempo de retenção celular, de modo que a biomassa pode ter seu tempo estendido ao longo de semanas ou meses enquanto o líquido permanece ao longo de algumas horas, variando de acordo com o sistema anaeróbio empregado. De forma que, o acompanhamento do parâmetro de TDH ganha relevância por garantir a duração de tempo eficiente entre o contato do substrato com a biomassa.

A relação desse parâmetro também possui eficiência verificada por sua relação com a taxa de carregamento hidráulico e orgânico do sistema, de modo que alterações feitas no TDH influenciam diretamente nos resultados da carga orgânica volumétrica (COV), outro parâmetro de igual relevância para a digestão anaeróbia.

3.2.3. Carga orgânica volumétrica (COV)

De modo geral, a COV nada mais é que a massa de matéria orgânica por unidade de volume do reator, em que tal parâmetro é de elevada relevância para o emprego e funcionalidade de reatores anaeróbios, assim a equação 3.1 apresenta o cálculo da carga orgânica no sistema:

$$COV = \frac{Q \cdot S_0}{V} \quad (3.1)$$

Onde:

COV é dada em (kgDQO/m³ d);

Q - Vazão média afluyente ao reator;

S₀ - Concentração de matéria orgânica do esgoto afluyente ao reator (kgDQO/m³);

V - Volume total do reator ou do meio suporte (a depender de qual COV se queira avaliar) dada em m³.

De acordo com Gueri et al. (2018) existe uma relação direta com o aumento da produção de biogás a partir da ampliação da COV no sistema, até um ponto limite da capacidade dos microrganismos do reator. Ao continuarmos considerando Gueri et al. (2018), um aumento acentuado na carga pode resultar na inibição microbiana, resultando em um desequilíbrio no tratamento anaeróbio, por vezes tal problema é resultante de mudanças abrupta no substrato.

Segundo Hoyos (2016) um sistema de tratamento em operação, após ser submetido à elevada carga orgânica, existe a possibilidade de sofrer com desequilíbrio entre os microrganismos que estão interligados à digestão anaeróbia. Ainda segundo o autor, tal desequilíbrio pode ocasionar uma superioridade da fase ácida quando comparada a metanogênica durante a digestão anaeróbia, resultando na perda de eficiência na remoção de sólidos orgânicos e suspensos.

3.2.4. Demanda química de oxigênio (DQO)

A demanda química de oxigênio é um parâmetro empregado para indicar a concentração de matéria orgânica existente em águas residuárias ou naturais, com base na quantidade de oxigênio utilizada durante a degradação química das amostras analisadas (BADO; PERCIO; LINDINO, 2013). Ainda segundo os autores a análise de tal parâmetro é empregada na avaliação da eliminação de contaminantes industriais em estações de tratamento.

Segundo Sgorlon et al. (2011) com relação ao tratamento anaeróbio, a verificação da estabilização da matéria orgânica, utiliza o parâmetro de DQO como agente de monitorização. Zuccari (2005) implica que a análise de DQO é importante por ser capaz de determinar a poluição de corpos hídricos ou resíduos industriais ou domésticos, proporcionando uma ideia do quão poluídos estão os ecossistemas aquáticos envolvidos no tratamento.

É importante diferenciar a análise de DQO da avaliação da demanda bioquímica de oxigênio (DBO). Embora ambos indiquem a quantidade de oxidação da matéria orgânica no sistema, na quantificação da DBO, os microrganismos são os responsáveis por realizar a oxidação; enquanto que na

DQO, o responsável é um agente oxidante (geralmente, o dicromato de potássio). (VON SPERLING, 2018).

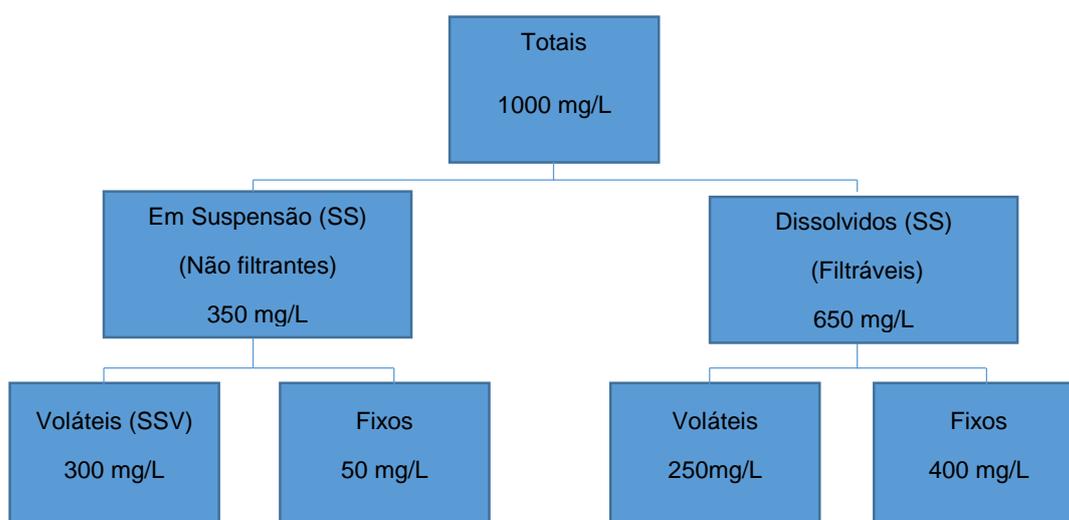
3.2.5. Sólidos

Um dos parâmetros de grande relevância para avaliação do tratamento é a quantidade de sólidos presente no efluente da digestão anaeróbia. Para tal, Von Sperling (2018) estabelece uma classificação em sólidos dissolvidos e suspensos para especificação quanto ao tamanho, em sólidos voláteis e fixos para especificação das características químicas da amostra, além disso classifica em sólidos suspensos sedimentáveis e não sedimentáveis para uma especificação de sedimentabilidade.

Dessa forma, os sólidos quando submetidos à uma temperatura de 550 °C a fração orgânica é volatilizada, restando apenas a fração inerte após a combustão, assim os sólidos voláteis refletem a carga orgânica nos sólidos, enquanto que os sólidos fixos correspondem a matéria inorgânica ou mineral do meio (VON SPERLING, 2018).

Ainda segundo o autor os sólidos podem ser classificados como sedimentáveis para aqueles que são capazes de sedimentar durante um intervalo de 1 hora, de modo que todo o restante que não sedimentar são classificados como os sólidos não sedimentáveis. A figura 2 representa uma distribuição típica dos tipos de sólidos encontrados no esgoto bruto.

Figura 02 – Distribuição dos sólidos do esgoto bruto (em termos de concentração).



Fonte: Adaptado Von Sperling, 2018.

Von Sperling (2018) declara que todos os agentes de contaminação da água, excetuando-se os gases dissolvidos, tem contribuição na carga de sólidos. Segundo Dutra (2014) a quantificação e classificação do sólido é uma característica determinante para a escolha do melhor tipo de tratamento a ser empregado. Raposo et al. (2011) expressaram que os limitados dados literários a respeito dos sólidos demonstra que na prática a concentração destes influencia diretamente a taxa de biodegradação do inóculo. Ainda segundo tais autores quanto maior a concentração de sólidos, mais ágil é a conversão anaeróbia do substrato.

3.2.6. Material suporte

A escolha adequada de material suporte para a imobilização da biomassa tem resultado direto no desempenho do filtro, por serem responsáveis pela retenção física dos sólidos suspensos, bem como se adequarem a fixação dos microrganismos para formação do biofilme (BAETTKER et al., 2018).

Para Van Haandel e Lettinga (1994), a escolha do material suporte é um dos maiores empecilhos para o emprego e bom desenvolvimento dos filtros anaeróbios em escala real, resultante dos custos dos materiais. Sendo assim, ao longo das últimas décadas no Brasil foram desenvolvidas diversas pesquisas que buscam materiais alternativos para implementação em sistemas de filtragem anaeróbia.

Seguindo tais perspectivas, pesquisas foram feitas para desenvolver alterações na concepção e operação em um único material amplamente estudado, bem como a busca de novos materiais de suporte. Para tal, podem-se citar pesquisas como Cirne et al. (2007) que utilizou anéis de eletroduto cortado, escória de alto-forno e tijolos cerâmicos como meio suporte, bem como Tonetti et al. (2011) pesquisou a eficiência de anéis de bambu como material suporte, Magassy (2017) empregando bucha vegetal de curcubitácea, e Carvalho (2019) que utilizou pneu triturado como meio suporte.

4. Metodologia

No presente trabalho, foi operado um reator anaeróbio de leito fixo e fluxo ascendente utilizando espuma de poliuretano com granulometria de 1 cm^3 como meio aderente. Foi utilizado efluente de uma indústria de embalagens localizada no município de Delmiro Gouveia – AL. Dessa forma, almejava-se determinar a eficiência da espuma de poliuretano como material suporte para a remoção de matéria orgânica e dos sólidos presentes no efluente industrial.

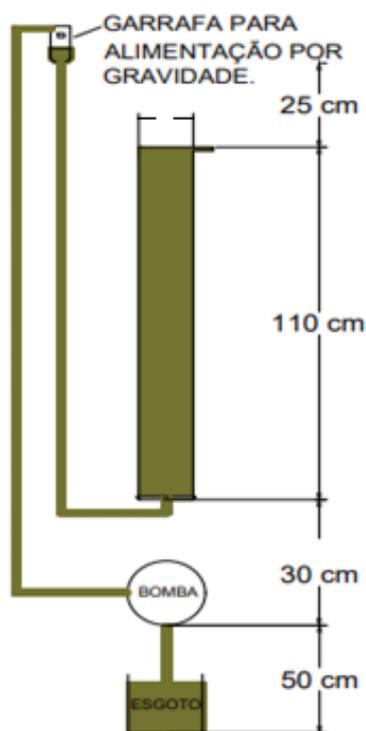
4.1. Reator Anaeróbio de Leito Fixo

O reator, em escala de bancada (laboratorial), foi confeccionado em policloreto de vinila (PVC). O material foi escolhido por ser leve, de fácil manuseio, baixo custo e resistente.

Com diâmetro de 75 mm e altura total de 115 cm, o reator possuía um volume total de 5,1 litros. Sendo, a altura em que se encontrava o material suporte de 110 cm, o volume reacional considerado para as projeções dos parâmetros hidrodinâmicos, foi de 4,9 litros.

O reator foi alimentado por bomba dosadora tipo diafragma com fluxo em pulso. O afluente era encaminhado até um recipiente plástico posicionado numa cota que permitia o regime hidráulico por gravidade forçada. A alimentação ocorria pela parte inferior do reator de leito fixo. A Figura 02 mostra o fluxograma da configuração do sistema.

Figura 03 – Fluxograma da configuração do sistema.



Fonte: Autor (2021).

4.2. Material Suporte

O material suporte escolhido para o preenchimento do reator foi a espuma de poliuretano. A escolha de tal material se deveu por razões econômicas, por se tratar de um material de baixo custo, por questões ambientais, em que se pode reaproveitar de outros materiais já fabricados, e por sua eficiência no tratamento de efluentes.

Para adesão celular, via crescimento aderido, a espuma de poliuretano foi escolhida como material suporte tendo em vista os bons resultados de outros estudos para essa finalidade (STETS et al. 2014, FIA et al. 2010). Foi empregada em cubos de cerca de 1 cm^3 , de maneira que distribuísse melhor e permitisse uma maior homogeneidade no interior do reator, evitando possíveis caminhos preferenciais do afluente em tratamento. A Figura 03 mostra exemplos do material utilizado no reator.

Figura 04 – Espuma de poliuretano.



Fonte: Autor (2021).

4.3 Operação do Sistema

O reator foi montado e manuseado no espaço físico do Laboratório de Saneamento da Universidade Federal de Alagoas – Campus Sertão, do dia 06/01/2020 ao dia 07/02/2020, totalizando um período de 5 semanas. Um segundo período operacional, com alteração da carga orgânica aplicada, não foi realizado em função do período pandêmico e a não possibilidade de utilização presencial em laboratório.

Considerando disposições da NBR 13969:1997 que recomendam para o tempo de detenção hidráulico do filtro anaeróbico em temperaturas acima de 25 C° o TDH mínimo de 22 h. Sendo assim, o TDH estabelecido para projeto foi de 24 h, em que o reator operou sobre uma vazão de 2,98 mL/min e uma velocidade ascensional de 0,04 m/s.

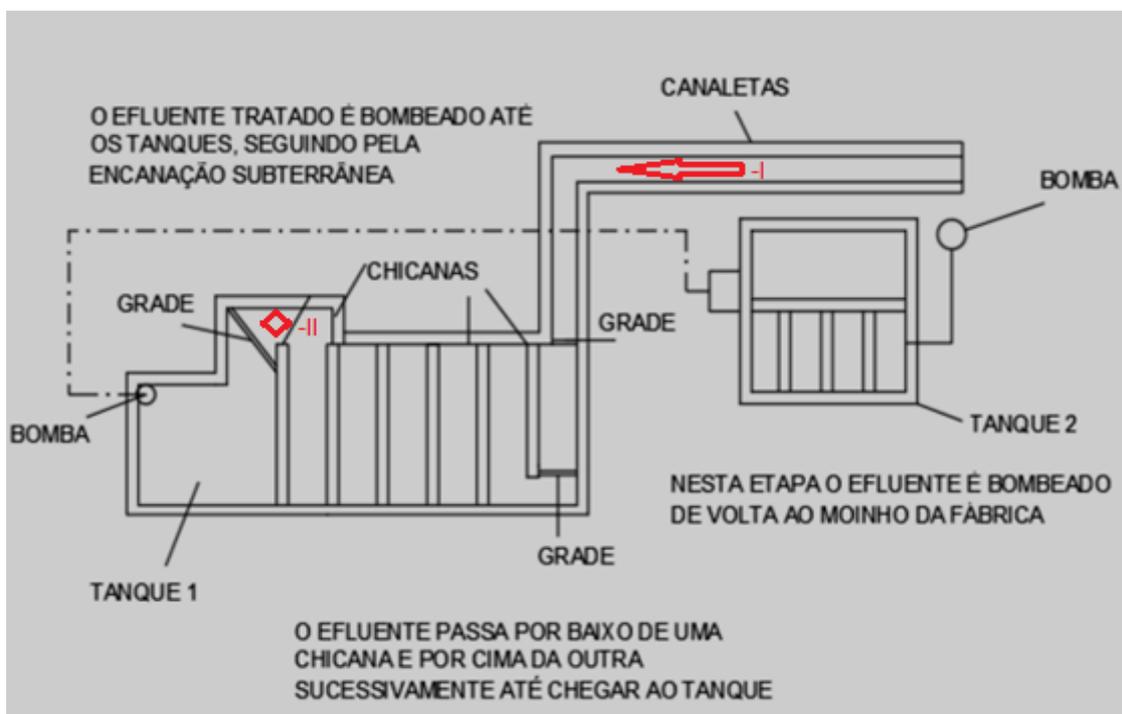
A princípio foi necessário fazer a inoculação do material suporte, intensificando a adesão da população microbiana na espuma de poliuretano, permitindo assim uma estabilidade mais ágil do reator. Seguindo a inoculação descrita por Oliveira Netto e Zaiat (2012), em que o lodo foi coletado diretamente na fábrica de sacolas, misturando-o com o material suporte em um recipiente. Passadas duas horas, momento onde o lodo ficou visualmente aderido, o material suporte foi colocado no reator sendo iniciado o processo.

Durante a operação, as coletas do esgoto aconteciam em uma fábrica de sacolas plásticas localizada no município de Delmiro Gouveia – AL, uma vez por semana, sempre no período da manhã. A própria indústria possui um sistema de tratamento preliminar dos seus efluentes, inicialmente o resíduo é transportado

por um canal, passando por um conjunto de grades, onde a maior parte dos sólidos grosseiros é retido.

Em seguida, o sistema de pré-tratamento apresenta uma série de chicanas, por onde flui todo o efluente, sendo direcionado para um tanque de sedimentação, processo em que o efluente sairá do tanque através de bombeamento e reintroduzido no processo de produção da indústria. Por conveniência, e pelo fato da necessidade de trabalhar com esgoto previamente tratado (a nível preliminar), o efluente industrial era coletado ao final das chicanas, pouco antes de ser inserido no Tanque 1, momento onde o fluxo de efluente era contínuo. A Figura 04 apresenta a configuração do sistema de tratamento da fábrica.

Figura 05 - Configuração do sistema de tratamento da indústria de embalagens.

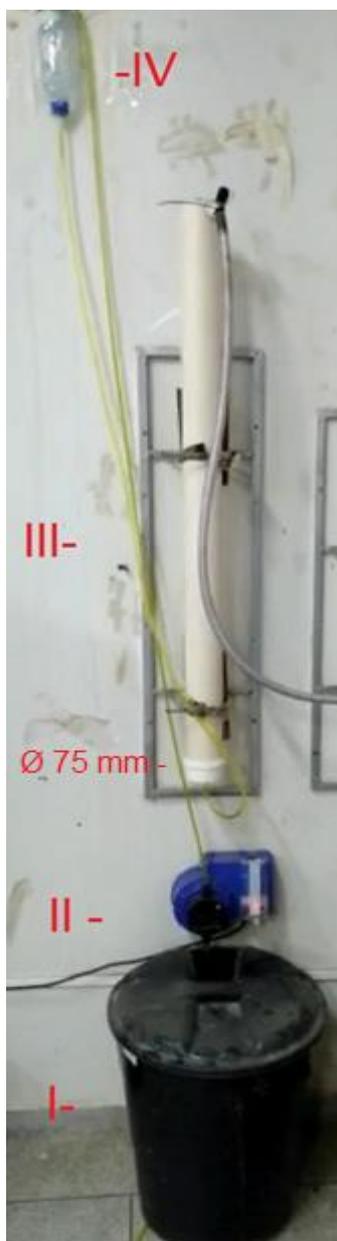


Legenda: I- Sentido de Escoamento; II- Local de coleta da amostra. Fonte: Silva, adaptado (2019).

Após coletado, armazenado e transportado em galões de 20 L, todo o efluente era armazenado dentro de uma geladeira no Laboratório de Saneamento Ambiental da UFAL – Campus do Sertão. Diariamente era feita a retirada de cerca de 5,5 litros dos resíduos do efluente refrigerado, de modo que durante os domingos o volume tratado era posto em recirculação e, conseqüentemente utilizado para abastecer o reator até a segunda-feira. O

volume de 5,5 litros eram suficientes para abastecimento do sistema ao longo das 24 horas seguintes, em que aguardava-se o atingimento da temperatura ambiente para alimentação do tanque de equalização. A Figura 05 demonstra o reator em funcionamento.

Figura 06 – Reator em funcionamento.



Legenda: I – Tanque de equalização; II- Bomba dosadora; III- Reator Anaeróbico; IV- Recipiente plástico de alimentação. Fonte: Autor (2021).

Ao longo da semana eram coletadas duas amostras, em dois dias distintos, uma para o afluente (segundas e quartas), assim como duas amostras dos seus respectivos efluentes (terças e quintas), em ocasiões excepcionais foi

necessário a mudança de datas coletoras. Ao todo eram coletados e armazenados cerca de 250 mL para cada amostra, e posterior análise.

4.4 Ensaio

O Laboratório de Saneamento da UFAL – Campus do Sertão foi o espaço utilizado para a realização de análises de remoção de Sólidos Suspensos Totais (SST) e Voláteis (SSF), como também de Sólidos Totais (ST) e Voláteis (STV). Além disso, no campus do sertão também se realizaram análises das amostras com relação ao pH de entrada e saída.

Devido à, limitações na estrutura do campus do sertão, foi necessário dividir as amostras coletadas e congelar uma delas para posterior análise da DQO no Laboratório de Saneamento Ambiental do Centro de Tecnologia – CTEC do Campus A. C. Simões da UFAL.

Para o ensaio de pH, foi utilizado um peagâmetro de bancada, enquanto os demais ensaios a metodologia utilizada foi seguida conforme apostila intitulada como Metodologia de Análises de Águas e Efluentes Líquidos elaborada pelo Laboratório de Saneamento Ambiental do Centro de Tecnologia (CTEC) da UFAL – Campus A.C. Simões. A tabela 01 apresenta todos os parâmetros analisados, assim como seus respectivos métodos utilizados e frequência de amostras.

Tabela 01 – Parâmetros Analisados, método utilizado e frequência de amostragem.

Parâmetros	Unidade	Método	Frequência
Vazão	mL/min	-	Diária
pH	-	Potencimétrico	2x/semana
DQO	mg/L	Espectofotométrico	2x/semana
SST	mg/L	Gravimétrico	2x/semana
SSV	mg/L	Gravimétrico	2x/semana
ST	mg/L	Gravimétrico	2x/semana
STV	mg/L	Gravimétrico	2x/semana

Fonte: Autor (2021).

5.0. Resultados e Discussões.

Todo o processo ficou sobre operação de 33 dias com TDH igual a 24h conforme relatado na metodologia. As amostras (Tabela 02) foram colhidas para análise após uma semana do início da operação visando reduzir a influência dos sólidos fracamente aderidos, após processo de inoculação, e liberados junto com o efluente.

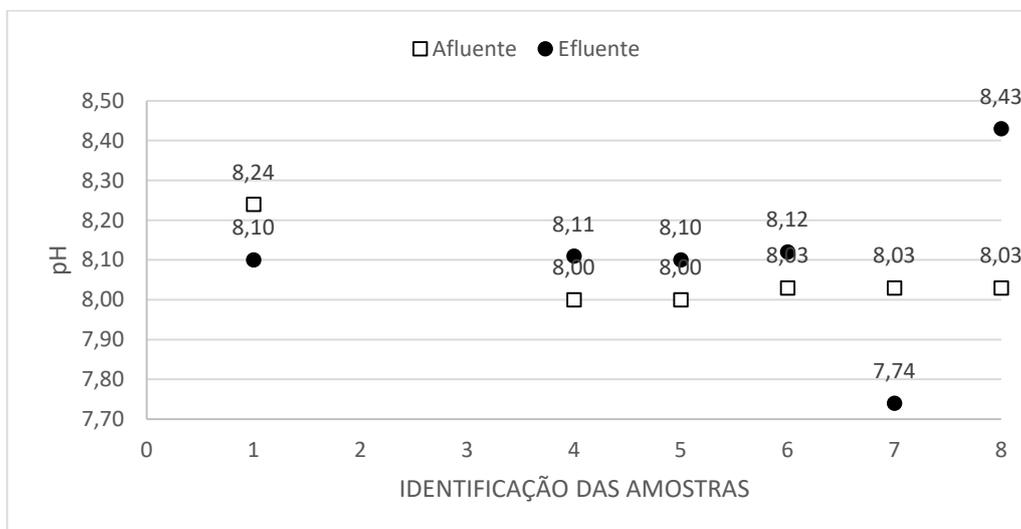
Tabela 02 – Descrição das amostras coletadas.

Amostra	Coleta Efluente	Coleta na Indústria
1	16/01/2020	
2	18/01/2020	13/01/2020
3	21/01/2020	
4	23/01/2020	20/01/2020
5	28/01/2020	
6	30/01/2020	29/01/2020
7	05/02/2020	
8	07/02/2020	03/02/2020

Fonte: Autor (2021).

Com relação à suscetibilidade dos microrganismos do reator em relação ao pH do meio, foi necessário fazer o acompanhamento do afluente e efluente para notar possíveis variações desse parâmetro ao longo da operação do reator. O reator apresentou pH afluente em torno de $8,07 \pm 0,11$, enquanto as amostras de efluentes convergiram para $8,10 \pm 0,22$. A Figura 06 demonstra a variação de pH ao longo da operação do reator.

Figura 07 – Variação de pH durante operação completa.



Fonte: Autor (2021).

Stets et al. (2014) e Fia et al. (2010), apresentaram resultados em que a variação de pH se manteve entre 0,1 a 0,2. Assim, ao longo das semanas o pH em análise manteve uma variação razoável. Segundo Chernicharo (2016) a tolerância para variações de faixa está entre 6,0 e 8,3, para sistemas iguais a presente pesquisa. Sendo assim, o desempenho do reator se mostrou satisfatório ao longo de boa parte do estudo, de modo que apenas a última amostra apresentou valor acima do esperado. Infelizmente, as amostras 2 e 3 acabaram não sendo monitoradas devido à quebra de equipamento.

Considerando que o carregamento orgânico é o principal parâmetro considerado na pesquisa, temos que a DQO média do afluente ficou em 1276 ± 127 mg/L, enquanto os valores médios para o seu efluente foi de 367 ± 77 mg/L. A Tabela 03 apresenta os valores de COV durante operação do sistema.

Tabela 03 - Valores de COV durante operação do sistema.

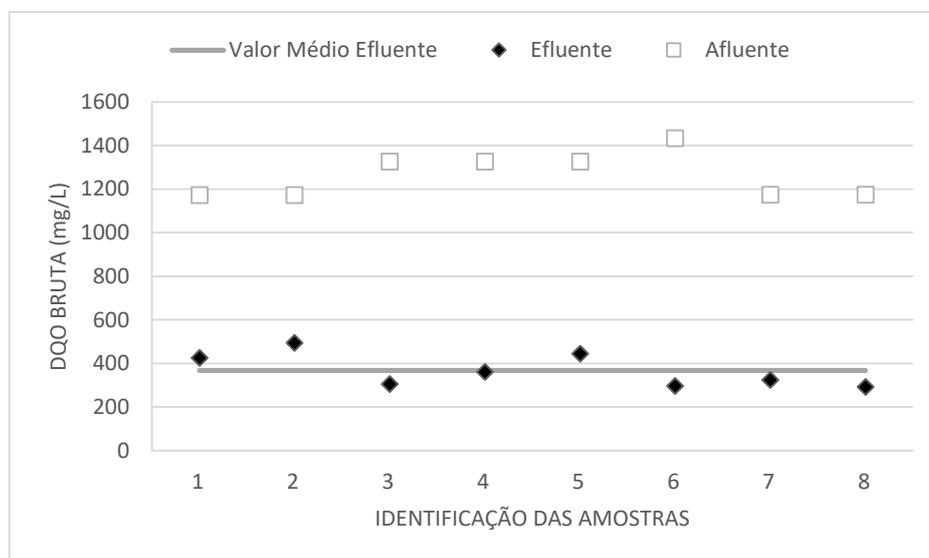
Data	Tipo	DQO (mg/L)	Percentual Removido
16/01/2020	Afluente	1172,00	69%
	Média Efluente	367,00	
18/01/2020	Afluente	1172,00	69%
	Média Efluente	367,00	
21/01/2020	Afluente	1326,00	72%
	Média Efluente	367,00	
23/01/2020	Afluente	1326,00	72%
	Média Efluente	367,00	
28/01/2020	Afluente	1326,00	72%
	Média Efluente	367,00	
30/01/2020	Afluente	1433,00	74%
	Média Efluente	367,00	
05/02/2020	Afluente	1174,00	69%
	Média Efluente	367,00	
07/02/2020	Afluente	1174,00	69%
	Média Efluente	367,00	

Fonte: Autor (2021).

Em termos percentuais, a remoção de DQO obtidos com a espuma de poliuretano, variou entre os 69% e 74% apresentando uma média final de 71% ao longo das semanas analisadas. Vale ressaltar que tal eficiência foi obtida com base na média efluente de DQO ao longo de toda operação. A Figura 07

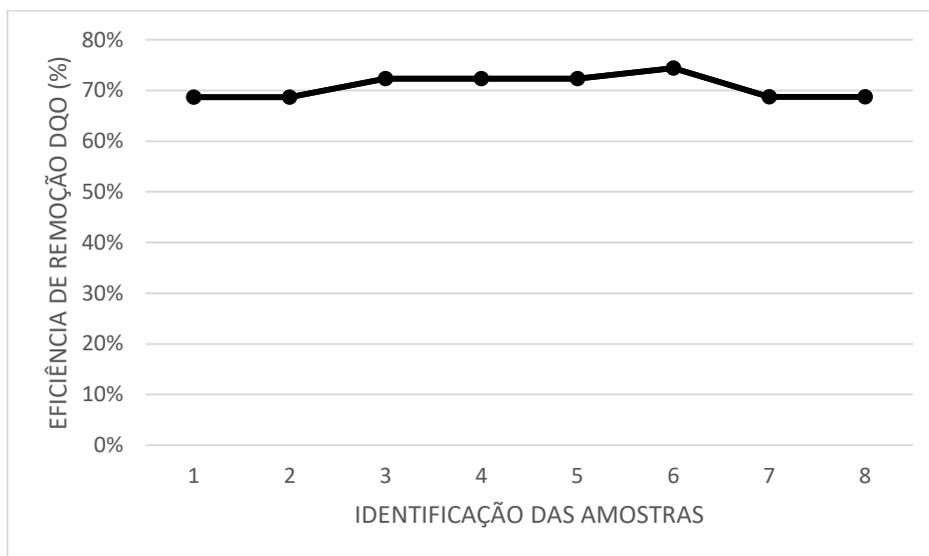
demonstra a variação temporal da concentração de DQO, enquanto a Figura 08 apresenta o percentual de remoção de DQO durante a operação.

Figura 08 – Variação de DQO durante operação completa.



Fonte: Autor (2021).

Figura 09 – Eficiência na remoção de DQO com relação à média efluente.



Fonte: Autor (2021).

Carvalho (2019) trabalhando com reator anaeróbio de leito fixo e fluxo ascendente, cujo material suporte foi o pneu triturado e tratando resíduo industrial proveniente da mesma fábrica do presente trabalho, encontrou valores afluentes de DQO de $1033,9 \pm 55,61$ mg/L e valores efluentes de $287,8 \pm 70,65$ mg/L. Assim, a eficiência média de remoção de 72 % quanto a remoção de DQO, sendo este um valor muito próximo com o encontrado nesta pesquisa, demonstrando eficiências de remoção próximas para distintos materiais suporte.

Os resultados de DQO se mostraram satisfatórios quando comparados com outros estudos similares realizados por Stets et al. (2014), onde verificaram que a eficiência no tratamento de efluentes de um matadouro por biodigestores anaeróbios, em termos de remoção de DQO, utilizando espuma de poliuretano para imobilização celular, variou entre 58% e 76%. Fia et al. (2010), analisaram a eficiência da espuma de poliuretano, reator de leito fixo e fluxo ascendente, que mostrou resultados médios de 73% na remoção de DQO.

Chanakya e Khuntia (2014), analisaram a aplicação de materiais suporte orgânicos e sintéticos, em que a taxa de remoção de DQO variou entre 47 e 60% para reatores compostos de material orgânico, enquanto aqueles preenchidos com materiais sintéticos apresentaram uma variação de 60 a 73%. Fernandes et al. (2015), avaliaram a viabilidade da aplicação do material orgânico (*Luffa cylindrica*) como material suporte e seus resultados demonstraram uma remoção de 33 a 55% de DQO.

Araújo Jr (2006), trabalhando com efluente fabril, a partir de tratamento anaeróbio com reator de leito fixo, cujo material suporte era composto de espuma de poliuretano e argila expandida, encontrou uma remoção média para DQO de 58%, para um TDH de 24 h. Tais pesquisas demonstram a eficiência e aplicabilidade de materiais suporte sintéticos como a espuma de poliuretano para aplicabilidade em reatores anaeróbios de leito fixo.

A COV é um importante instrumento de análise para sobre o funcionamento do sistema de tratamento, sendo este calculado conforme a DQO obtida ao longo da operação. Dessa forma, com base nos resultados da COV é possível continuar a análise quantitativa sobre a remoção de matéria orgânica do reator.

Compreendendo que a COV aplicada é a razão entre o valor da DQO aplicada das amostras pelo TDH do experimento, enquanto a COV removida é a relação entre a subtração dos valores de DQO bruta afluente e efluente dividido pelo TDH. Com base nos valores descobertos de DQO foi possível fazer o cálculo para os valores de COV aplicada e COV removida média durante a operação do reator, e conseqüentemente montar o gráfico com a equação da reta para uma linha de tendência de eficiência do sistema. A Tabela 03 apresenta

os valores de COV durante a operação do sistema e seu respectivo percentual removido considerando a média efluente.

Tabela 04 – Valores de COV durante operação do sistema.

Data	Tipo	COV (kg/ m ³ .dia)	COV Removido (kg/ m ³ .dia)	Percentual Removido
16/01/2020	Afluente	1,17	0,80	69%
	Média Efluente	0,37		
18/01/2020	Afluente	1,17	0,80	69%
	Média Efluente	0,37		
21/01/2020	Afluente	1,33	0,96	72%
	Média Efluente	0,37		
23/01/2020	Afluente	1,33	0,96	72%
	Média Efluente	0,37		
28/01/2020	Afluente	1,33	0,96	72%
	Média Efluente	0,37		
30/01/2020	Afluente	1,43	1,07	74%
	Média Efluente	0,37		
05/02/2020	Afluente	1,17	0,81	69%
	Média Efluente	0,37		
07/02/2020	Afluente	1,17	0,81	69%
	Média Efluente	0,37		

Fonte: Autor (2021).

Carvalho (2019) trabalhando com mesmo efluente industrial da presente pesquisa, assim como reator anaeróbio de leito fixo e TDH de 13,5 horas, apresentou taxas de COV aplicada de $1,85 \pm 0,13$ kgDQO/m³.dia e COV removida de $1,33 \pm 0,12$ kgDQO/m³.dia consequentemente a eficiência média de remoção foi cerca de 72%.

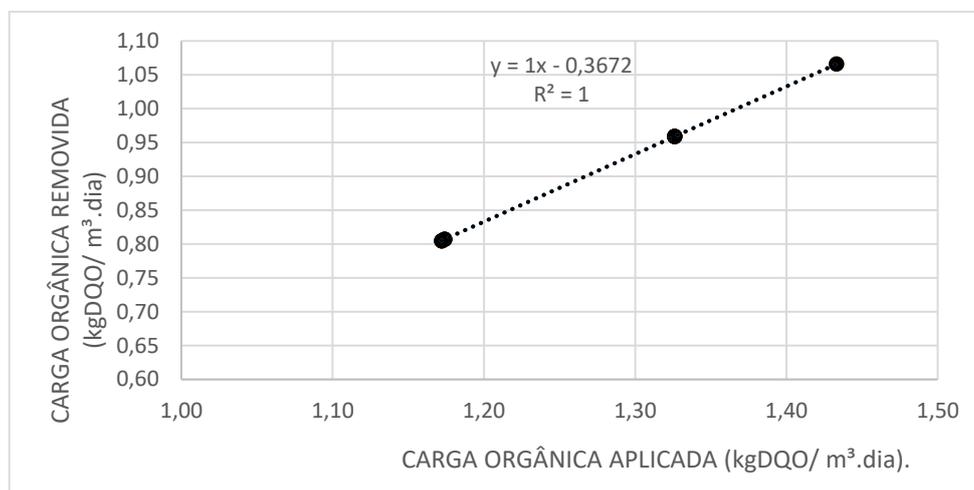
Siqueira (2008), tratando de diferentes tipos de vinhaça em um reator anaeróbio de leito fluidizado, mantendo o sistema com um TDH de 23 horas, aplicando duas cargas de COV de 3,33 kgDQO/ m³.dia e 6,68 kgDQO/ m³.dia em duas fases distintas de operação I e II, conseguiu implementar uma remoção de COV de 53 % e de 67%, respectivamente, em termos de DQO.

Baettker et al. (2018), trabalharam com reator anaeróbio de fluxo ascendente e leito fixo, apresentaram duas fases, cuja diferença consistiu na alteração da COV a partir da redução de TDH de 8 para 4 horas, respectivamente da fase I e II. Dessa forma, o carvão ativado apresentou uma eficiência de

remoção de 94% para COV aplicada de 1,44 kgDQO/ m³.dia, enquanto sua eficiência caiu para os 79% para uma COV aplicada de 2,88 kgDQO/ m³.dia, ao trabalhar com a cerâmica os autores encontraram uma eficiência de 81% para COV aplicada de 1,54 kgDQO/ m³.dia, ao aumentar a COV aplicada para 3,08 kgDQO/ m³.dia sua eficiência passou para 60%.

Para mostrar a eficiência do tratamento é necessário avaliar a proximidade do coeficiente linear da linha de tendência com relação a 1,0, devido à indicação entre a aproximação entre a carga orgânica removida em comparação a carga orgânica aplicada. A Figura 09 mostra a relação entre carga orgânica aplicada e carga orgânica removida.

Figura 10 - Relação entre COV aplicada e COV removida.



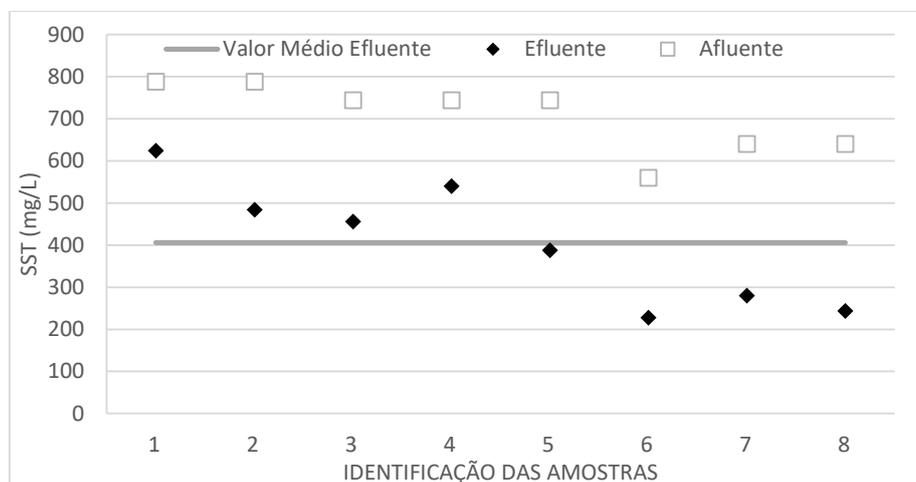
Fonte: Autor (2021).

Dessa forma, a média de carga orgânica aplicada ficou em 1,27±0,10 kgDQO/ m³.dia enquanto a carga orgânica removida rondou os 0,90±0,10 kgDQO/ m³.dia. Fia et al. (2010), tratando água residuária do processamento de frutos cafeeiro apresentou uma carga orgânica aplicada de 0,98 kgDQO/ m³.dia, para um TDH de 1,07 dias, foi observado que o reator conseguiu atingir uma máxima eficiência na remoção orgânica de 92%. Enquanto, o presente estudo apresentou uma média de remoção de COV em cerca de 71%, tal diferença pode estar relacionada com a categoria de efluente trabalhado.

Com relação aos sólidos suspensos, foi possível analisar a remoção do SST sendo este um parâmetro importante para verificar ao longo da operação do sistema, bem como a remoção para SSV. No que tange ao SST temos uma

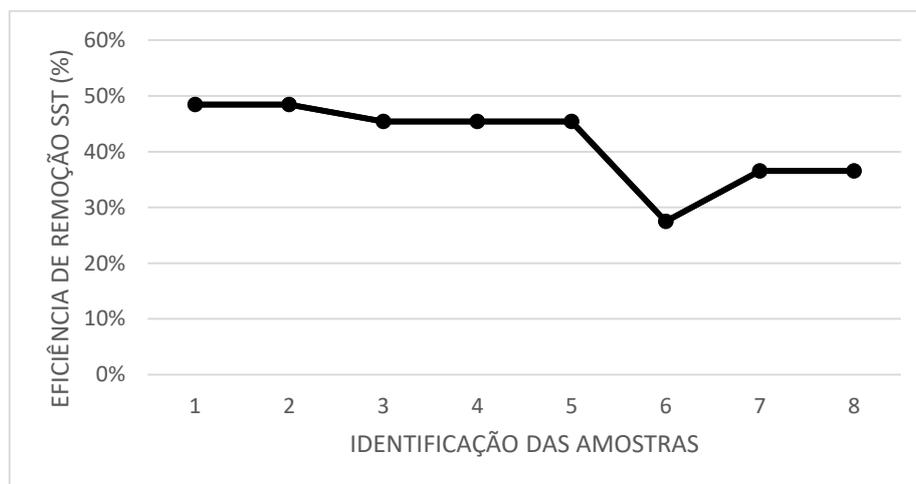
eficiência média de remoção de $42 \pm 7\%$. A figura 10 apresenta a análise temporal de SST, enquanto a Figura 11 demonstra a eficiência da remoção de SST com relação à média efluente.

Figura 11 - Variação de SST durante operação completa.



Fonte: Autor (2021).

Figura 12 – Percentual de remoção de SST com relação à média efluente.



Fonte: Autor (2021).

Observando as Figuras 10 e 11 é possível notar uma estabilidade na remoção de SST ao longo de quase toda operação, com um leve decréscimo na remoção da sexta amostra. O valor médio afluyente de SST foi 683 ± 103 mg/L, enquanto que o valor médio efluente foi 405 ± 145 mg/L.

Damasceno (2019) trabalhando com reator anaeróbio de leito fixo em sua análise de fluxo ascendente, com meio suporte de pneu triturado e tratando esgoto doméstico, encontrou valores afluentes de SST de $338,5 \pm 156,43$ mg/L e efluentes de $244 \pm 187,92$ mg/L resultando em uma eficiência de operação de

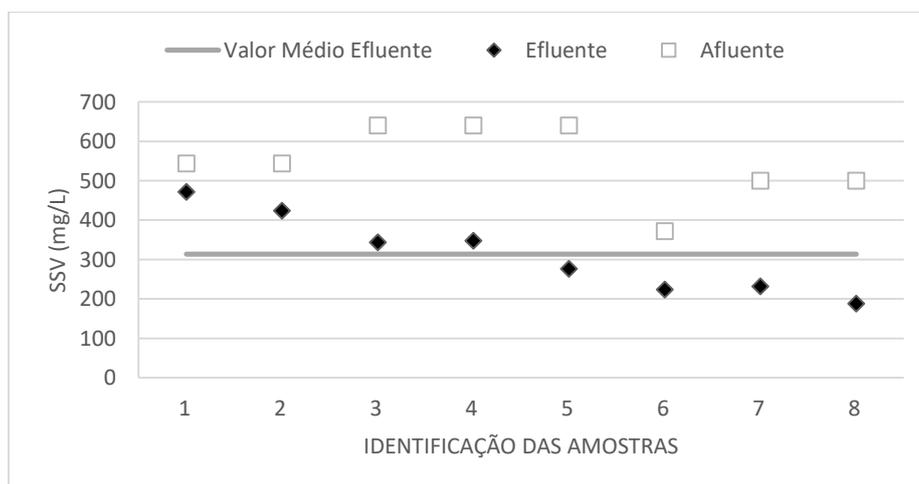
33% na remoção de tal parâmetro. Tais valores demonstram uma correlação com a baixa remoção encontrada na presente pesquisa na remoção de SST utilizando do reator anaeróbio como meio de tratamento.

Fia et al. (2012), operando um reator anaeróbio de leito fixo preenchido com cascalho, analisando o tratamento de esgoto doméstico cuja concentração de SST para afluente foi de 132 ± 75 mg/L, enquanto seu efluente apresentou concentração de 30 ± 22 mg/L, ou seja, uma eficiência média de 73%.

Em estudo já citado Araújo (2006), considerando concentração afluente 239 ± 69 mg/L e efluente de 67 ± 25 mg/L, obteve uma eficiência de remoção em cerca de 72%. Com base nisso, e correlacionando com a presente pesquisa podemos notar um baixo percentual de remoção de SST, entretanto as elevadas carga afluentes podem ser a explicação para tal fator.

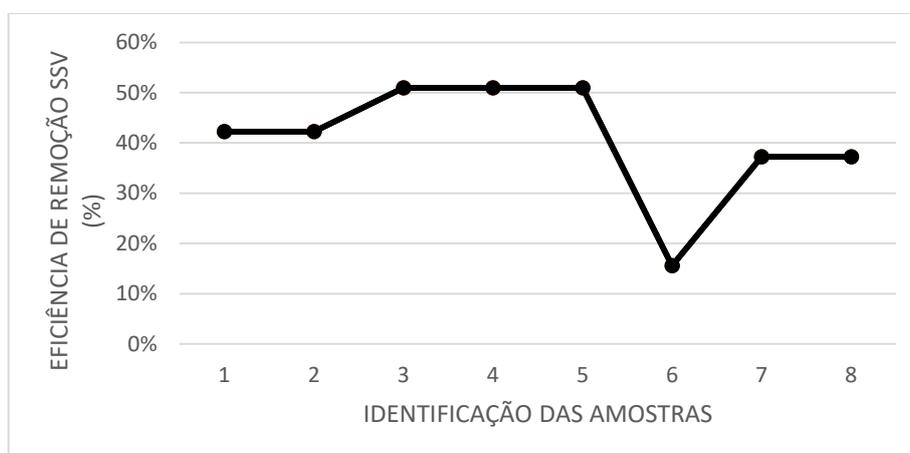
Analisando os valores de efluente e afluente obtidos para os SSV, é possível notar diante das Figura 12 e 13, a similaridade com os resultados obtidos para a remoção do SST. De modo que, os valores médios para os afluentes foi de 514 ± 111 mg/L e efluentes em 314 ± 101 mg/L, resultando em uma eficiência média de remoção de $41 \pm 12\%$.

Figura 13 - Variação de SSV durante operação completa.



Fonte: Autor (2021).

Figura 14 - Percentual de remoção de SSV com relação à média efluente.



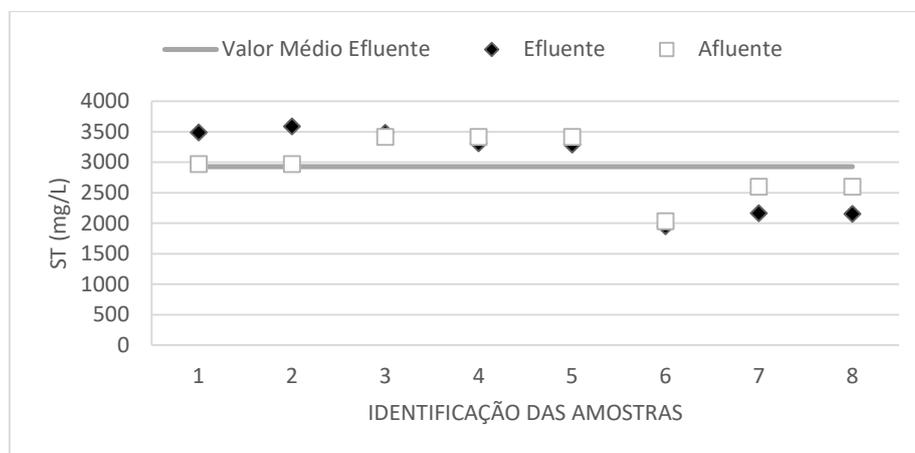
Fonte: Autor (2021).

Siqueira (2008), analisou que ao dobrar o carregamento orgânico de um reator anaeróbio de leito fluidificado, sem modificar o TDH do experimento, resultou no aumento considerável nos valores médios efluentes dos sólidos suspensos voláteis. Carvalho (2019), analisou um reator de leito fixo e fluxo ascendente, cuja amostra analisada constituía da análise para resíduos domésticos em comparação ao industrial, de modo que a análise dos SSV também tiveram aumento. Logo, ao analisar a Figura 12 é notório que assim como ocorreu com os SST, também houve influência da elevada carga orgânica para com a eficiência da remoção dos SSV.

Por fim, após análise dos sólidos suspensos, foi analisado a influência na remoção de ST e STV para afluentes e efluentes. Dessa forma, notou-se que a remoção desses parâmetros mostraram pouco eficazes e em algumas amostras houve até a elevação do efluente, quando comparado com o seu respectivo afluente, o que indica uma elevada taxa de sólidos dissolvidos e sua baixa remoção.

Para os ST notou-se uma maior concentração no efluente ao longo da primeira metade das amostras analisadas. A redução da concentração de ST iniciou ao longo da segunda semana de amostras do reator, alcançando a maior eficiência do sistema na última semana, cuja máxima remoção foi de 14%. A Figura 14 a variação temporal da concentração de ST.

Figura 15 - Variação temporal da concentração de ST.



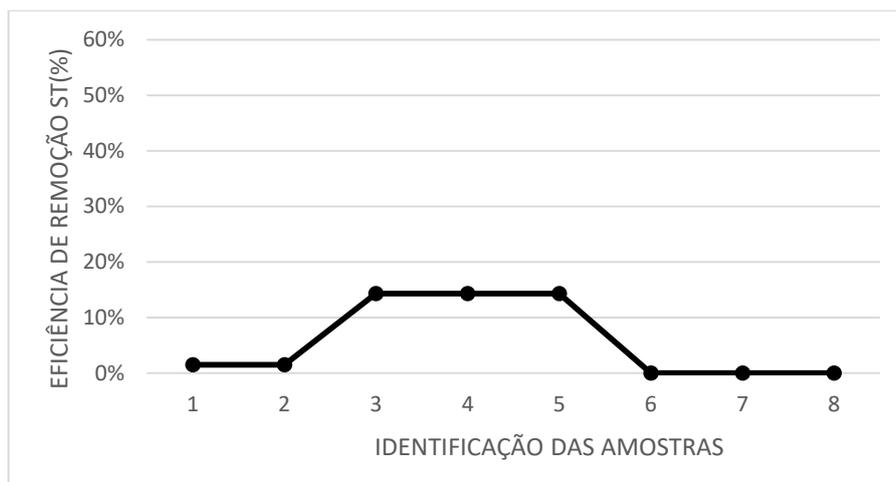
Fonte: Autor (2021).

Os resultados para ST se mostraram muito pouco razoáveis quando comparados com estudos realizados por Fia et al. (2012), que relataram uma eficiência de remoção de 28% tratando resíduos domésticos em um reator de leito fixo cuja concentração média de ST afluente era 547 ± 102 mg/L. Assim como, Damasceno (2019) que encontrou valores efluentes de $702,86 \pm 157,45$ mg/L e afluentes de $493,6 \pm 151,86$ mg/L resultando em uma eficiência de remoção de 30% durante a operação do sistema.

Em contrapartida, Stets et al. (2014), apresentaram valores médios de remoção em 60% para resíduos de um matadouro cuja concentração de ST afluente estava entre 50,8-166,2 mg/L, também utilizando reator anaeróbio de leito fixo.

Ao analisar os dados a Figura 15 é possível notar que as maiores eficiências do sistema, considerando a média efluente, foram alcançadas entre as amostras 3 e 5. Dessa forma, a eficiência média de remoção ficou em 6%, resultado ínfimo para a presente pesquisa.

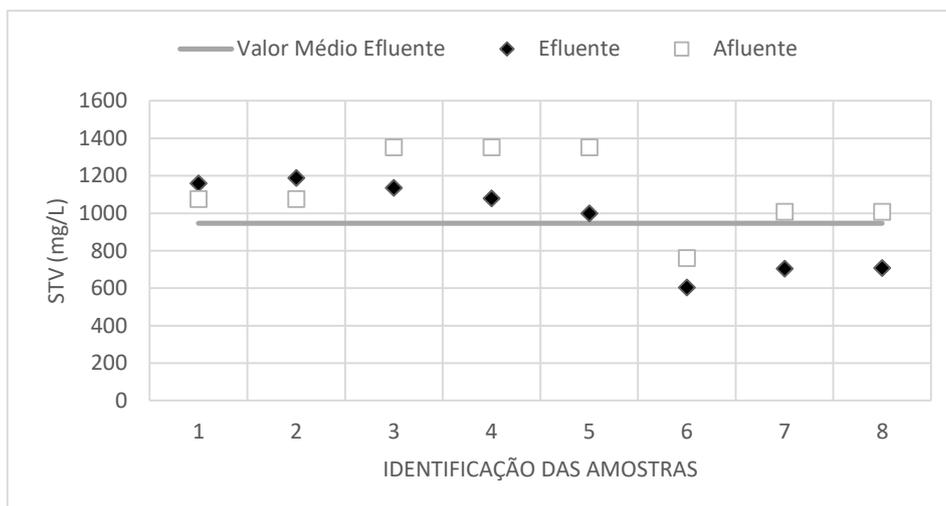
Figura 16 - Percentual de remoção de ST com relação à média efluente.



Fonte: Autor (2021).

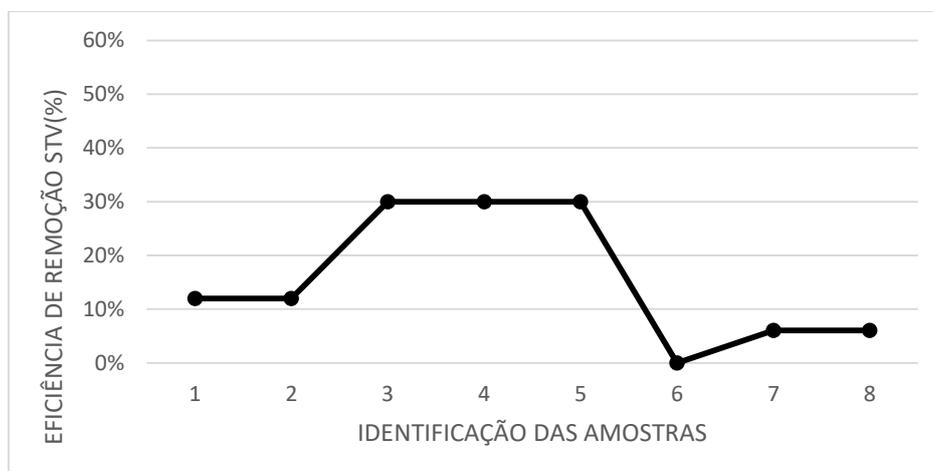
O sistema conseguiu atingir uma maior eficiência de remoção com relação ao parâmetro de STV, em que a primeira semana de amostragem possuiu um leve aumento de concentração do efluente quando comparado aos seus respectivos afluentes. A Figura 16 apresenta a variação temporal da concentração de STV, enquanto a Figura 17 demonstra o percentual de remoção de STV com relação à média efluente.

Figura 17 - Variação temporal da concentração de STV.



Fonte: Autor(2021).

Figura 18 - Percentual de remoção de STV com relação à média efluente.



Fonte: Autor (2021).

Em comparação com o ST, o maior sucesso na remoção de STV pode ser explicado pelo fato desse parâmetro representar a fração de sólidos orgânicos. Portanto, uma maior remoção de STV pode representar uma boa função das vias metanogênicas. Damasceno (2019), pesquisando com reator anaeróbio de leito fixo para o fluxo ascendente, encontrou valores médios de remoção de 30 e 45% para remoção de ST e STV, respectivamente. Demonstrando uma maior eficiência para a remoção de STV em sistemas de remoção de matéria orgânica.

Conforme os dados apresentados para os sólidos suspensos e totais é possível determinar diferenças significantes com relação à eficiência de remoção por parte do sistema. Sendo assim, existe uma elevada concentração de sólidos dissolvidos nos efluentes do reator.

Tal efeito é relevante para avaliação do reator de leito fixo, de modo que seu baixo desempenho para a remoção de sólidos totais pode ser caracterizado como um sistema defeituoso. Entretanto, é conhecido que os sólidos suspensos apresentam maior predisposição a remoção a partir da filtração biológica, quando comparados com os sólidos dissolvidos, sendo empregado geralmente, unidades de decantação como tratamento secundário para os resíduos de elevada concentração de sólidos dissolvidos.

Ainda sobre as análises apresentadas com relação à eficiência da espuma de poliuretano como material suporte, comparando com a NBR

13969:1997 para as faixas prováveis de remoção de poluentes em filtros anaeróbios, que dita valores entre os 40 a 70% para remoção de DQO bruta, além de determinar valores superiores aos 70% para sólidos sedimentares.

Com base nisso, os valores encontrados de 71% para remoção de DQO demonstram a eficiência da espuma como material suporte. Entretanto, valores de remoção de 42 e 41% para parâmetros como SST e SSV, respectivamente. Além de remoções negativas para parâmetros como ST e STV apresentem a baixa eficiência do sistema para o esgoto tratado. A tabela 04 demonstra uma compilação dos resultados obtidos na presente pesquisa.

Tabela 05 – Compilação dos resultados médios obtidos.

Parâmetro	Afluente	Efluente	e(%)
DQO	1276±127	367±77	71
ST	2755±586	2928±705	6
STV	1049±243	948±237	16
SST	683±103	405±145	42
SSV	514±111	314±101	41
CO aplicada	1,27±0,10		71
CO removida	0,90±0,10		
pH	8,07±0,11	8,1±0,22	

Fonte: Autor (2021).

6. Considerações Finais

A análise do reator anaeróbio de leito fixo mostrou ser um material suporte razoavelmente eficiente para a remoção de DQO, com taxas de remoção em 71% para um TDH de 1 dia. Bem como, apresentou uma eficiência média de remoção de carga orgânica de 71%. Logo, seguindo a NBR 13969:1997 as exigências estabelecidas em legislação foram alcançadas.

Considerando o pH, foi notório que a variação se mostrou razoavelmente baixa ao longo de período de análise, em que ficaram faltando alguns dados para melhor compreensão do ciclo como na totalidade. A análise de parâmetros da série de sólidos, sendo estes ST, STV, SST e SSV apresentaram remoções médias de 6, 16, 42 e 41%, respectivamente. Portanto, uma remoção insuficiente quando comparada com outros estudos e a norma. No entanto, os resíduos industriais utilizados na presente pesquisa, mostraram elevadas concentrações de sólidos assim existindo a necessidade de um tratamento preliminar fundamentado na retirada de sólidos grosseiros e sedimentáveis, dessa forma seria necessário fazer estudos mais específicos sobre tal.

Para tanto, seria necessária uma maior disponibilidade de infraestrutura no campus para a realização de análises de outros parâmetros expressivos para o presente estudo, possibilitando ponderações mais completas.

Em geral, a espuma de poliuretano, como material suporte para o reator anaeróbio de leito fixo, demonstrou uma boa aplicabilidade e eficiência razoável para alguns parâmetros relacionados com a carga orgânica, enquanto parâmetros relacionados com os sólidos mostraram a necessidade de um pré-tratamento antes da implementação do filtro biológico.

6.1. Principais dificuldades

Manter a vazão diária de projeto mostrou ser um grande desafio devido às irregularidades da bomba dosadora ao longo das semanas. Além disso, o entupimento da mangueira que abastece o sistema foi um empecilho que dificultou o bom desenvolvimento da pesquisa e a coleta em dias específicos da semana, ao longo de todo o mês. Dificuldades com a manipulação de equipamentos em laboratório também prejudicaram o bom andamento da pesquisa.

Além disso, o cronograma da pesquisa está estritamente atrelado com o período letivo da UFAL e o funcionamento da fábrica de sacola plástica no município de Delmiro Gouveia. Desse modo, o crescimento exponencial da pandemia e, conseqüentemente, a chegada do novo corona vírus ao Brasil resultou no cancelamento do período da UFAL e a paralisação do funcionamento da fábrica no município de Delmiro Gouveia. Seguindo orientações da secretaria municipal, secretaria estadual e do ministério da saúde todas as atividades precisaram ser paralisadas.

Portanto, boa parte dos planos iniciais previamente definidos e aprovados para a presente pesquisa, acabaram se tornando inviáveis e inconcebíveis no presente momento da história brasileira. Logo, alguns dos objetivos não foram passíveis de iniciação e boa parte da pesquisa precisou ser baseada em uma discussão mais aprofundada com relação à etapa concluída até o final do último semestre letivo presencial.

6.2 Sugestões

Levando em consideração toda a discussão e sendo dito todas as considerações, com intuito de aumentar o objeto de estudo e aperfeiçoar o reator.

- Aplicar efluente industrial de outro empreendimento, aumentando análise sobre a eficiência do reator utilizando o mesmo material suporte.
- Empregar no reator materiais (mangueiras entre outros) que ajudem a evitar o entupimento do sistema, assim como a adoção de bomba dosadora com uma maior precisão de vazão facilitando o monitoramento.
- Avaliar um maior número de parâmetros de qualidade dos efluentes, aumentando a avaliação do efluente de acordo com a norma vigente.
- Realizar um tratamento preliminar nos resíduos industriais coletados.

7.0. Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Brasil tem cerca de 12% das reservas mundiais de água doce do planeta.** Brasília, 2010.

Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/noticias-antigas/brasil-tem-cerca-de-12-das-reservas-mundiais-de-a.2019-03-15.1088913117>>. Acesso em: 22/01/2020.

ARAÚJO JR, M. M. de. **Reator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo, para a remoção de matéria orgânica e nitrogênio de água residuária de indústria produtora de lisina.** 160 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil: Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2006.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997) – **ABNT. NBR 13969: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação.** Rio de Janeiro.

BADO, C.; PERCIO, J. E.; LINDINO, C. A. **A demanda química de oxigênio: questionamentos.** Revista Analytica, n 62, p 44-51, 2013.

BAETTKER, E. C.; CARVALHO, K. Q.; FREIRE, F. B.; PASSIG, F. H.; MORAIS, J. L. **Materiais alternativos como meio suporte de filtro anaeróbio para o tratamento de esgoto sanitário sintético.** Eng. Sanit. Ambient., v 23, n. 6, p 1091 – 1102, 2018.

CAMARGO, E. F. M. **Tratamento anaeróbio de águas residuárias, em batelada, com microrganismos imobilizados e circulação da fase aquosa.** 230 p, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2000.

CARVALHO, R.S. **Avaliação do desempenho de reator anaeróbio de leito fixo e fluxo contínuo, em escoamento ascendente, preenchido com pneu triturado sob diferentes cargas orgânicas aplicadas.** 77 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão. Delmiro Gouveia, 2019.

CHANAKYA, H.N.; KHUNTIA, H. K. **Treatment of gray water using anaerobic biofilms created on synthetic and natural fibers.** Process Safety and Environmental Protection, v. 92, n. 2, p. 186-192, 2014.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias volume 5: reatores anaeróbios.** 2 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2016.

CIRNE, A. R. C.; ANDRADE NETO, C. O.; MELO, H. N. S.; ARAÚJO, A. L. C. **Avaliação comparativa de filtros anaeróbios contendo diferentes materiais de enchimento.** In: 24a Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária (Abes), 2007.

COSTA, A. M. G. **Desempenho de filtro anaeróbio no tratamento de efluente formulado com diferentes concentrações de soro de queijo.** 93 p,

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais, 2008.

CRUZ, L.M. de O.; STEFANUTTI, R.; CORAUCCI FILHO, B.; TONETTI, A.L. **Coconut shells as filling material for anaerobic filters.** *SpringerPlus*, v. 2, n. 655, 2013.

DAMASCENO, L. M. **Análise da influência do sentido de escoamento no desempenho de reatores anaeróbios na remoção de sólidos utilizando pneu triturado como suporte para imobilização celular.** 46 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão. Delmiro Gouveia, 2019.

DUTRA, G. H. L. **Avaliação técnico-econômica de alternativas de lodos ativados no tratamento de esgotos domésticos.** 95 p. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

FERNANDES, W.V.; Júnior, G. B.A.; Batistas, M. M.; Júnior, R.H.A. **Avaliação da remoção de matéria orgânica de efluente de tanque séptico utilizando filtro anaeróbico preenchido com *Luffa cylindrica* como meio de suporte.** *GESTA*, v. 3, n. 1, p. 1-13, 2015.

FERREIRA, P. S. F.; MOTTA, P. C.; SOUZA, T. C.; SILVA, T. P.; OLIVEIRA, J. F.; SANTOS, A. S. P. **Avaliação preliminar dos efeitos da ineficiência dos serviços de saneamento na saúde pública brasileira.** *Revista Internacional de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 06, n. 02, p. 214 – 229, 2016.

FIA, R.; Schuery, F.C.; Matos, A.T.; Fia, F.R.L.; Borges, A.C. **Influence of flow Direction in the performance of anaerobic filters.** *Acta Scientiarum. Technology*, v. 34, n. 2, p. 141-147, 2012.

FIA, F.R.L.; Matos, A.T.; Borges, A.C.; Moreira, D.A.; Fia, R.; Júnior, V.E. **Remoção de compostos fenólicos em reatores anaeróbios de leito fixo com diferentes materiais suporte.** *Revista brasileira engenharia agrícola e ambiental*, vol.14, no.10, Campina Grande, 2010.

GRAVILESCU, M. **Engineering Concerns and New Developments on Anaerobic Waste-water Treatment.** *Clean Technology and Environmental Policy*. Vol. 3, pag.346-362, 2002.

GUERI, M. V. D.; SOUZA, S. N. M.; KUCZMAN, O. **Parâmetros operacionais do processo de digestão anaeróbia de resíduos alimentares: Uma revisão.** *BIOFIX Scientific Journal*. v. 3 n. 1, p. 17-25, 2018.

HANAKYA, H.N.; KHUNTIA, H. K. **Treatment of gray water using anaerobic biofilms created on synthetic and natural fibers.** *Process Safety and Environmental Protection*, v. 92, n. 2, p. 186-192, 2014.

HOYOS, N. L. M. **Análise comparativa do desempenho de reator anaeróbio híbrido e reator de manto de lodo de fluxo ascendente (UASB) aplicados ao tratamento de esgoto sanitário.** 156p, Dissertação (Mestrado em

Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativas da População**. Brasília. 2019. Disponível em: <
<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=notas-tecnicas>>. Acesso em: 28/07/2021.

JUNIOR, A.E.S. **Vinhaça em reatores anaeróbios horizontais de alta taxa, em série: efeito do aumento gradual das cargas orgânicas volumétricas na produção de biogás e nas populações microbianas**. Tese (Doutorado Microbiologia Agropecuária) – Universidade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual de São Paulo. São Paulo, 2018.

KAMALI, M.; GAMEIRO, T.; COSTA, M. E. V.; CAPELA, I. **Anaerobic digestion of pulp and paper mill wastes – An overview of the developments and improvement opportunities**. Chemical Engineering Journal 298, 162–182, 2016.

MAGASSY, T. B. **Desempenho de reator combinado anaeróbio-aeróbio, tratando esgoto sanitário, a diferentes razões de recirculação**. 54 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão. Delmiro Gouveia, 2017.

MARQUES, T. D. **Produção de hidrogênio em um reator anaeróbio de leite fluidificado a partir do soro de leite**. 72 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2018.

OLIVEIRA NETTO, A. P.; ZAIAT, M. **Treatment of domestic sewage in an anaerobic–aerobic fixed-bed reactor with recirculation of the liquid phase**. Clean – Soil, Air, Water, 40 (9), 965–971, 2012.

PONTES, P. P. **Reatores UASB aplicados ao tratamento combinado de esgotos sanitários e lodo excedente de filtro biológico percolador**. 198 p. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos: Saneamento), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2003.

RAPOSO, F.; DE LA RUBIA, M. A.; FERNÁNDEZ-CEGRÍ, V.; BORJA, R. **Anaerobic digestion of solid organic substrates in batch mode: an overview relating to methane yields and experimental procedures**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 16, p. 861-877, 2011.

SANTANA JUNIOR, A. E. **VINHAÇA EM REATORES ANAERÓBIOS HORIZONTAIS DE ALTA TAXA, EM SÉRIE: EFEITO DO AUMENTO GRADUAL DAS CARGAS ORGÂNICAS VOLUMÉTRICAS NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS E NAS POPULAÇÕES MICROBIANAS**. Tesa (Doutorado em Microbiologia Agropecuária), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP. Jaboticabal, 2018.

SANTOS A.C. DOS; de Oliveira R.A. **Swine waste water treatment in horizontal anaerobic reactor followed by aerobic sequencing batch reactor**. Engenharia Agrícola, v. 31, n. 4, p. 781-794, 2011.

SGORLON, J. G.; RIZK, M. C.; BERGAMASCO, R.; TAVARES, C. R. G. **Avaliação da DQO e da Relação C/N Obtidas no Tratamento Anaeróbio de Resíduos Fruti-hortícolas.** Acta Scientiarum Technology, v. 33, n. 4, p. 421-424, 2011.

SILVA, D.B. **Desempenho de reatores anaeróbios de leito fixo para a produção de butanol e etanol a partir de águas residuárias.** 109 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, área de água e solos) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2015.

SILVA, R. K. S. **Análise da eficiência do tratamento de efluente advindo de processo industrial submetido a diferentes tempos de reação em reator anaeróbio operado em regime de batelada.** 54 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão. Delmiro Gouveia, 2019.

SIQUEIRA, L. M. **Influência da taxa de carregamento orgânico na degradação anaeróbia da vinhaça em reator de leito fluidizado.** 151 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2008.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos.** Brasília, 2018. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-dos-servicos-de-agua-e-esgotos-2018>>. Acessado 23/01/2020.

SPÓSITO, R. D.; MORITA, D. M. **Identificação da classe de compostos responsáveis pela toxicidade da água.** Revista DAE, p. 40-49. <http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/dae.2014.015>. Maio, 2008.

STETS, M.I.; ETTO, R.M.; GALVÃO, C.W.; AYUB, R.; CRUZ, L.M.; STEFFENS, M.B.R.; BARANA, A.C.. **Microbial community and performance of slaughterhouse wastewater treatment filters.** Genetics and Molecular Research, v. 13, p. 4444-4455, 2014.

TONETTI, A. L.; FILHO, B. C.; GUIMARÃES, J. R.; CRUZ, L. M. O.; NAKAMURA, M. S. **Avaliação da partida e operação de filtros anaeróbios tendo bambu como material de recheio.** Eng Sanit Ambient | v.16 n.1 | jan/mar | 11-16, 2011.

TORRES, P. **Perspectivas del tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas en países en desarrollo.** Escuela de Ingeniería de Antioquia. Medellin, Colômbia, nº 18. p 115 – 129, 2012.

VAN HAANDEL, A.C.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente.** Campina Grande: Ed. Epigraf, 1994.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 4 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2018.

ZUCCARI, L. M; GRANER, C. A; LEOPOLDO, P. R. **Determinação da Demanda Química de Oxigênio (DQO) em águas e efluentes por método colorimétrico alternativo.** Energ. Agric. Botucatu, vol. 20, n. 4, p. 69-82, 2005.