



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL
CAMPUS SERTÃO
ENGENHARIA CIVIL

Rayanne Karlla Santos da Silva

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO DE EFLUENTE ADVINDO DE
PROCESSO INDUSTRIAL SUBMETIDO A DIFERENTES TEMPOS DE REAÇÃO
EM REATOR ANAERÓBIO OPERADO NO REGIME DE BATELADA**

Delmiro Gouveia/AL
2019



RAYANNE KARLLA SANTOS DA SILVA

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO DE EFLUENTE ADVINDO DE
PROCESSO INDUSTRIAL SUBMETIDO A DIFERENTES TEMPOS DE
REAÇÃO EM REATOR ANAERÓBIO OPERADO NO REGIME DE
BATELADA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal de Alagoas –
Campus Sertão para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Pedro de
Oliveira Netto.

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

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

S586a Silva, Rayanne Karlla Santos da

Análise da eficiência do tratamento de efluente advindo de processo industrial submetido a diferentes tempos de reação em reator anaeróbico operado no regime de batelada / Rayanne Karlla Santos da Silva. – 2019. 54 f. : il.

Orientação: Prof. Dr. Antonio Pedro de Oliveira Netto .
Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2019.

1. Engenharia civil. 2. Tratamento de efluentes. 3. Efluentes industriais. 4. Efluentes líquidos. 5. Tratamento anaeróbico. I. Título.

CDU: 628.21

Folha de Aprovação

RAYANNE KARLLA SANTOS DA SILVA

**ANÁLISE NA QUALIDADE DO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE
PROCESSO INDUSTRIAL SUBMETIDO A DIFERENTES TEMPOS DE
REAÇÃO EM REATOR ANAERÓBIO OPERADO NO REGIME DE
BATELADA**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao corpo docente do Curso de
Engenharia Civil da Universidade Federal
de Alagoas – Campus Sertão e aprovado
em 11 de abril de 2019.

Antonio Netto

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

Banca Examinadora:

Antonio Netto

Prof. Dr. Antonio Pedro de Oliveira Netto, UFAL – Orientador

Rogério de Jesus Santos

Prof. Me. Rogério de Jesus Santos – Examinador Interno

Lucas da Silva Teixeira

Eng. Lucas da Silva Teixeira – Examinador Externo

“Stay hungry, stay foolish”
Steve Jobs.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida bem como por ter proporcionado discernimento ao chamado de minha vocação profissional, sendo possível transformar realidades através da ciência.

À minha família, Bruna Karla, Camila Karla, Clenilde Santos, José Sidney, Nair Oliveira e Vandete Lúcio pela compreensão e apoio incondicional durante os longos cinco anos que passei em busca da obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aos meus apoios, especialmente nos momentos mais difíceis do curso, compartilhando nossas dificuldades e ajudando nos âmbitos físico e emocional, Claudenise Alves e James Monteiro, palavras não seriam suficientes para descrever tamanha gratidão.

As minhas amigas Ana Clara Couto, Ana Letícia, Eva Mariana, Luana Kívia e Mylena Barros pela parceria durante boa parte do curso, estando presentes na construção deste passo tão importante da minha vida.

Aos colaboradores do Laboratório de Saneamento Ambiental da Universidade Federal de Alagoas – Campus Sertão, Marcel Garrido, Leandro Marinho e Rafael Carvalho, pela paciência e auxílio na realização da operação.

Ao Prof. Dr, Antonio Pedro de Oliveira Netto, por acreditar e tornar possível este estudo, sendo fundamental para difundir o conhecimento científico necessário à realização do processo.

À Lucas Araújo dos Santos, por vivenciar comigo uma das etapas mais dificultosas de minha graduação, contribuindo de forma ímpar para a conclusão deste trabalho, mantendo-me firme para superar as dificuldades.

A todos que colaboraram direta ou indiretamente para a exequibilidade deste experimento, André Farias, Felipe Coutinho, Natanael Resende, Rogério de Jesus, Emerson Gonçalves, Laís Lima e Leonam Reis.

Ao Diógenes, representante da indústria, pela curiosidade, apoio, interesse e, sobretudo, facilitação, em busca de novas tecnologias para o tratamento de águas residuárias.

Por fim, agradeço a Universidade Federal de Alagoas – Campus Sertão, com ênfase ao setor de transporte, em especial aos motoristas Márcio e Valmir pelo apoio e disponibilidade.

RESUMO

O desenvolvimento da indústria acarreta impactos negativos para o meio ambiente com a geração de efluentes líquidos advindos, especialmente, de processos industriais, os quais devem ser providos de tratamento adequado antes da destinação final. Relacionar o custo do tratamento com a eficiência é um desafio para o processo. Nesta ótica, o trabalho em questão buscou associar o tratamento biológico anaeróbio ao processo de batelada, com a finalidade de se obter resultados satisfatórios para remoção de poluentes com altas concentrações de matéria orgânica, visando baixo tempo de detenção hidráulico (TDH). Foi feita a comparação para dois ciclos distintos cuja variante foi o tempo de agitação na etapa de reação, o primeiro ciclo com tempo total de 13h40min, com 10h de agitação obteve eficiência máxima de 75% para remoção de DQO, com média de 1160 ± 150 mg/L de DQO afluente e a $367,5 \pm 72,6$ mg/L de DQO efluente, já o segundo ciclo com tempo total de 9h40min e agitação de 6h na etapa de reação, obteve eficiência máxima na remoção de DQO de 63%, com DQO afluente média de $1080,6 \pm 134$ mg/L e $432,6 \pm 54,4$ mg/L de DQO efluente. Os bons resultados indicam, de acordo com resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que a operação em batelada torna-se alternativa para descarte do efluente tratado, conforme capacidade de autodepuração do corpo receptor.

Palavras-chave: Efluente industrial; Tratamento anaeróbio; Fluxo Descontínuo; Descarte de Efluentes.

ABSTRACT

The development of industry causes negative impacts to the environment with the generation of liquid effluents arising, especially, industrial processes, which should be provided with appropriate treatment prior to final disposal. Relate the cost of treatment with efficiency is a challenge to the process. In this perspective, the work in question sought to associate the anaerobic biological treatment to the batch process, with the purpose of obtaining satisfactory results for removal of pollutants with high concentrations of organic matter, aiming low hydraulic retention time (HRT). The comparison was made for two distinct cycles which variant was the time of unrest in reaction step, the first cycle with total time of 10h40min, with stirring 10h obtained maximum efficiency of 75% for removal of cod, with an average of 1160 ± 150 mg/L of cod tributary and the 367.5 ± 72.6 mg/L COD effluent, the second cycle with total time of 9h40min and 6h agitation in reaction step, obtained maximum efficiency in removing COD in 63%, with COD tributary 1080.6 average ± 134 mg/L and 432.6 ± 54.4 mg/L mg/L COD effluent. The good results indicate, in accordance with resolutions of the national environmental Council (CONAMA), batch operation becomes an alternative to disposal of treated effluent, as self-depuration capacity of recipient body.

Keywords: Industrial effluent; Anaerobic treatment; Discontinuous flow; Effluent disposal

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de digestão anaeróbia.....	25
Figura 2 - Ciclo de operação em reator de fluxo intermitente.	28
Figura 3 - Características visuais das águas residuárias.....	30
Figura 4 - Esquema técnico das águas residuárias na fábrica.	31
Figura 5 - Configuração do reator.	32
Figura 6 - Béquer utilizado como componente principal do reator.	32
Figura 7 - Agitador eletrônico magnético.....	33
Figura 8 - Bomba dosadora.....	33
Figura 9 - Ilustração do sistema operacional.....	34
Figura 10 - Configuração do reator a nível de bancada.....	35
Figura 11 - Perfil temporal da remoção de DQO para o ciclo 1.	38
Figura 12 - Eficiência na remoção de DQO para o ciclo 1.....	39
Figura 13 – Monitoramento de pH para o ciclo 1.....	41
Figura 14 – Análise de turbidez para o ciclo 1.....	42
Figura 15 - Perfil temporal de DQO para o ciclo 2.....	43
Figura 16 - Análise de DQO para o ciclo 2.....	44
Figura 17 - Monitoramento de pH para o ciclo 2.....	45
Figura 18 - Análise da turbidez para o ciclo 2.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrões para lançamentos de efluentes.	20
Tabela 2 - Análise das características do tratamento anaeróbio.	23
Tabela 3 - Etapas da operação 1.	35
Tabela 4 - Etapas da operação 2.	36
Tabela 5 - Análise de DQO para o ciclo 1.	38
Tabela 6 – Análise de pH para o ciclo 1.	40
Tabela 7 – Análise de turbidez para o ciclo 1.	41
Tabela 8 - Análise de DQO para o ciclo 2.	43
Tabela 9 - Análise de pH para o ciclo 2.	45
Tabela 10 - Análise de DQO para o ciclo 2.	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de águas
ASBR – Anaerobic Sequencing Batch Reactor
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO – Demanda Química de Oxigênio
ETA – Estação de Tratamento de Água
ETE – Estação de Tratamento de Efluente
MDF – Medium Density Fiberboard
OMS – Organização Mundial da Saúde
ONU – Organização das Nações Unidas
pH – Potencial Hidrogeniônico
P-SBR – Pulsed Sequencing Batch Reactor
Sabesp – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SBR – Reator sequencial em batelada
SST – Sólidos suspensos totais
TDH – Tempo de Detenção Hidráulica
TCH – Tempo de Retenção Celular
UFAL – Universidade Federal de Alagoas
UNESCO – United National Education, Scientific and Cultural Organization
UNICEF – United Nations Children’s Fund

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	14
2.1. Objetivo geral	14
2.2. Objetivos específicos	14
3. REFERÊNCIAL TEÓRICO	15
3.1. Tratamento de esgoto	15
3.2. Efluentes líquidos	16
3.2.1. Efluentes líquidos industriais	17
3.3. Tratamento anaeróbio	22
3.4. Reator em batelada	27
4. METODOLOGIA	30
4.1. Efluente	30
4.2. Biomassa	31
4.3. Reator anaeróbio em batelada	31
4.4. Operação	35
4.5. Métodos analíticos	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
5.1. Ciclo 1	37
5.2. Ciclo 2	43
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
6.1. Sugestões	48
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1. INTRODUÇÃO

A industrialização surgiu a partir do desenvolvimento das atividades de manufatura, especialmente na Inglaterra, tendo continuidade com o desenvolvimento das máquinas a vapor, na chamada Revolução Industrial do século XVIII, alavancando os processos industriais frente a questões ambientais. A exploração do petróleo, desencadeando a era dos combustíveis fósseis como matriz geradora de energia, bem como a utilização desinibida do plástico deu sequência à revolução tecnológica, culminando na indústria 4.0 vivida na contemporaneidade.

O Brasil, influenciado pelas guerras mundiais frente ao governo de Getúlio Vargas, iniciou o processo de desenvolvimento do setor industrial em meados da década de 30, com a criação e fortalecimento de empresas estatais, tais como a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) e a Companhia Vale do Rio Doce, destinadas a serviços pesados de siderurgia e mineração.

Tais empresas tiveram impacto positivo no setor da economia, desenvolvendo o país e funcionando como grande potencializadora de emprego, entretanto, as questões ambientais foram negligenciadas em prol de razões financeiras, trazendo danos visíveis ao meio ambiente.

Questões ambientais passaram a ter importância a partir da década de 70, com a criação de leis ambientais e conferências internacionais acerca dos efeitos nocivos promovidos, principalmente, pelas atividades industriais.

Tais efeitos são discutidos por Pott e Estrela (2017) e tidos como estopim para preocupação das questões ambientais pela população, passando por governantes e comunidade científica. As contaminações de rios, poluição do ar, vazamento de produtos químicos nocivos e a perda de milhares de vidas relacionam-se a catástrofes observadas que, a partir da década de 70, adquirem senso de urgência em não se repetir.

A ênfase recai sobre os efluentes líquidos dos processos industriais, que além de conter poluentes comumente encontrados em esgotos sanitários, podem ser ricos em metais pesados, tais como cádmio, chumbo, mercúrio, níquel, zinco, cromo, dentre outros, ilustrados por von Sperling (2005).

A necessidade de se tratar águas residuárias industriais é nítida a medida em que, de acordo com o processo, o efluente pode apresentar características

distintas, como é o caso da cor acentuada presente em efluentes da indústria têxtil, estudada por Silva (2007).

Aliar a qualidade no tratamento de efluentes industriais a questões econômicas requer análise cuidadosa das formas de processos adaptáveis a situação, contendo vantagens e desvantagens relacionadas ao tipo de tratamento. Neste intuito, o tratamento biológico anaeróbio ganha vantagem no que diz respeito a facilidade de operação e baixo custo de instalação, sendo o processo de fluxo descontínuo necessário, de acordo com Lapa (2003), para indústrias que apresentam processos intermitentes.

Características positivas de efluente foram observadas por Dague *et al.* (1966), quando tratado efluentes pelo processo anaeróbio de batelada, proporcionando, entre outras propriedades, agitação e decantação em um só tanque, que resulta em águas residuárias com remoção satisfatória de matéria orgânica.

Neste sentido, a pesquisa referida busca prover de técnicas eficazes para o tratamento de efluentes do processo industrial de uma indústria de embalagens, visando remoção eficiente de matéria orgânica bem como bom aspecto no efluente final, passível a descarte em corpo hídrico de acordo com a legislação brasileira, através de um reator anaeróbio operando em regime de batelada.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar a eficiência do reator anaeróbio em batelada, com agitação mecânica eletrônica, tratando esgoto industrial a diferentes tempos de ciclo.

2.2. Objetivos específicos

Dentre os itens específicos desta pesquisa, a proposta tem como foco:

- Verificar a eficiência do reator, especialmente para remoção de matéria orgânica;
- Analisar a qualidade do efluente para diferentes tempos de ciclo;
- Comparar os resultados obtidos para os parâmetros analisados com o padrão estabelecido pelas legislações vigentes para lançamento de efluente em corpo hídrico.

3. REFERÊNCIAL TEÓRICO

3.1. Tratamento de esgoto

Os resíduos gerados pelas atividades humanas impactam diretamente o meio ambiente, devendo-se prover de técnicas que diminuam os efeitos nocivos, a fim de garantir condições favoráveis à vida no planeta. Neste contexto, destaca-se o tratamento de resíduos líquidos, que afeta de forma direta o desenvolvimento humano e do meio.

De acordo com Leme (2008) *apud* Oliveira Netto (2011), uma característica referente a origem da civilização decorre da aglomeração de comunidades próximas a corpos hídricos, sendo a água sua principal fonte de abastecimento, mas também local de descarte de seus próprios efluentes, contaminando e poluindo o ecossistema aquático.

O marco do desenvolvimento das civilizações se dá pelo surgimento das cidades trazendo consigo problemáticas relativas ao saneamento, dada a elevada densidade demográfica. De acordo com Tsutyia (1999), as primeiras referências que fazem menção a sistema de esgoto planejado e implantado no mundo constam à Cloaca Máxima de Roma, no século 6 antes de Cristo.

A OMS em parceria com a UNICEF elaborou o relatório denominado “*Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene,*” datado de 2017, destacando que cerca de 2,3 bilhões de pessoas não têm acesso ao saneamento básico e aproximadamente 892 milhões de indivíduos defecam a céu aberto, estes dados tornam-se preocupantes ao passo em que a falta de saneamento básico atrelado a ineficácia do tratamento de águas provocam diversas doenças como leptospirose, cólera, febre tifoide, etc.

Considerando a relevância das ações movidas à infraestrutura urbana, saúde pública e preservação do meio ambiente, a ONU na reunião ocorrida em Nova York (2015), elaborou um plano de ação visando o desenvolvimento sustentável, denominado agenda 2030, contendo 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), sendo água potável e saneamento o sexto objetivo. Uma das premissas é alcançar, até 2030, o acesso ao saneamento e higiene adequados para todos e acabar com a defecação a céu aberto, dando ênfase a mulheres e crianças em situação de vulnerabilidade.

Além dos resíduos líquidos domésticos, existem resíduos líquidos advindos das indústrias que, em muitos casos, contém níveis de poluentes bastante elevados comparados aos primeiros, devendo ser constantemente observados os índices de poluentes ao se descartar tais efluentes, dado que a preservação do ecossistema aquático deve ser garantida, sendo a vida na água um dos 17 ODS da ONU.

3.2. Efluentes líquidos

Dados da UNESCO de 2016 sobre gestão de recursos hídricos ressaltam que a agricultura tem maior dependência de água, contribuindo com cerca de 70% de todo o valor consumido no mundo, seguido pelo setor da indústria que consome cerca de 19%, sendo 15% voltado para a matriz energética e 4% para atividades das indústrias pesadas e de manufatura, não estando pequenas e médias empresas inclusas neste indicador.

Tsutiya (1999) estima o coeficiente de retorno água/esgoto variando entre 0,5 a 0,9. Já a NBR 9649/1986 ressalta que, na inexistência de dados comprovados oriundos de pesquisa, tal coeficiente deve ser adotado como 0,8.

O CONAMA Resolução nº 430/2011 define efluente como o termo utilizado para caracterizar os despejos líquidos provenientes de diversas atividades ou processos.

Neste contexto, Jordão e Pessoa (2011), discutem a respeito das fontes poluidoras dos corpos hídricos; enfatizando a contribuição das zonas urbanas em basicamente quatro tipos de efluentes líquidos: esgotos domésticos, esgotos industriais, esgotos pluviais e lodos gerados nas estações de tratamento, sendo os dois primeiros caracterizados como fontes pontuais, localizadas e bem identificadas, já o esgoto proveniente dos resíduos pluviais, via rede de drenagem urbana, tem como aspecto ser uma fonte não pontual e ter uma composição variada, sabendo-se que o escoamento superficial para as galerias de águas pluviais arrastam consigo além de resíduos sólidos possíveis extravasamentos da rede de esgoto doméstico que correm a céu aberto gerando um grande risco à saúde pública, até escoar as galerias e atingirem os emissários de efluentes (MELO, 2016). Por fim, os lodos gerados nas ETA's, são tidos como resíduos sólidos, constituídos pelo coagulante utilizado na coagulação e floculação, pelos sólidos sedimentados, que na água bruta se

apresentavam como partículas coloidais, areia e sólidos em suspensão, além de bactérias e organismos, e pela água da lavagem dos filtros (JORDÃO e PESSOA, 2011).

3.2.1. Efluentes líquidos industriais

A destinação final da água em forma de resíduo líquido chama atenção, sendo a água um recurso natural essencial utilizado na produção industrial, resultando em efluentes com potencial poluidor (GARBIM, 2017).

A NBR 9800/1987, ressalta critérios para lançamento de efluentes industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário, conceituando a distinção entre efluente líquido industrial e efluente de processo industrial, compreendendo o primeiro, efluentes do processo industrial, águas de refrigeração poluídas, águas pluviais poluídas, além de esgotos domésticos. Já o segundo, enquadra despejos obtidos no processo industrial, advindos comprovadamente do ambiente da indústria.

De acordo com von Sperling (2005), os despejos industriais apresentam uma ampla variabilidade das suas características qualitativas, podendo conter além de poluentes típicos de esgoto doméstico como sólidos em suspensão, matéria orgânica biodegradável, nitrogênio, fósforo e organismos patogênicos, metais como cádmio, chumbo, mercúrio, níquel, zinco, cromo, dentre outros e micro poluentes orgânicos.

Almeida *et al.* (2004), discutem a respeito da minimização da toxicidade encontrada em efluentes de processos industriais, levando em consideração águas residuárias advindas de atividades papelerias, têxtil, farmacêutica, agrícolas e láticas; tendo como característica comum destes efluentes a presença de compostos recalcitrantes, que não são biodegradáveis pelos microrganismos normalmente presentes em tratamentos biológicos, nos convencionais tempos de detenção hidráulica, sendo lançados no corpo receptor, podendo promover acúmulo em doses letais para espécies de peixes e invertebrados, além dos efeitos cancerígenos observados nos seres humanos, sendo resultado da bioacumulação ao longo da cadeia alimentar.

O que diz respeito ao efluente provido dos processos ocorrentes na indústria têxtil, estão relacionados a parâmetros que requerem análise cuidadosa quanto ao tipo de resíduo gerado. A cor do efluente é provocada pelas descargas

dos banhos de tingimento, transformando-se em águas residuárias. Os efeitos da cor não só estão relacionados a parâmetros externos, quanto ao impedimento da passagem da luz para realização de fotossíntese (SILVA, 2007).

Além das problemáticas ilustradas acima, processos desenvolvidos pelas indústrias química, refinarias de petróleo, dentre outras, podem acentuar a formação de compostos organoclorados, de difícil degradação ambiental em que, grande parte da ação tóxica destas espécies podem ser constatadas em microrganismos aquáticos, nos quais é comum o aparecimento de anormalidades nos sistemas reprodutivo e imunológico (FREIRE, *et al.* 2000).

Mesmo em concentrações reduzidas, os cátions de metais pesados, uma vez lançados num corpo receptor, como por exemplo, em rios, mares e lagoas, ao atingirem as águas de um estuário sofrem o efeito denominado de Amplificação Biológica. Este efeito ocorre em virtude desses compostos não integrarem o ciclo metabólico dos organismos vivos, sendo neles armazenados e, em consequência, sua concentração é extraordinariamente ampliada nos tecidos dos seres vivos que integram a cadeia alimentar do ecossistema. (AGUIAR E NOVAES, 2002, p. 1145).

A indústria de MDF, ressaltada por Garbim (2017), gera efluentes com elevada carga orgânica como resultado dos processos de descascamento da madeira, preparação e cozimento.

Sereno Filho *at et al.* (2013), discutem a respeito do processo produtivo na indústria de bebidas, onde os efluentes gerados são ricos em açúcares, possuem pH alcalino e elevada carga orgânica, fazendo-se necessário um alto grau de tratamento antes de promover seu retorno a natureza.

O consumo dos derivados de petróleo, promovem a geração de efluentes líquidos contaminados com óleos lubrificantes. Estes efluentes, resultantes de várias modalidades de processos industriais atuais, caracterizam-se por sua alta carga orgânica (DQO) e baixa biodegradabilidade devido à presença de diversas substâncias orgânicas (FONSECA, 2007).

As agroindústrias encontram-se como grandes fontes poluidoras, no que implica a esgoto industrial, devido especialmente às elevadas vazões com que geram seus efluentes ricos em carga orgânica, nutrientes, sólidos e óleos e graxas (MEES *et al.* 2009).

Ao estudarem o tratamento biológico utilizando chorume de resíduos industriais perigosos, Quadros *et al.* (2014), constataram que tais efluentes tem como característica elevadas concentrações de compostos orgânicos, inorgânicos e nitrogênio amoniacal.

A Sabesp (Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo) nota que a maioria dos problemas envolvendo poluição de cursos hídricos está relacionada à perturbação ecológica devido ao caráter biodegradável do poluente (matéria orgânica), ressaltando que a abundância de matéria orgânica no meio aquático promove uma superpopulação de microrganismos heterótrofos que passam a disputar o oxigênio com os seres ali existentes. Em geral, os microrganismos são menos exigentes, no que se refere a quantidade de oxigênio necessária para realizar suas funções vitais, levando as espécies do ambiente em questão a conviverem com níveis de oxigênio muito baixos, sendo letal para a maioria delas.

Dada a relevância dos problemas que o lançamento de esgotos *in natura* ou com tratamento inadequado, provoca aos corpos receptores, as Resoluções do CONAMA nº357/2005 e nº430/2011, preveem a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento e padrões para lançamento de efluentes. A tabela 1 contém os valores máximos de poluentes orgânicos e inorgânicos admissíveis para o lançamento de efluentes.

Tabela 1 - Padrões para lançamentos de efluentes.

PARÂMETROS INORGÂNICOS	VALOR MÁXIMO
Arsênio total	0,5 mg/L AS
Bário total	5,0 mg/L Ba
Boro total	5,0 mg/L B
Cádmio total	0,2 mg/L Cd
Chumbo total	0,5 mg/L Pb
Cianeto total	1,0 mg/L CN
Cianeto livre	0,2 mg/L CN
Cobre dissolvido	1,0 mg/L Cu
Cromo hexavalente	0,1 mg/L Cr ⁺⁶
Cromo trivalente	1,0 mg/L Cr ⁺³
Estanho total	4,0 mg/L Sn
Ferro dissolvido	15,0 mg/L Fe
Fluoreto total	10,0 mg/L F
Manganês dissolvido	1,0 mg/L Mn
Merúrio total	0,01 mg/L Hg
Níquel total	2,0 mg/L Ni
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N
Prata total	0,1 mg/L Ag
Selênio total	0,30 mg/L Se
Sulfeto	1,0 mg/L S
Zinco Total	5,0 mg/L Zn
Benzeno	1,2 mg/L
Clorofórmio	1,0 mg/L
Dicloroetano	1,0 mg/L
Estireno	0,07 mg/L
Estilbenzeno	0,84 mg/L
Fenóis totais	0,5 mg/LC ₆ H ₅ OH
Tetracloroeto de Carbono	1,0 mg/L
Tricloroetano	1,0 mg/L
Tolueno	1,2 mg/L
Xileno	1,6 mg/L

Fonte: Adaptado de CONAMA 430/2011

von Sperling (2005) discorre a respeito dos parâmetros de águas residuárias, a níveis físicos, químicos e biológicos, enfatizando os principais indicadores que devem ser investigados em uma análise. As componentes a se avaliar são, sólidos totais, matéria orgânica, nitrogênio total, fósforo, pH, alcalinidade, cloretos, óleos, graxas, dentre outros.

É válido destacar os valores de DBO e DQO como indicadores indiretos da matéria orgânica presente no ambiente aquoso, sendo de fundamental importância para o conhecimento da qualidade do efluente descartado, dado que uma elevada carga orgânica nas águas residuárias pode promover o desequilíbrio do ecossistema aquático, como explicitado pela Sabesp, na NTS 003.

Além do exposto, o CONAMA Resolução nº 430/2011, em seção disposta a relacionar parâmetros de tratamento de qualquer fonte efluente poluidora lançada a corpos hídricos, indica remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.

Problemas de sabor bem como odor no abastecimento de água estão relacionados à eutrofização, tal premissa foi proposta por Bierman et al., 1984; Arruda e Fromm, 1989; Seligman et al., 1992; Smith et al., 2002 apud Welch e Jacoby (2004). E Aguiar e Novaes (2002), ainda afirmam que o florescimento demasiado acarreta deterioração do corpo hídrico, alteração de cor, turbidez na água, redução do teor de oxigênio dissolvido, dentre outros.

A análise da turbidez, de acordo com Jordão e Pessoa (2011) torna-se relevante a medida em que condições estéticas acarretam perturbações de luminosidade e oxigênio nos corpos receptores, podendo alavancar fenômenos que perturbam o ciclo biológico dos organismos existentes. O processo de investigação do parâmetro consta da utilização do princípio da refração da luz causada pelos sólidos em suspensão, sendo comum se avaliar SST a partir do ensaio de turbidez.

A adição de nutrientes inorgânicos ou matéria orgânica nos corpos hídricos, aumenta tanto a fotossíntese como a respiração. Nesta situação promove-se maior processamento de energia metabólica. (BEYERS e ODUM, 1994, p. 557).

Silva (2016) elucida que os efluentes líquidos podem apresentar matéria inorgânica, como nitrogênio, cálcio, magnésio, fosfatos, sulfetos e compostos amoniacais, podendo resultar em desequilíbrio do pH, associando-se ao processo de eutrofização.

A eutrofização é um fenômeno natural ou cultural (quando gerado por agentes externos). À medida que a eutrofização aumenta, evidências sugerem que há mudança das condições físico-químicas (CO_2 / pH, N: P, estabilidade, etc.), pois afetam a fluatibilidade, a sedimentação e a disponibilidade de luz. (WELCH e JACOBY, 2004).

A ANA (Agência Nacional de Águas) indica que o pH afeta o metabolismo de várias espécies aquáticas, devendo-se estar compreendido entre 5 e 9, de acordo com o CONAMA Resolução nº 430/2011. As alterações nos valores de pH também podem aumentar o efeito de substâncias químicas que são tóxicas para os organismos aquáticos, tais como os metais pesados.

3.3. Tratamento anaeróbio

Processos biológicos têm sido aplicados ao tratamento de águas domésticas, industriais ou agrícolas. Entre as alternativas de tratamento biológico, o processo de estabilização anaeróbica oferece várias vantagens significativas (MASSEY e POHLAND, 1978).

São considerados como processos biológicos de tratamento de esgoto os processos que dependem da ação de microrganismos presentes nos esgotos: os fenômenos inerentes à alimentação são predominantes na transformação dos componentes complexos em compostos simples, tais como: sais minerais, gás carbônico e outros (Jordão e Pessoa, 2011, p.96).

Segundo Lapa (2003), o interesse pelo tratamento anaeróbio de águas residuárias vem emergindo devido ao crescente reconhecimento das vantagens do processo anaeróbio e ao maior entendimento dos fundamentos da microbiologia e bioquímica anaeróbia, aliado ao avanço da engenharia do processo.

A aplicação de reatores anaeróbios como unidades principais de tratamento tem se mostrado economicamente vantajosa para a remoção de matéria orgânica (ARAUJO, 2014).

Chernicharo (1997), discute a respeito da aplicabilidade de processos anaeróbios como tratamento de águas residuárias, tais características podem ser visualizadas pela tabela 2.

Tabela 2 - Análise das características do tratamento anaeróbio.

Vantagens	Desvantagens
Baixa produção de sólidos, cerca de 5 a 10 vezes inferior à que ocorre nos processos aeróbios;	Alguma forma de pós-tratamento é usualmente necessária;
Baixo consumo de energia;	Possibilidade de geração de maus odores, porém controláveis;
Baixa demanda de área;	Possibilidade de geração de efluente com aspecto desagradável;
Tolerância a elevadas cargas orgânicas;	Remoção de nitrogênio, fósforo e patogênicos insatisfatória;
Aplicabilidade em grande e pequena escala.	A bioquímica e a microbiologia da digestão anaeróbia são complexas e ainda precisam ser mais estudadas.

Fonte: Adaptado de Chernicharro (1997).

Os experimentos de Massé *et al.* (2003) a respeito do tratamento anaeróbio, demonstram o decaimento na eficiência da remoção de poluentes a medida em que a temperatura diminui.

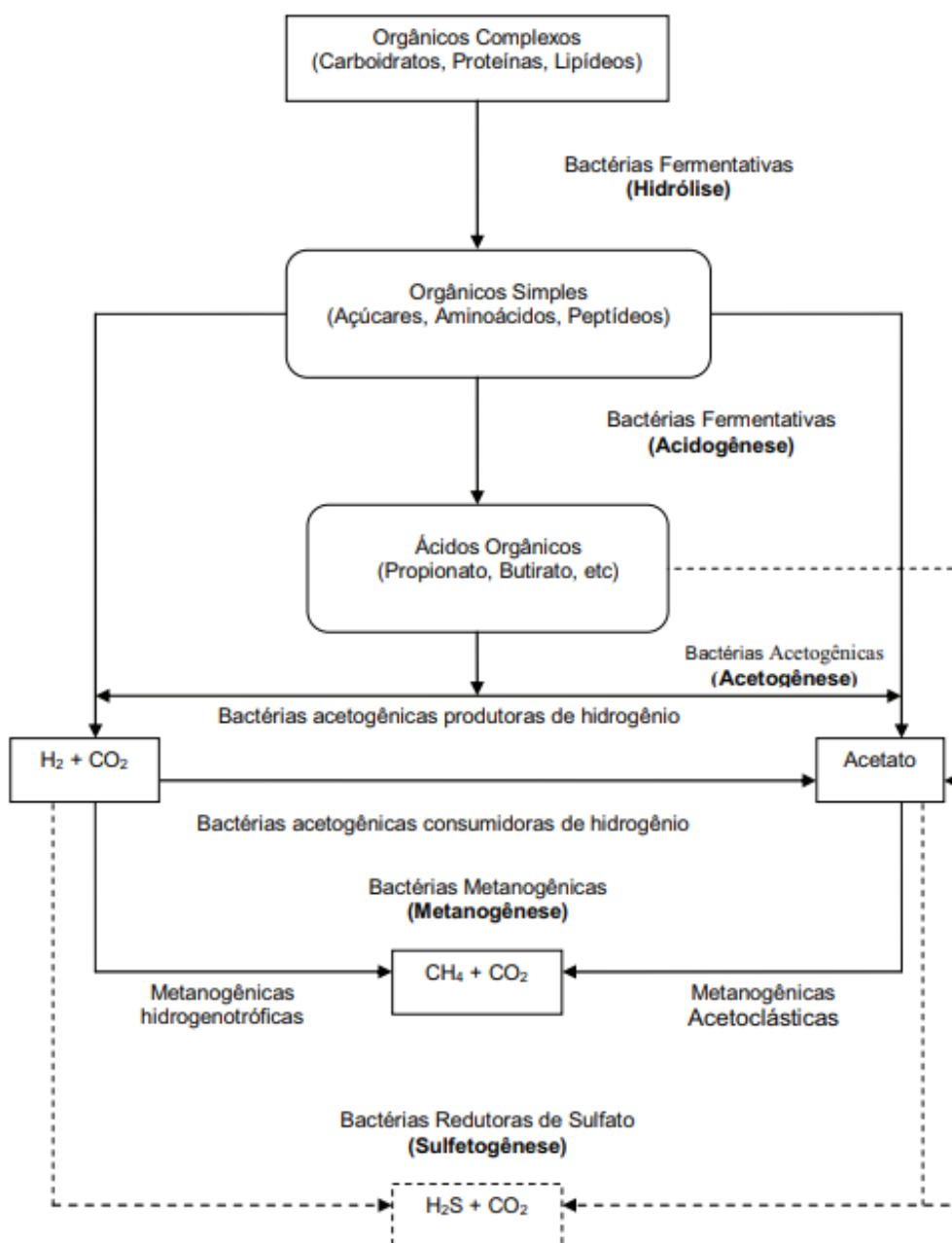
Lima (2006), indica que este tipo de sistema, além das diversas características favoráveis conta com condições ambientais ótimas no Brasil, onde há a predominância de elevadas temperaturas, o que tem contribuído para colocação dos sistemas anaeróbios de tratamento de esgotos em posição de destaque em países de clima tropical.

De acordo com Ndon e Dague (1997), o tratamento anaeróbio envolve o uso de um agente consórcio para reduzir o conteúdo orgânico de um fluxo na ausência de oxigênio molecular. O sucesso do tratamento anaeróbio requer um equilíbrio microbiano entre os acidógenos de rápido crescimento e o crescimento lento de matanogênicos.

No que diz respeito a digestão anaeróbia, Amare *et al.* (2018) frisam tal processo como potencial redutor de matéria orgânica presente nos substratos via agrupamentos microbianos fornecidos pela inoculação que utiliza matéria orgânica do lodo como fonte de energia metabólica, resultando em degradação da matéria orgânica relacionada à produção de biogás. Os inóculos usados nos processos de digestão anaeróbia são principalmente microrganismos de organismos anaeróbios obrigatórios, aero tolerantes ou facultativos, que não necessitam de oxigênio para o crescimento.

Chernicharo (1997), subdivide o processo de digestão anaeróbia em dois estágios principais dos quais decorrem quatro etapas; hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, podendo ou não, estar englobada a quinta etapa denominada de sulfetogênese, a qual está relacionada a presença de compostos de enxofre nos efluentes. O esquema da figura 1, representa a sequência de etapas em processo de digestão anaeróbia.

Figura 1 - Processo de digestão anaeróbia.



Fonte: Chernicharro (1997).

Faria (2012), define a hidrólise como conversão de organismos particulados complexos em materiais dissolvidos mais simples pela ação de exoenzimas excretadas pelas bactérias fermentativas. Essa fase é lenta e pode ser afetada por diversos fatores como: pH, temperatura, tempo de retenção hidráulica, tamanho e distribuição das partículas.

Abreu (2007), constata que na fase da acidogênese, a qual recebe os compostos dissolvidos, gerados no processo de hidrólise, ocorre absorção e metabolização pelas bactérias fermentativas acidogênicas, que por sua vez,

excretam substâncias simples, como ácidos graxos voláteis (AGV) de cadeia curta, álcoois, ácido láctico e compostos inorgânicos (CO_2 , H_2 , NH_3 , H_2S , etc.).

O fenômeno da acetogênese, discutido por Salomon (2007), destaca que nesta etapa os produtos formados anteriormente são oxidados para acetato, hidrogênio e gás carbônico, com o objetivo de fornecer substrato apropriado aos microrganismos metanogênicos. Ocorrendo a partir de dois mecanismos, o primeiro denominado acetogênese de que produz ácido acético como um só produto final de fermentação de hexose ou de CO_2 , e H_2 , e o segundo intitulado como acetogênese de desidrogenação que converte os ácidos graxos de cadeia curta e longa em ácido acético por um grupo de bactérias acetogênicas.

A metanogênese, etapa final do processo de degradação anaeróbia de compostos orgânicos, é a responsável direta pela produção de metano e dióxido de carbono (SOARES *et al.* 2017).

O processo metanogênico pode ser melhor compreendido pelas ressalvas propostas por Chernicharro (1997), dividindo as bactérias metanogênicas em dois grupos principais, definidos pela afinidade de substrato e magnitude na produção de metano, o primeiro grupo denominado metanogênicas acetoclásticas, que tem como particularidade produzir metano a partir de ácido acético ou metanol e o segundo denominado metanogênicas hidrogenotróficas, produtoras de metano a partir de hidrogênio e dióxido de carbono.

Visser *et al.* (1993) ao analisarem ações de sulfetogênese destacam as diferenças entre processos metanogênicos e sulfetogênicos em que nos sistemas sulfidogênicos, a oxidação do propionato e butirato a acetato pode ser feito por associações sinérgicas de bactérias acetogênicas e redutores de sulfato hidrogenotrófico ou diretamente por redução de sulfato bactérias (WIDDEL 1988 apud VISSER *et al.* 1993).

Os estudos de Araujo (2014), demonstraram eficiência de aproximadamente 62% na remoção de matéria orgânica pela via anaeróbia, tratando esgoto sanitário, com SST apresentando porcentagem de remoção aproximada equivalente a 72%.

Tratando efluentes do beneficiamento de café Bruno e Oliveira (2008), obtiveram resultados satisfatórios para a remoção de matéria orgânica pelo tratamento anaeróbio, com cerca de 95% de remoção de DQO.

Sereno Filho *et al.* (2013) observaram boa eficiência nos parâmetros finais de DQO e DBO para o tratamento de efluentes pela via anaeróbia por águas residuárias provindas da indústria de bebidas, com elevados índices de carga orgânica no esgoto afluente, com cerca de 90 a 96% de remoção da matéria orgânica.

3.4. Reator em batelada

Lapa (2003) frisa que a utilização de processos anaeróbios descontínuos em águas residuárias devem ser realizados de forma especialmente vantajosa para casos específicos, sendo enquadrados: indústrias que possuem processo produtivo de fluxo intermitente; compostos que apresentam elevada carga orgânica recalcitrantes, levando-se em consideração que o descarte só pode ser efetuado caso a qualidade nos parâmetros de água sejam observada; casos de reuso de águas e para difundir estudos científicos, dado que a operação de processos com fluxo descontínuo é mais simplificada.

Dague *et al.* (1966), com o intuito de estimular as pesquisas relacionadas ao tratamento anaeróbio, propondo que o desenvolvimento do processo estava intimamente ligado ao estudo dos microrganismos anaeróbios ou facultativos, relacionou o reator em batelada à digestão anaeróbia, sendo o precursor deste tipo de tratamento.

Siman (2003), acrescenta sobre o experimento de Dague *et al.* (1966), que o processo foi intitulado como “lodos anaeróbios ativados”, obtendo altos valores TCH com baixos números de TDH, resultando em efluente de boa qualidade.

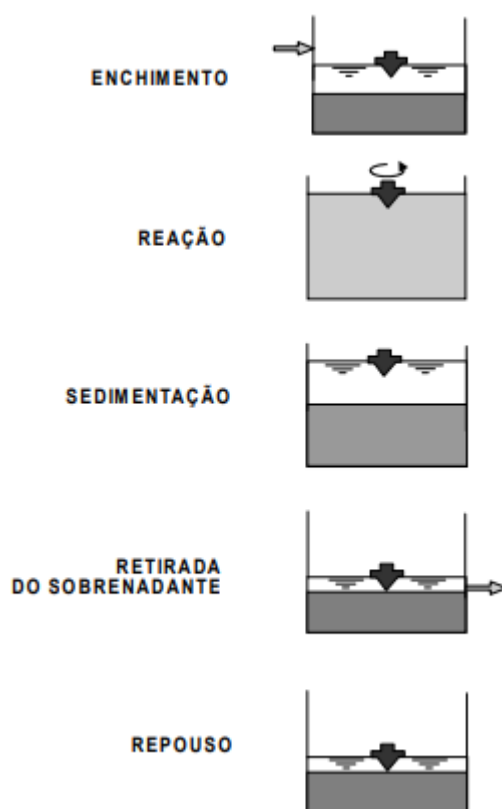
Um sistema SBR pode ser projetado usando um único tanque ou vários tanques em paralelo (KETCHUM, 1996).

O reator sequencial em batelada (RSB) é uma destas variantes onde a principal diferença em relação ao sistema contínuo diz respeito ao fluxo de esgoto. O princípio do processo consiste na incorporação de todas as unidades, processos e operações normalmente associadas ao tratamento convencional de lodos ativados em um único tanque. Dessa forma, esses processos e operações passam a ser simplesmente sequências no tempo e as etapas do tratamento são determinadas através do estabelecimento de ciclos com durações definidas (PICKBRENNER, 2002, p.7).

Zaiat *et al.* (2001), relaciona o processo de operação do reator anaeróbio em batelada sequencial a quatro etapas distintas: alimentação, reação, sedimentação e descarte. A figura 2 ilustra a sequência do processo.

von Sperling (1997), cataloga as fases da operação do processo de lodos ativados com fluxo intermitente, sendo assim, a primeira etapa consta como enchimento ou alimentação e se refere a adição do esgoto e do substrato para a atividade microbiana; a reação é a etapa de aeração, mistura ou ambos, no reator; a terceira etapa, de sedimentação, compreende a separação das fases sólidas e líquidas, sendo ressaltado que, para decantadores de fluxo intermitente, tal etapa tem melhor eficiência que em decantadores secundários convencionais, pois durante este processo nos reatores em batelada não há entrada ou saída de águas residuárias. Por fim, o descarte ou esvaziamento tem como objetivo retirar o efluente tratado.

Figura 2 - Ciclo de operação em reator de fluxo intermitente.



Fonte: Adaptado de Sperling (2001).

Lapa (2003) explicita os resultados obtidos pelas experiências de Dague *et al.* (1992) a respeito de ASBR tratando efluentes sintéticos com a utilização de leite em pó desnatado e águas residuárias advindas das atividades de

suinocultura. Para o primeiro caso, observou-se eficiência na remoção de DQO de até 80% e 92% de remoção de SSV (sólidos suspensos voláteis) para as práticas de suinocultura.

O que diz respeito a eficiência, estudos de Sarti e Foresti (2009) acerca de reatores anaeróbios com fluxo intermitente tratando águas residuárias industriais ricas em enxofre, demonstram que além de remover matéria orgânica com níveis de eficiência satisfatórios, o processo também é capaz de promover a redução de sulfeto.

Massé *et al.* (2003) obtiveram eficiência máxima na remoção de DQO, pelo processo de reatores anaeróbios em batelada sequencial de 89,5% para condições ambientais a 20°C, tratando efluentes industriais advindos da suinocultura.

Duda e Oliveira (2009) concluíram que o ASBR pode ser considerado viável para o tratamento de águas residuárias provenientes das atividades de suinocultura, dado que o processo alcançou eficiência máxima de DQO e sólidos suspensos de 88%.

Em estudo realizado por Timur e Öztürk (1999), com resíduos líquidos advindos de aterro municipal, a eficiência na remoção de matéria orgânica atingiu valores de até 85%, para temperatura de 35°C em ASBR.

Welper *et al.* (1997) desenvolveram análises em ASBR para escala laboratorial com substrato sintético de leite em pó desnatado, tendo como foco avaliar a influência da temperatura no processo, alcançando resultados de 95% para DQO solúvel e 90% para DQO total.

Chang *et al.* (1994) utilizaram o ASBR para tratamento de lodo municipal advindo da estação de tratamento de efluentes, fazendo experimentos com tempos de ciclo, resultando em eficiências de até 90% para remoção de matéria orgânica.

Brito *et al.* (1997) buscaram melhorar a eficiência do SBR optando por um processo denominado (P-SBR), com o intuito de diminuir as zonas mortas presentes no reator e aumentar o contato líquido-sólido, com o auxílio de uma bomba diafragma. Para tal experimento, o afluente apresentava concentrações de 1000mgDQO/L, contando com remoções de 60 a 70% no final do processo.

Ruíz *et al.* (2002), investigaram o tratamento de efluentes de vinícolas utilizando reator anaeróbio em batelada sequencial que resultou na remoção de 98% da matéria orgânica contida nas águas residuárias afluentes.

4. METODOLOGIA

Este item denota-se a descrição do processo experimental realizado via reator em batelada operando anaerobiamente com efluente advindo de indústria de embalagens, localizada no município de Delmiro Gouveia.

4.1. Efluente

As águas residuárias utilizadas no processo de tratamento são providas da indústria de embalagens, a qual opera no seguinte sistema: coleta de resíduos sólidos urbanos recicláveis, lavagem, derretimento do material, trituração e posterior confecção de embalagens, produzindo, em suma, sacolas plásticas.

Dentre as características nítidas do efluente, a coloração escura, que pode ser visualizada pela figura 3, odor não acentuado e baixa viscosidade são facilmente identificadas por observação.

Figura 3 - Características visuais das águas residuárias.



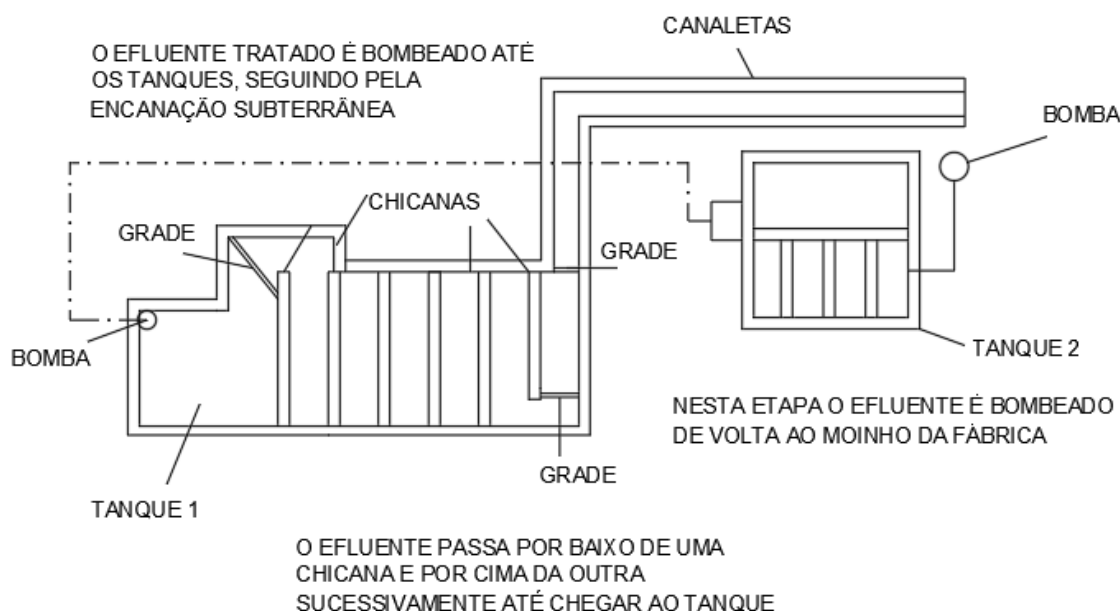
Fonte: Autora (2019).

Na própria indústria o efluente do processo industrial passa por etapas preliminares de tratamento, inicialmente, as águas residuárias passam por uma canaleta seguida de gradeamento, onde ficam retidos a maioria dos componentes sólidos grosseiros. Jordão e Pessoa (2011), definem esta etapa como mecanismos básicos de remoção de ordem física.

Após o tratamento preliminar, o esgoto passa por uma série de chicanas e é encaminhado para tanques de decantação para posterior reuso no processo

produtivo da lavagem do plástico. Para fins experimentais, o efluente utilizado nesta pesquisa teve como ponto de coleta o primeiro tanque, que recebe fluxo intermitente de água residuária. A figura 4 contém o esquema do ciclo das águas residuárias.

Figura 4 - Esquema técnico das águas residuárias na fábrica.



Fonte: Autora (2019).

As atividades industriais não ocorrem em fluxo contínuo, se encerrando às 17h30min com retorno às 6h, diariamente, durante o período em que não há operação na indústria, a estação de tratamento de efluentes fica sem operação.

As coletas foram realizadas às segundas, quartas e sextas, às 14h40min (exceto em dias especiais por problemas de locomoção), manualmente, com o auxílio do responsável pelo sistema de tratamento já implementado na indústria.

4.2. Biomassa

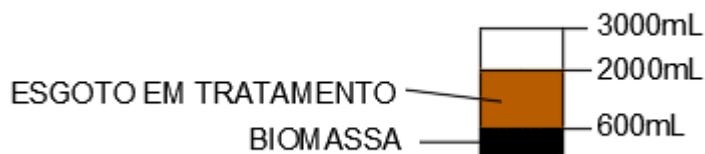
Em primeiro momento foi coletada a manta de lodo do tanque séptico da UFAL – Campus Sertão e inserido no sistema com a finalidade de promover uma relação ótima entre biomassa e substrato. Posteriormente, o próprio sistema pode promover essa relação ótima, sendo descartado o excedente.

4.3. Reator anaeróbio em batelada

Para o reator, foi utilizado um béquer de vidro com volume equivalente à 3000mL com altura de 21,9 cm e diâmetro da base de 16,3 cm, ficando preenchido com 2000mL, para fins de operação, em que 30% do volume de

operação (600mL) se destina a biomassa e os 70% restantes (1400mL) compreendem o volume útil do reator. A figura 5 ilustra a configuração do reator.

Figura 5 - Configuração do reator.



Fonte: Autora (2019).

A fim de evitar luminosidade bem como o desenvolvimento de bactérias fotossintéticas, utilizou-se folhas de alumínio em volta do béquer propiciando, ausência de luz no processo, de acordo com a figura 6.

Figura 6 - Béquer utilizado como componente principal do reator.



Fonte: Autora (2019).

O que diz respeito a agitação, o sistema conta com agitador eletrônico mecânico de agitação constante adequado para líquidos de baixa e média viscosidade, com haste de agitação tipo pá, visualizado pela figura 7.

Figura 7 - Agitador eletrônico magnético.



Fonte: Catálogo loja Bunker.

Inicialmente utilizou-se uma bomba dosadora EXATTA, entretanto, por problemas operacionais o equipamento, à posteriori, foi substituído por outra bomba, também dosadora, de modelo EMEC 0505.

O catálogo do fabricante indica que a bomba dosadora EMEC 0505 utilizada tem vazão de 05 L/H e pressão de 07 (BAR). A figura 8 equivale ao modelo da bomba dosadora utilizada no processo.

Figura 8 - Bomba dosadora.

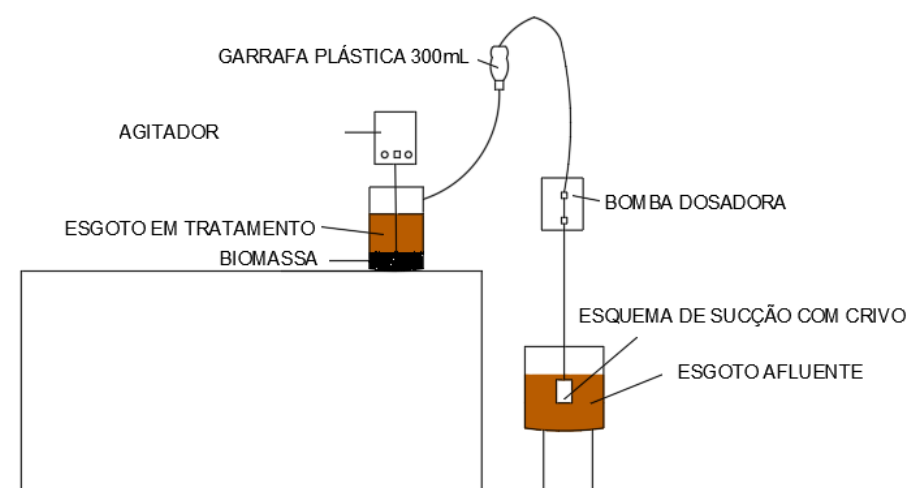


Fonte: Catálogo EMEC Brasil.

O sistema é composto pelo béquer, agitador eletrônico mecânico, bomba (necessária para enchimento, esvaziamento e recirculação), conjunto de

mangueiras e uma garrafa plástica de 300mL, a qual tem como finalidade receber os impactos promovidos pela bomba, fazendo o líquido escoar ao sistema com o menor impacto possível para o tratamento anaeróbio, já que a propulsão da bomba acarreta bolhas de ar ao sistema, que devem ser manipuladas a fim de otimizar o processo operacional. A figura 9 contém o esquema do sistema operacional.

Figura 9 - Ilustração do sistema operacional.



Fonte: Autora (2019).

A fim de reduzir interferências externas e tornar o sistema mais fiel ao proposto, o béquer foi coberto por durex impedindo que agentes externos pudessem penetrar no reator, além de reduzir a presença de oxigênio presente na atmosfera. A figura 10 ilustra a configuração final do reator a nível de bancada.

Figura 10 - Configuração do reator a nível de bancada.



Fonte: Autora (2019).

4.4. Operação

A operação se deu no Laboratório de Saneamento Ambiental da Universidade Federal de Alagoas – Campus Sertão, em um reator anaeróbio em batelada com escala de bancada, cujo processo perdurou durante 6 semanas, sendo as 3 primeiras destinadas ao tempo de agitação de 10h, resultando em um ciclo com duração de 13h40min e as 3 restantes com tempo de agitação de 6h, resultando em um ciclo com duração de 9h40min. Para ambos os períodos, a operação contou com 4 estágios, enchimento, agitação, sedimentação ou decantação e descarte. As tabelas 3 e 4 ilustram a logística da operação.

Tabela 3 - Etapas da operação 1.

Operação 1 (agitação de 10h)				
	Enchimento	Agitação	Sedimentação	Descarte
Início	21:40	22:00	08:00	11:00
Término	22:00	08:00	11:00	11:20

Fonte: Autora 2019.

Tabela 4 - Etapas da operação 2.

Operação 2 (agitação de 6h)				
	Enchimento	Agitação	Sedimentação	Descarte
Início	08:40	09:00	15:00	18:00
Término	09:00	15:00	18:00	18:20

Fonte: Autora 2019.

A operação consiste basicamente na entrada do afluente ao béquer, via bomba dosadora, com um sistema de sucção incluindo crivo (evitando a passagem de elementos sólidos ao reator). Após a etapa de sucção, o afluente é recalcado, passando por uma garrafa plástica de 300mL, a qual absolve o primeiro impacto advindo da pressão da bomba dosadora, feito isso, o líquido escoava de forma menos turbulenta ao béquer.

Obtendo-se um volume total de 2L de afluente mais biomassa, a bomba dosadora é desligada e o agitador mecânico é acionado, ficando em funcionamento pelo tempo determinado no tipo de ciclo.

A sequência operacional conta com decantação ou sedimentação de 3h, para ambos os ciclos, sequenciado pela coleta do efluente sobrenadante, visando análise. Quando a batelada era concluída, um novo ciclo não poderia ser iniciado imediatamente devido ao caráter manual presente na operação para acionamento de comandos, sendo assim, provia-se de recirculação do efluente já tratado e contido no béquer ao final da batelada até que pudesse ser iniciado um novo processo.

A recirculação era realizada pela bomba dosadora. Para manter o reator conservado, sem deterioração da biomassa, dado que as bactérias presentes no processo anaeróbio são altamente suscetíveis à inibição por grande número de compostos (CHERNICHARRO, 1997), a agitação era mantida constante pelo agitador mecânico.

Vale ressaltar que a operação teve caráter manual para o acionamento da bomba nas etapas de alimentação e esvaziamento para descarte de efluente, bem como no acionamento do agitador mecânico.

4.5. Métodos analíticos

Tendo em vista as características visuais do esgoto afluente, os dados analisados se destinaram a avaliação de pH, turbidez e DQO. Os dois primeiros foram ensaiados no próprio laboratório de realização do experimento, já a análise

de DQO contou com a colaboração do Laboratório de Saneamento da Universidade Federal de Alagoas – Campus A.C. Simões. Tal procedimento para análise de DQO foi necessário devido a insuficiência de equipamentos laboratoriais no Campus do Sertão.

Para fins de análise, a cada ciclo eram colhidas duas amostras de esgoto afluente e duas de efluente destinadas a uma garrafa plástica com capacidade de 300mL, sendo as coletas feitas duas vezes por semana. Sendo assim, a cada semana resultavam 8 amostras, das quais todas eram congeladas imediatamente após recolhimento, sendo 4 posteriormente encaminhadas para o Laboratório de Saneamento do Campus A.C. Simões e as 4 restantes ensaiadas no Laboratório de Saneamento Campus do Sertão.

A análise da DQO ocorre de acordo com o proposto pelo Laboratório de Saneamento Ambiental do CTEC, já o teste de pH tem como método de análise o potenciométrico e o ensaio foi realizado de acordo com as informações do fabricante do aparelho. O que diz respeito a turbidez, segue o princípio ilustrado por Jordão e Pessoa (2011) e o manuseio do equipamento segue as instruções do fabricante.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Ciclo 1

O ciclo 1 compreende agitação de 10h e tempo total de 13h40min, como mencionado no item acima, sendo analisado os parâmetros de DQO, pH e turbidez. No que se refere a DQO, a tabela 5 ilustra os valores em mg/L de esgoto afluente e efluente bem como a porcentagem de remoção da matéria orgânica.

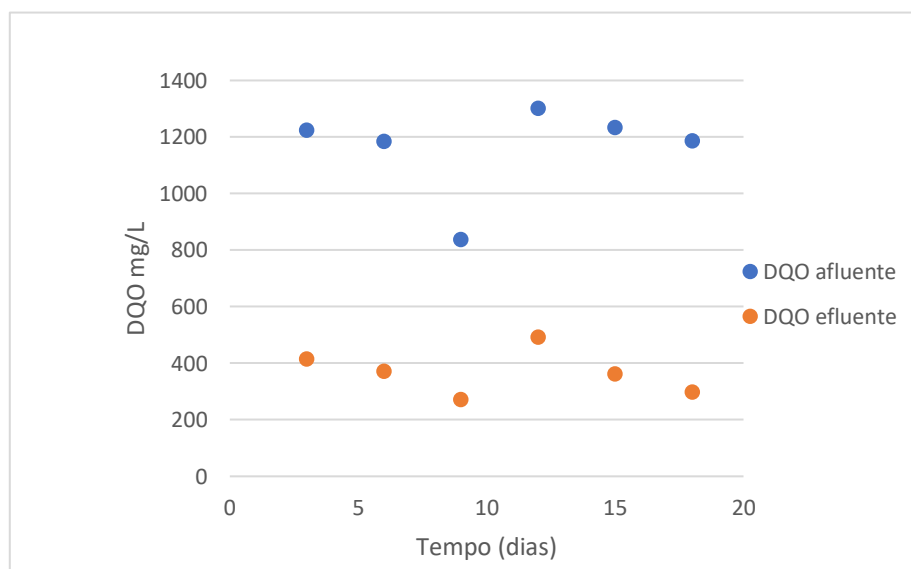
Tabela 5 - Análise de DQO para o ciclo 1.

Ciclo 1 - Agitação de 10h			
DATA	TIPO	DQO (mg/L)	% de remoção
04.02	Afluente	1224	66%
05.02	Efluente	414	
06.02	Afluente	1183	69%
06.02	Efluente	370	
11.02	Afluente	836	68%
12.02	Efluente	271	
13.02	Afluente	1300	62%
14.02	Efluente	491	
18.02	Afluente	1232	71%
19.02	Efluente	361	
21.02	Afluente	1186	75%
22.02	Efluente	298	

Fonte: Autora (2019).

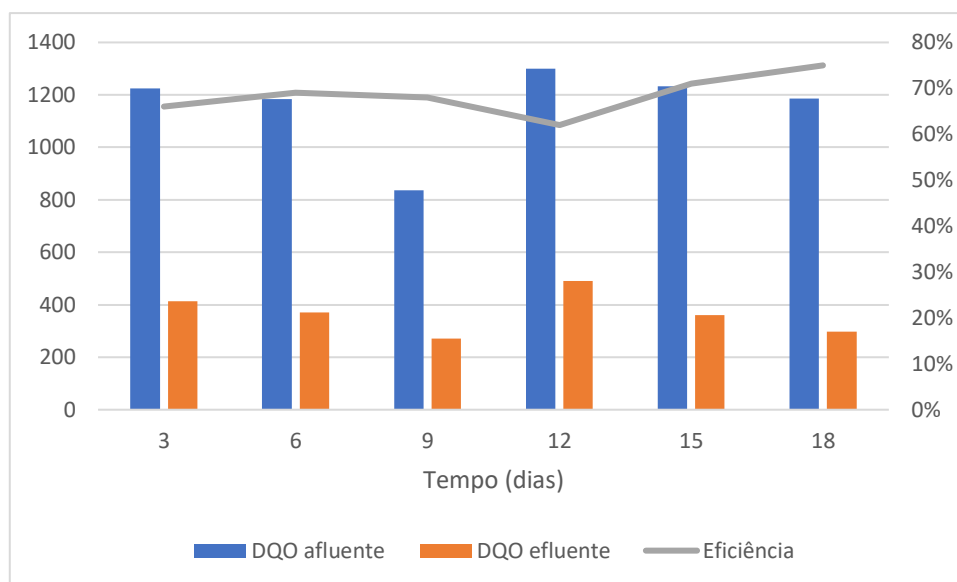
Durante o período de operação do reator no ciclo com agitação de 10h, a remoção de DQO foi analisada ao longo de, aproximadamente, 3 semanas, correspondendo a 18 dias. O perfil temporal desta verificação é visualizado pela figura 11 e a eficiência na remoção de DQO pela figura 12.

Figura 11 - Perfil temporal da remoção de DQO para o ciclo 1.



Fonte: Autora (2019).

Figura 12 - Eficiência na remoção de DQO para o ciclo 1.



Fonte: Autora (2019).

A concentração de matéria orgânica afluente girou em torno de 1160 ± 150 mg/L, já a efluente manteve valores médios de $367,5 \pm 72,6$ mg/L, com eficiência média de 68% e efluente com aspecto mais claro em relação ao afluente. Observa-se, pela figura 12, que o efluente teve remoção de DQO quase linearmente ascendente, exceto pela operação envolvendo o décimo segundo dia de operação, que pode ser reflexo do maior valor de DQO afluente, de acordo com a figura 11, ou alguma interferência externa devido ao caráter prioritariamente manual da operação.

Assim como o estudo de Brito *et al.* (1997), as características do esgoto afluente contam com elevados valores de DQO, acima de 1000mg/L, fazendo a eficiência do reator variar entre 62 e 75%, semelhante ao caso de Brito em que a eficiência para remoção de matéria orgânica manteve níveis entre 60 e 70%.

A Resolução nº 430/2011 do CONAMA, indica as condições e padrões de lançamento de efluentes, sendo a DBO o parâmetro utilizado para medir concentrações de matéria orgânica. É tido que a razão DQO/DBO admite valor médio de 1,8 (ALBUQUERQUE *et al.* 2009; AMORIM *et al.* 2013). Nessa ótica, é especificado pelo órgão ambiental que a remoção mínima de matéria orgânica deve ser de 60% e este limite só poderá ser lançado ao corpo receptor caso seja feito estudo de autodepuração das águas.

Para tanto, o tratamento é tido como eficaz, pois a eficiência de remoção média é de 68%, estando dentro do limite indicado pelo CONAMA.

O que caracteriza o pH, pode ser visualizado pela tabela 6 que engloba os valores de pH afluente e efluente do ciclo inicial, correspondente a 10h de agitação.

Tabela 6 – Análise de pH para o ciclo 1.

Ciclo 1- Agitação 10h		
DATA	TIPO	pH
04.02	Afluente	7,89
05.02	Efluente	7,94
06.02	Afluente	8,50
07.02	Efluente	7,81
11.02	Afluente	7,96
12.02	Efluente	8,50
13.02	Afluente	8,36
14.02	Efluente	8,11
18.02	Afluente	7,98
19.02	Efluente	7,82
21.02	Afluente	7,89
22.02	Efluente	7,45

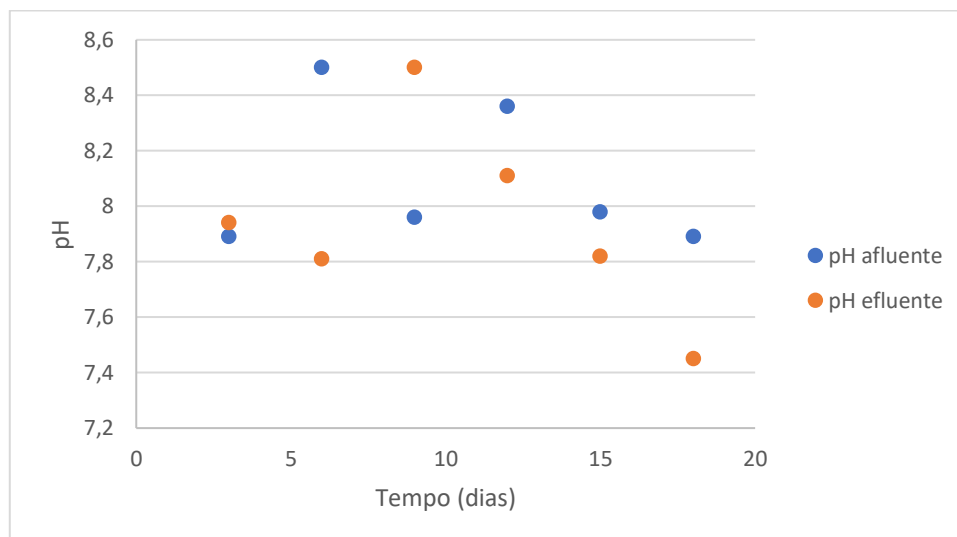
Fonte: Autora (2019).

Segundo Chernicharro (1997), as bactérias produtoras de metano são mais suscetíveis tanto a variações de pH, quanto a operação em faixas muito ácidas ou muito básicas, tendo uma faixa de tolerância para valores entre 6,0 e 8,3. Como os valores de pH afluente giraram em torno de $8,1 \pm 0,24$ e os efluentes convergiram para $7,94 \pm 0,32$, o reator operou em faixa de tolerância adequada.

É pertinente analisar o que diz a Resolução nº 430/2011 do CONAMA no que se refere a pH, sendo possível lançamento de efluente ao corpo hídrico com valores entre 5 e 9.

A figura 13 ilustra a dispersão nos valores de pH observados no período de funcionamento no reator no ciclo 1, que durou em média 3 semanas equivalendo a 18 dias.

Figura 13 – Monitoramento de pH para o ciclo 1.



Fonte: Autora (2019).

O que diz respeito a turbidez, é ilustrado na tabela 7 com os valores referentes as medições de turbidez em NTU.

Tabela 7 – Análise de turbidez para o ciclo 1.

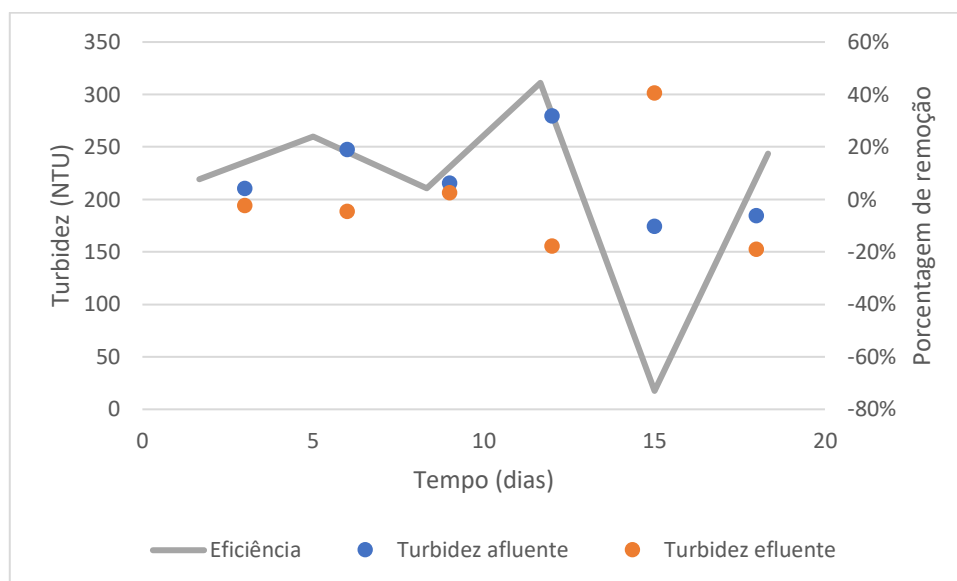
Ciclo 1- Agitação 10h		
DATA	TIPO	Turbidez (NTU)
04.02	Afluente	210
05.02	Efluente	194
06.02	Afluente	247
07.02	Efluente	188
11.02	Afluente	215
12.02	Efluente	206
13.02	Afluente	279
14.02	Efluente	155
18.02	Afluente	174
19.02	Efluente	301
21.02	Afluente	184
22.02	Efluente	152

Fonte: Autora (2019).

A figura 14 faz um comparativo entre sólidos em suspensão afluente e efluente, demonstrando a eficiência do processo para unidades de NTU. Vale ressaltar que, conforme a figura, há um decréscimo acentuado na eficiência para o décimo quinto dia de experimento, que pode ter sido causado por problemas envolvendo o processo, dado o caráter manual da operação bem como pela

substituição da bomba, alterando o jato de propulsão tanto no béquer, quanto na retirada do efluente sobrenadante.

Figura 14 – Análise de turbidez para o ciclo 1.



Fonte: Autora (2019).

A turbidez, descontando o par que destoa das demais amostras (pertinente ao décimo quinto dia de operação), tem valores médios de $227 \pm 32,8$ NTU para afluente e $179 \pm 21,6$ NTU efluente, com eficiência estimada de, aproximadamente 20%.

A Resolução do CONAMA nº 430/2011, não prevê parâmetros em NTU para lançamento de efluentes em corpos hídricos, sendo mencionado na Resolução nº 357/2005 índices para a qualidade das águas em virtude das classes, estipulando como limite máximo a presença de 100 NTU para águas enquadradas na classe 2, para fins de abastecimento humano (após tratamento), aquicultura, pesca, irrigação de hortaliças, jardins, campos, em que possa haver contato direto com o público, além de recreamento primário, natação e demais esportes.

Analisando o valor de turbidez médio obtido após o tratamento, de acordo com a Resolução nº 357/2005, o efluente não estaria apto a ser destinado ao corpo receptor sem estudo prévio da qualidade final da água após seu lançamento.

5.2. Ciclo 2

Para o ciclo 2, a operação durou 9h40min, com tempo de agitação de 6h. Os parâmetros foram monitorados durante 3 semanas, equivalendo a 18 dias. A tabela 8, referente a análise de DQO, é ilustrada a seguir.

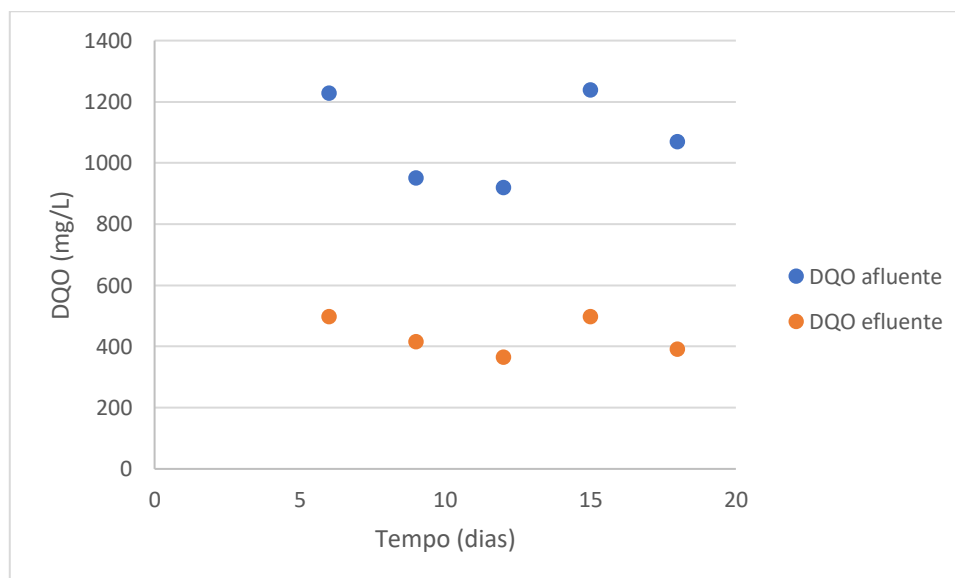
Tabela 8 - Análise de DQO para o ciclo 2.

Ciclo 2- Agitação 6h			
DATA	TIPO	DQO (mg/L)	% de remoção
25.02	Afluente	-	-
26.02	Efluente	-	
27.02	Afluente	1228	60%
28.02	Efluente	497	
06.03	Afluente	950	56%
07.03	Efluente	414	
08.03	Afluente	918	60%
09.03	Efluente	365	
11.03	Afluente	1238	60%
13.03	Efluente	496	
13.03	Afluente	1069	63%
14.03	Efluente	391	

Fonte: Autora (2019).

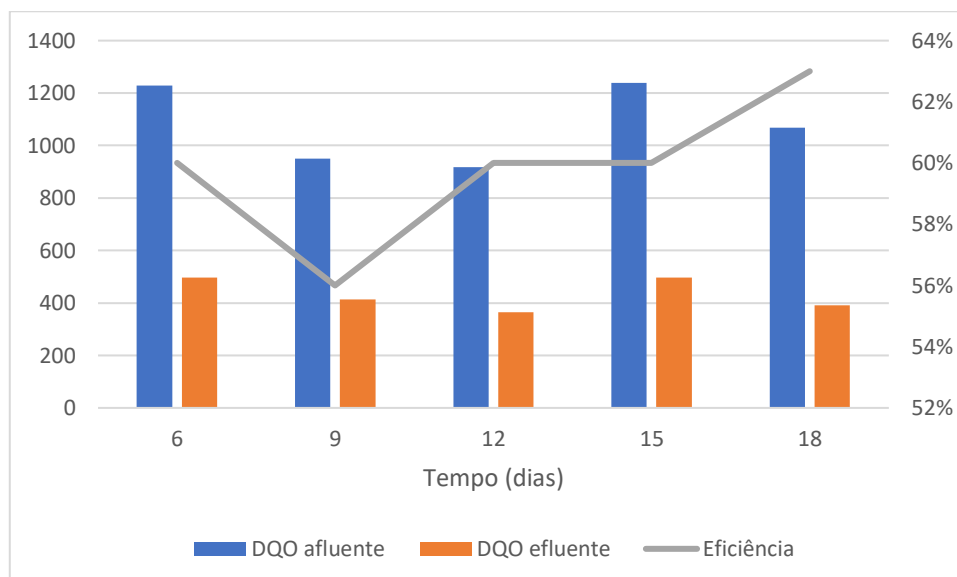
Por problemas no transporte, as análises de DQO referentes a primeira semana de operação não podem ser computadas. A figura 15 ilustra o perfil temporal dos valores de DQO afluente e efluente e a figura 16 faz menção as análises de remoção de matéria orgânica com a eficiência de cada batelada.

Figura 15 - Perfil temporal de DQO para o ciclo 2.



Fonte: Autora (2019).

Figura 16 - Análise de DQO para o ciclo 2.



Fonte: Autora (2019).

Para o ciclo 2 são observados valores de remoção de matéria orgânica inferiores aos obtidos no ciclo 1, podendo ser justificado devido ao menor tempo de contato entre a biomassa e o substrato na fase de reação, resultando em um ciclo 4h mais curto que o realizado no ciclo 1. Vale ressaltar que o valor da DQO afluente girou em torno de $1080,6 \pm 134$ mg/L e para DQO efluente, tem-se aproximadamente, $432,6 \pm 54,4$ mg/L, com eficiência de remoção global de 60%.

Como estipulado pela Resolução nº 430/2011 do CONAMA, o valor mínimo esperado para lançamento de efluente no que diz respeito a eficiência na remoção de matéria orgânica equivale a 60%, sendo assim, o tratamento é eficiente perante o disposto na legislação brasileira.

As características de pH podem ser observadas pela tabela 9, contendo os valores aferidos afluentes e efluentes a cada batelada.

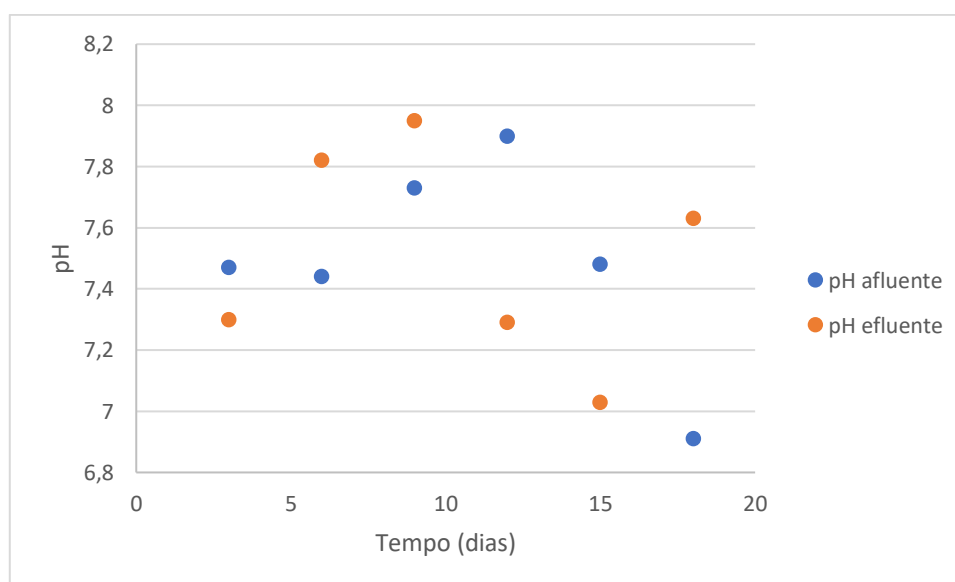
Tabela 9 - Análise de pH para o ciclo 2.

Ciclo 2- Agitação 6h		
DATA	TIPO	pH
25.02	Afluente	7,47
26.02	Efluente	7,3
27.02	Afluente	7,44
28.02	Efluente	7,82
06.03	Afluente	7,73
07.03	Efluente	7,95
08.03	Afluente	7,9
09.03	Efluente	7,29
11.03	Afluente	7,48
13.03	Efluente	7,03
13.03	Afluente	6,91
14.03	Efluente	7,63

Fonte: Autora (2019).

Os valores médios de pH para as águas residuárias são de $7,48 \pm 0,31$, para afluente e $7,50 \pm 0,32$ para efluente, estando na faixa de operação adequada estudada por Chernicharro (1997) e citada no item anterior para o ciclo 1. A figura 17 ilustra as variações de pH ao longo das semanas estudadas para o ciclo de 9h40min.

Figura 17 - Monitoramento de pH para o ciclo 2.



Fonte: Autora (2019).

Como disposto no CONAMA na Resolução nº430/2011, para lançamento de efluente de qualquer fonte poluidora, os valores de pH não devem oscilar a limites superiores que 5 e 9, para tanto, o tratamento proposto mantém o pH a níveis adequados ao descarte.

Ao se analisar a turbidez, confeccionou-se a tabela 10 a fim de relacionar os valores afluentes e efluentes ao período de estudo.

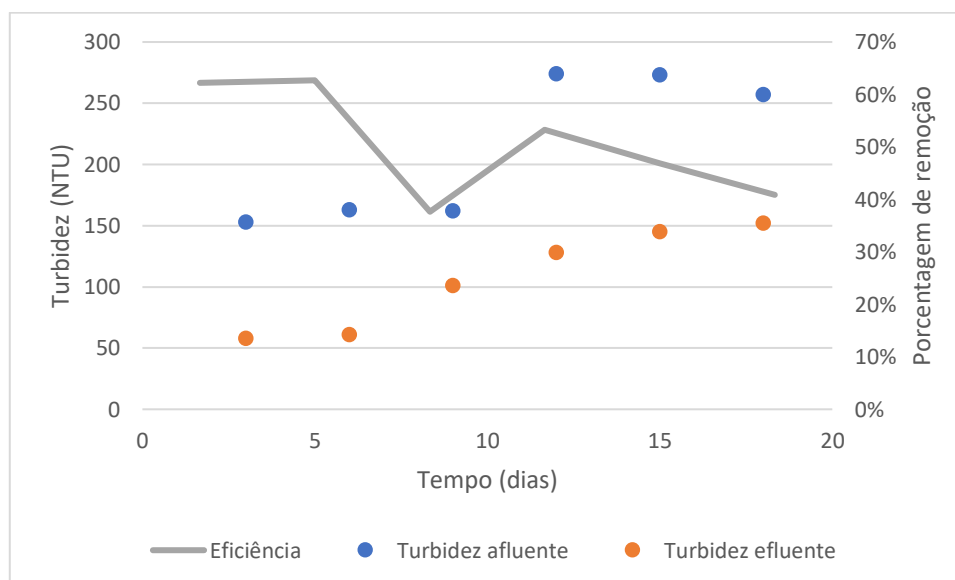
Tabela 10 - Análise de DQO para o ciclo 2.

Ciclo 2- Agitação 6h		
DATA	TIPO	Turbidez
25.02	Afluente	153
26.02	Efluente	57,8
27.02	Afluente	163
28.02	Efluente	60,8
06.03	Afluente	162
07.03	Efluente	101
08.03	Afluente	274
09.03	Efluente	128
11.03	Afluente	273
13.03	Efluente	145
13.03	Afluente	257
14.03	Efluente	152

Fonte: Autora (2019).

A figura 18 faz referência a análise de turbidez efetuada no esgoto afluente e no efluente, enquadrando a eficiência pela observação da porcentagem de diminuição dos SST's nas amostras.

Figura 18 - Análise da turbidez para o ciclo 2.



Fonte: Autora (2019).

A níveis globais, a turbidez afluente tem como média $213,67 \pm 54,7$ NTU e $107,43 \pm 37,64$ NTU para efluente, com eficiência de, aproximadamente 51%.

Os valores de turbidez do ciclo 2, tiveram maior eficiência na remoção de SST quando comparado ao ciclo 1. Tal característica pode ser relacionada ao

menor tempo de agitação das partículas (4h a menos que no ciclo 1) e mesmo tempo de sedimentação (3h).

O que se refere a legislação brasileira, a turbidez efluente está bem próxima da determinada no CONAMA, Resolução nº 357/2005, a qual, como indicada na discussão envolvendo a turbidez do ciclo 1, determina nível máximo de 100 NTU para qualidade das águas pertencentes a classe 2.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho se dispõe a avaliar a eficiência de processos anaeróbios tratando efluente industrial com fluxo intermitente de operação, através de um reator anaeróbio em batelada, demonstrando a importância da disseminação de alternativas referentes ao saneamento.

A operação durou 6 semanas e foi dividida em duas etapas, submetendo o reator a trabalhar a dois tipos de ciclo distintos, o primeiro com operação total de 13h40min por batelada, durando 3 semanas, contando com 10h de reação e o segundo com 9h40min, durando 3 semanas, com 6h de agitação.

Apesar do caráter manual do processo, é possível concluir que o reator é de fácil operação e atinge valores satisfatórios quanto aos parâmetros analisados. Para o ciclo 1, o afluente médio é de 1160 ± 150 mg/L, já o efluente corresponde a $367,5 \pm 72,6$ mg/L, com eficiência média de 68%, para DQO, pH variando entre $8,1 \pm 0,24$ e $7,94 \pm 0,32$ e a turbidez com valores médios de $227 \pm 32,8$ NTU para afluente e $179 \pm 21,6$ NTU efluente, com eficiência estimada de, aproximadamente 20%. Já o ciclo 2 conta com $1080,6 \pm 134$ mg/L afluente e $432,6 \pm 54,4$ mg/L de DQO efluente, com eficiência de remoção global de 60%, pH variando entre $7,48 \pm 0,31$, para afluente e $7,50 \pm 0,32$ para efluente e turbidez afluente de $213,67 \pm 54,7$ NTU e $107,43 \pm 37,64$ NTU para efluente, com eficiência de, aproximadamente 51%.

É possível verificar que o ciclo 2, apresenta boas características no que se refere aos parâmetros analisados, com pH trabalhando em faixa de operação melhor que a flutuação encontrada no ciclo 1, eficiência quanto a turbidez superior a 30% em relação ao primeiro ciclo, estando próxima aos valores previstos na Resolução nº 327/2005 do CONAMA, que se refere ao parâmetro para qualidade de água, distando 7 NTU do padrão estabelecido para classe de água do tipo 2. Por fim, destaca-se que em relação a remoção de matéria

orgânica, apesar do ciclo 1 possuir média de 68%, o ciclo 2 remove 60% da matéria orgânica afluyente em menos tempo de operação, estando ambos contemplados pela Resolução do CONAMA nº 430/2011, que admite lançamento de efluente de qualquer fonte poluidora, com, no mínimo, 60% de eficiência para remoção de poluentes. Vale ressaltar que deve ser feita análise no corpo receptor antes da concessão da licença para avaliar a capacidade autodepurativa do ambiente aquático.

Sendo assim, o custo benefício indica que o ciclo 2 apresenta-se como alternativa mais viável para o tratamento do efluente estudado, considerando a legislação brasileira vigente que é contemplada, além do viés econômico, admitindo que a agitação é realizada por equipamento eletrônico, sendo tratado efluente de mesma característica a parâmetros semelhantes por menos tempo de duração global do ciclo, em especial da agitação.

6.1. Sugestões

Dispostas as considerações finais, a fim de melhorar a operação e, conseqüentemente, eficiência do processo, algumas intervenções são sugeridas para trabalhos futuros.

- Automatização do processo com a adição de equipamentos para tornar mais preciso os tempos de acionamento dos dispositivos;
- Analisar os parâmetros para mais tempos de ciclo;
- Acrescentar análise de parâmetros para o estudo;
- Investigar a eficiência para escala piloto;
- Avaliar diferentes formas de agitação a diferentes velocidades.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, E. F. **Estudo da diversidade microbiana metanogênica em reatores UASB tratando esgoto sanitário**. 93 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

AGUIAR, M. R. M. P.; NOVAES, A. C. Remoção de Metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. **Química Nova [online]**. v .25, n.6b, p.1145-1154, 2002.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Portal da Qualidade das águas**. Disponível em: < <http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-idade-aguas.aspx>>. Acesso em: 29 dez. 2018.

ALBUQUERQUE, C. G. et al. Relação entre os valores de DQO e DBO da estação de tratamento de esgoto de Peixinhos em Olinda - PE. In: **Anais eletrônicos... IX JORNADA DE ENSINO PESQUISA E EXTENSÃO**. Recife: UFPRE, 2009. Disponível em: <<http://www.eventosufrpe.com.br/jepex2009/cd/resumos/r0549-3.pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2019.

ALMEIDA, E. et al. Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 27, n. 5, p. 818-824, 2004.

AMARE, D. E; OGUN, M. K; KÖRNER, I. Anaerobic treatment of deinking sludge: Methane production and organic matter degradation. **Waste Management**. v. 85, p. 417-424, 2019.

AMORIM et al. Relação DQO/DBO_5 em efluentes da indústria da mandioca (manipueira) no submédio do vale do São Francisco, Brasil. In: **Anais... SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDÚSTRIAS**. São Pedro, 2013. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/961722/relacao-dqodbo-em-efluentes-da-agroindustria-da-mandioca-manipueira-no-submedio-do-vale-do-sao-francisco-brasil>>. Acesso em: 16 mar. 2019.

ARAUJO, T. L. S. **Desempenho de reator anaeróbio híbrido (leito fixo e manta de lodo) tratando esgoto sanitário em escala piloto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário. NBR 9800.** Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. NBR 9649.** Rio de Janeiro, 1986.

BEYERS, R. J.; ODUM, H. T. **Ecological Microcosms.** New York: Springer Verlag, 1993.

BRASIL. **Resolução CONAMA 357.** Brasília, Ministério do Meio Ambiente. 2005.

BRASIL. **Resolução CONAMA 430.** Brasília, Ministério do Meio Ambiente. 2011.

BRITO, A. G.; RODRIGUES, A. C.; MELO, L. F. Feasibility of a pulsed sequencing batch reactor with anaerobic aggregated biomass for the treatment of low strength wastewaters. **Wat. Sci. Tech.** v. 35, n. 1, p. 193-198, 1997.

BRUNO, M; OLIVEIRA, R. A. Tratamento anaeróbio de águas residuárias do beneficiamento de café por via úmida em reatores UASB em dois estágios. **Eng. Agríc.** Jaboticabal, v.28, n 2, p 364-377, 2008.

BUNKER. **Catálogo técnico de agitadores.** Disponível em: <<https://www.lojabunker.com.br/produtos/agitadores-e-kline>>. Acesso em: 8 fev. 2019.

CHANG, D.; HUR, J. M.; CHUNG, T. H. Digestion of municipal sludge by anaerobic sequencing batch reactor. **Wat. Sci. Tech.** v. 30, n. 12, p. 161-170, 1994.

CHERNICHARRO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios: Princípios de Tratamento Biológico de Águas Residuárias.** Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1997. v. 5.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **NTS 003: DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio.** São Paulo, p.9. 1997.

DAGUE, R. R.; McKINNEY, R. E.; PFEFFER, J. T. Anaerobic Activated Sludge. **Water Pollution Control Federation**. v. 38, p. 220-226, 1966.

DUDA, R. M.; OLIVEIRA, R. A. Reatores anaeróbios operados em batelada sequencial, seguidos de lagoas de polimento, para o tratamento de águas residuárias de suinocultura. Parte I: produção de metano e remoção de DQO e de sólidos suspensos. **Eng. Agríc.** Jaboticabal. v. 29, n. 1, p. 122-134. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162009000100013&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 13 fev. 2019.

EMEC. **Catálogo técnico de bombas**. Disponível em: <<http://www.emecbrasil.com.br/bombasdosadoras1.html>>. Acesso em: 11 fev. 2019.

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. 63 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

FONSECA, M. A. S. **Redução da carga orgânica de efluentes industriais contaminados com óleo pela ação do reagente de fenton**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2007.

FREIRE, R. S. et al. Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 504-511, 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422000000400013&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 05 jan. 2019.

GARBIM, B. G. **Tratamentos de efluente industrial com elevada carga orgânica**. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Química – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

JORDÃO, E. P; PESSOA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. ADES, 6ª edição, Rio de Janeiro, 2011.

KETCHUM, L. H. J. Design and physical features of sequencing batch reactors. **Wat. Sci. Tech.**, v. 35, p. 11-18, 1997.

LAPA, K. R. **Avaliação do desempenho de reator anaeróbio em batelada sequencial contendo biomassa imobilizada em pedra pome para tratamento de esgoto sanitário.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

LIMA, A. B. B. V. **Pós- tratamento de efluente de reator anaeróbio em sistema sequencial constituído de ozonização em processo biológico aeróbio.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

OS 17 OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Plataforma Agenda 2030. Disponível em: < <http://www.agenda2030.com.br/ods/12/>> Acesso em: 28. dez. 2018.

MASSEY, M. L.; POHLAND, F. G. Phase separation of anaerobic stabilization by kinetic controls. *Journal Water Pollution Control Federation*, Washington, v. 50, p. 2204- 2222, 1978.

MASSÉ, I.; MASSÉ, L.; CROTEAU, F. The effect of temperature fluctuations on psychrophilic anaerobic sequencing batch reactors treating swine manure. **Bioresource Technology**, Barking, v.38, n.1, p.57-62, 2003.

MEES, J. B.R. et al. Estabilização da biomassa de aguapé através da compostagem com águas residuárias de suínos e resíduos de frigorífico. **Semina. Ciências Agrárias (Online)**, v. 30, p. 93-98, 2009.

MELO, M. B. **Variação nas condições de balneabilidade das praias urbanas de Maceió ao longo de uma década.** Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) –Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2016.

NDON, U. J; DAGUE, R. R. Effects of temperature treatment of low strength wastewater using anaerobic sequencing batch reactor. **Wat. Res.** v. 31, n. 10, p. 2455-2466, 1997.

OLIVEIRA NETTO, A. P. **Reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo em escala piloto, com recirculação da fase líquida, aplicado ao tratamento de esgoto sanitário.** Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

PICKBRENNER, K. **Uso de reator sequencial e batelada (SBR) para pós tratamento de efluente de reator anaeróbio**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

POTT, C. M.; ESTRELA, C. C. Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. **Estud. av.** São Paulo, v. 31, n. 89, p. 271-283. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010340142017000100271&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 10 mar. 2019

PROGRESS ON DRINKING WATER, SANITATION AND HYGIENE: 2017 UPDATE AND SDG BASELINES. Geneva: **World Health Organization (WHO) and the United Nations Children’s Fund (UNICEF)**, 2017. Disponível em: <<https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2017/launch-version-report-jmp-water-sanitation-hygiene.pdf?ua=1>>. Acesso em: 28 dez. 2018.

QUARDOS, A. V. et al. Tratamento biológico utilizando chorume de resíduos industriais perigosos. In: ANAIS DO CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA. **Anais eletrônicos...** Campinas, GALOÁ, 2018. Disponível em: <<https://proceedings.science/cobeq/cobeq-2014/papers/tratamento-biologico-utilizando-chorume-de-residuos-industriais-perigosos>> Acesso em 13 jan. 2019.

RELATÓRIO MUNDIAL DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS 2016: ÁGUA E EMPREGO, FATORES E NÚMEROS. Paris: **United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO)**, 2016. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000244041_por>. Acesso em: 28 dez. 2018.

RUÍZ et al. Treatment of winery wastewater by an anaerobic sequencing batch reactor. **Wat. Sci. Tech.** v. 45, n. 10, p. 219-224, 2002.

SALOMON, K. R. **Avaliação técnico-econômica e ambiental da utilização do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça em tecnologias para geração de eletricidade**. 219 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Engenharia Mecânica, Itajubá, 2007.

SARTI, A.; FORESTI, E. Aplicação de reatores anaeróbios operados em bateladas sequenciais com filme fixo no tratamento de água residuária industrial rica em sulfato. **HOLOS Environment.** v. 9, n. 1, 2009.

SERENO FILHO, J. A et al. Tratamento de efluente da indústria de bebidas em reator anaeróbio de circulação interna (IC). **Revista internacional de ciências**. v.3 – n.1. jan/jun 2013.

SIMAN, R. R. **Reator Anaeróbio em Batelada Sequencial contendo biomassa imobilizada submetido a aumento de carga orgânica tratando água residuária sintética**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Universidade Federal de São Paulo. São Carlos.

SILVA, B. R. **Monitoramento de parâmetros físico-químicos do efluente de uma indústria de cosméticos e propostas de tratamento**. 2016. Trabalho Diplomação em Engenharia Química – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

SILVA, K. K. O. S. **Caracterização do efluente líquido no processo de beneficiamento do índigo têxtil**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, 2007.

SOARES, C. M. T.; FEIDEN, A.; TAVARES, S. G.; Fatores que influenciam o processo de digestão anaeróbia na produção de biogás. **Nativa**. v. 5, p. 509-514, 2017.

TIMUR, H.; ÖZTURK, I. Anaerobic treatment of leachate using sequencing batch reactor and hybrid bed filter. **Wat. Sci. Tech.** v. 36, No. 6-7, p. 501-508, 1997.

TSUTIYA, M. T.; ALEM SOBRINHO, P. **Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário**. 2ª Ed. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1999.

VISSER, A. et al. Anaerobic degradation of volatile fatty acids at diferente sulphate concentrations. **Appl. Microbiol. Biotechnol.** v. 40, p. 549-556, 1993.

von SPERLING, M. Dimensionamento de lodos ativados por batelada utilizando os princípios da teoria do fluxo de sólidos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 6, n.3/4, p. 147-156, 2001. Disponível em: <<http://abesdn.org.br/publicacoes/engenharia/resaonline/v6n34/v6n34a05.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2019.

von SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das águas e ao Tratamento de Esgoto**: Princípios de Tratamento Biológico de Águas Residuárias. 3a ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2005. v. 1.

von SPERLING, M. **Lodos ativados**: Princípios de Tratamento Biológico de Águas Residuárias. 2a ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1997. v. 4.

WELCH, E.B.; JACOBY, J.M. **Pollutant Effects in Freshwater**. 3ª Ed. London: Spon Press, 2004.

WELPER, L. L; SUNG, S. S; DAGUE, R. R. Laboratory studies on the temperature-phased ASBR system. **Wat. Sci. Tech.** v. 36, n. 2-3, p. 295-302, 1997.

ZAIAT, M. et al. Anaerobic sequencing batch reactors for wastewater treatment: a developing technology. **Appl. Microbiol. Biotechnol.** v. 55, p. 29-35, 2001.