



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

CRISTIANO BENEVIDES FIRMINO

**DESEMPENHO E OTIMIZAÇÃO DE SISTEMA DE LODOS ATIVADOS PARA
TRATAMENTO DE EFLUENTE INDUSTRIAL**

PAU DOS FERROS – RN

2019

CRISTIANO BENEVIDES FIRMINO

**DESEMPENHO E OTIMIZAÇÃO DE SISTEMA DE LODOS ATIVADOS PARA
TRATAMENTO DE EFLUENTE INDUSTRIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso Superior de Engenharia Ambiental e
Sanitária, da Universidade Federal Rural do Semi-
Árido - UFERSA, Campus Pau dos Ferros, em
cumprimento às exigências legais como requisito
para a obtenção do título de Engenheiro
Ambiental e Sanitarista.

Orientadora: Gabriela Valones Rodrigues de
Araújo

PAU DOS FERROS – RN

2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Fd Firmino, Cristiano Benevides.

DESEMPENHO E OTIMIZAÇÃO DE SISTEMA DE LODOS
ATIVADOS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTE INDUSTRIAL /

Cristiano Benevides Firmino. - 2019.

49 f. : il.

1. Tratamento biológico. 2. Demanda Química de
Oxigênio. 3. Moringa oleífera. 4. Policloreto de
Alumínio. 5. Reuso. I. Araújo, Gabriela Valones
Rodrigues de, orient. II. Título.

CRISTIANO BENEVIDES FIRMINO

**DESEMPENHO E OTIMIZAÇÃO DE SISTEMA DE LODOS ATIVADOS PARA
TRATAMENTO DE EFLUENTE INDUSTRIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Pau dos Ferros, 20 de março de 2019.

BANCA EXAMINADORA

Gabriela Valones Rodrigues de Araújo

Prof.^a. Me. Gabriela Valones Rodrigues de Araújo (UFERSA)
Presidente

Bruna Monalíze Duarte Moura

Prof.^a. Esp. Bruna Monalíze Duarte Moura (UFERSA)
Membro Examinador

Alex Pinheiro Feitosa

Prof. Dr. Alex Pinheiro Feitosa (UFERSA)
Membro Examinador

Ativar o

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pois sem ele não conseguiria chegar até aqui.

A minha família, principalmente aos meus pais e meu irmão, que estiveram presentes nessa caminhada sempre acreditando, incentivando e torcendo por mim.

A minha orientadora Me. Gabriela Valones Rodrigues de Araújo, agradeço imensamente pelos ensinamentos, pela paciência, pela compreensão, pelo incentivo e por tantos outros valores perpassados nesse período de orientação e durante as disciplinas ministradas.

A minha namorada que me incentivou e ajudou em todos os momentos durante essa caminhada, principalmente nessa etapa final.

Aos meus amigos e colegas de turma, que torceram pelo meu sucesso, além dos diversos momentos de apoio e alegria que me propiciaram.

Ao Dr. Alex Pinheiro Feitosa e a Esp. Bruna Monallize Duarte Moura, que compõem a banca examinadora do meu estudo, pelas contribuições que agregaram mais valor ao meu trabalho.

A todo o corpo de funcionários que compõem a UFERSA, em especial aos docentes que participaram de forma direta na minha formação.

Enfim, agradeço a todos que estiveram ao meu lado e contribuíram de alguma forma nessa minha jornada.

RESUMO

O tratamento dos efluentes gerados nos processos produtivos para adequação aos padrões legais de lançamento, tem se tornado uma grande preocupação das empresas. Além do estrito cumprimento da legislação ambiental, outro aspecto igualmente importante é a imagem da empresa junto à opinião pública, clientes e sociedade de uma maneira geral, cada vez mais atentos e exigentes, principalmente devido ao fácil acesso às informações divulgadas nas mídias. A necessidade pelo estudo surgiu a partir da urgência de reduzir o tempo necessário para remoção da carga orgânica que a atual configuração da estação de tratamento propiciava. Diante deste contexto, o presente estudo se propõe a avaliar a eficiência de sistema de tratamento de afluentes industriais com aplicação de lodos ativados para atendimento à legislação ambiental vigente, bem como, promover condições de reuso para o efluente tratado. Durante o monitoramento do sistema foram empregados 4 tratamentos: tratamento com *Moringa oleífera*; tratamento com Policloreto de Alumínio (PAC) com adição de polímero aniônico; e tratamento LA em duas etapas, a fase de aclimatização da biomassa e plena operação. Com os resultados, foi possível observar que mesmo o sistema LA demandando um Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) maior que os demais, o tratamento torna-se viável, pois promoveu maior eficiência em remoção dos parâmetros estudados, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Suspensos Totais (SST) e Nitrogênio Amônia. Como medida de reuso do efluente tratado, foi proposto a utilização de sistemas hidropônicos e semi hidropônicos, potencializando o uso do efluente mesmo sem a adequação a legislação. Vale salientar que essa medida poderá gerar lucros para a empresa, já que a produção destes sistemas pode ser utilizada para a alimentação. Desta forma, os resultados foram satisfatórios e podem servir de base para estudos futuros, podendo subsidiar a escolha de um tratamento que possa vir a ser escolhido por outros empreendimentos.

Palavras Chave: Tratamento biológico, Demanda Química de Oxigênio, *Moringa oleífera*, Policloreto de Alumínio, Reuso.

ABSTRACT

The treatment of the effluents generated in the production processes to suit the legal standards of launching has become a great concern of the companies. In addition to strict compliance with environmental legislation, another equally important aspect is the image of the company with public opinion, customers and society in general, more and more attentive and demanding, mainly due to the easy access to the information disclosed by the media. The need for the study arose from the urgency to reduce the time needed to remove the organic load that the current configuration of the treatment plant provided. In this context, the present study aims to evaluate the efficiency of the treatment system of industrial tributaries with the application of activated sludge to comply with current environmental legislation, as well as to promote reuse conditions for the treated effluent. During the monitoring of the system were used 4 treatments: treatment with *Moringa oleifera*; PAC treatment with addition of anionic polymer; and LA treatment in two stages, the phase of acclimatization of biomass and full operation. With the results, it was possible to observe that even the LA system requiring a higher TDH than the others, the treatment becomes feasible, since it promoted greater efficiency in the removal of the studied parameters, COD, SST and Ammoniac Nitrogen. As a measure of reuse of treated effluent, it was proposed the use of hydroponic and semi hydroponic systems, potentializing the use of the effluent even without compliance with legislation. It is worth noting that this measure could generate profits for the company, since the production of these systems can be used for food. Thus, the results were satisfactory and can serve as a basis for future studies, and may subsidize the choice of a treatment that may be chosen by other enterprises.

Keywords: Biological treatment, Chemical Oxygen Demand, *Moringa oleifera*, Aluminum Polychloride, Reuse.

LISTA DE SIGLAS

P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
NBR	Norma Brasileira
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
ETEI	Estação de Tratamento de Efluentes Industriais
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
SST	Sólidos Suspensos Totais
POAs	Processos Oxidativos Avançados
MO	<i>Moringa oleífera</i>
PAC	Policloreto de Alumínio
LA	Lodos Ativados
MBBR	<i>Moving Bed Biofilm Reactors</i>
IFAS	Sistema integrado de lodo ativado com biofilme
OD	Oxigênio Dissolvido
O ₂	Oxigênio
T	Temperatura
pH	Potencial Hidrogeniônico
N-NH ₃	Nitrogênio Amoniacal
DQO	Demanda Química de Oxigênio
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
UBPF	Unidade de Beneficiamento de Polpa de Frutas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
P1	Ponto de Coleta 01
P2	Ponto de Coleta 02
TDH	Tempo de Detenção Hidráulica
VMP	Valor Máximo Permitido
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
IVL	Idade de Vida do Lodo

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Mapa de localização da cidade de Pereiro.....	16
Figura 02 – Mapa de localização da UBPF.....	18
Figura 03 – Mapa de localização da ETEI da UBPF.....	19
Figura 04 – Concepção geral da ETEI.....	20
Figura 05 – Sistema de gradeamento da ETEI.....	20
Figura 06 – Tanque de Estabilização da ETEI.....	21
Figura 07 – Sistema de aeração no reator aeróbico.....	21
Figura 08 – Fluxograma das etapas do tratamento como <i>Moringa oleífera</i>	24
Figura 09 – Fluxograma das etapas do tratamento com PAC e adição de polímero aniônico..	24
Figura 10 – Fluxograma das etapas do sistema de lodo ativado.....	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Detalhamento dos segmentos das indústrias de Pereiro/CE.....	17
Tabela 02 – Informações das determinações analíticas em campo do efluente da ETEI.....	22
Tabela 03 – Variáveis aplicadas ao sistema, medições nos pontos P1 e P2.....	23
Tabela 04 – Valores de pH obtidos.....	26
Tabela 05 – Temperaturas nos pontos P1 e P2.....	27
Tabela 06 – Concentrações de STT por tratamento aplicado.....	28
Tabela 07 – Oxigênio dissolvido.....	30
Tabela 08 – Concentração de DQO após tratamento.....	32
Tabela 09 – Remoção de Nitrogênio Amoniacal.....	34

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	4
2 REVISÃO TEÓRICA	5
2.1 INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA	5
2.1.1 Indústria de produção de polpas de frutas congeladas	6
2.1.2 Impactos ambientais	6
2.2 TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS	7
2.2.1 Importância ambiental	7
2.2.2 Legislação aplicável	8
2.2.3 Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEI)	8
2.2.3.1 Operações e processos de tratamento	8
2.2.3.2 Tratamento com Moringa oleífera	10
2.2.3.3 Policloreto de alumínio (PAC) com adição de polímero aniônico	10
2.2.3.4 Sistema de lodos ativados (LA)	11
2.2.3.4.1 Conceituação	11
2.2.3.4.2 Variáveis operacionais	12
2.2.3.4.3 Tipos de sistemas de lodo ativado	12
2.2.3.4.4 Processos combinados para otimização de sistemas de lodos ativados	13
2.2.4 Desempenho da ETEI	14
3. METODOLOGIA	15
3.1. Tipo de pesquisa	15
3.2 Caracterização da área de estudo	16
3.3 Sistema de tratamento	19
6.4 Parâmetros de monitoramento	22
3.5 Tratamento dos dados	22
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1 ANÁLISES FÍSICO QUÍMICAS	25
4.1.1 Potencial Hidrogeniônico – pH	25
4.1.2 Temperatura	27
4.1.3 Sólidos Suspensos Totais – SST	28
4.1.4 Oxigênio Dissolvido – OD	29
4.1.5 Tempo de Detenção Hidráulica – TDH	31
4.2 REMOÇÃO DE CARGA ORGÂNICA	32
4.2.1 Demanda Química de Oxigênio – DQO	32
4.3 REMOÇÃO DE NITROGÊNIO	33
4.3.1 Nitrogênio Amoniacal (N-NH ₄)	33
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da preocupação com a degradação dos recursos naturais, com destaque para os recursos hídricos, fez com que surgisse uma pressão a nível mundial sobre as atividades potencialmente poluidoras, onde estas deveriam adotar medidas mitigadoras quanto à geração de impactos ambientais causados pelo desenvolvimento de seus processos.

Juntamente com essa exigência global, os órgãos ambientais criaram leis e medidas de execução mais rígidas para proteger e garantir a perenidade dos recursos naturais. Além disso, na atualidade, a preocupação de empreendimentos em preservar os recursos naturais ainda disponível fica cada vez maior, não só pela preocupação ambiental em relação a diminuição dos impactos ambientais, mas também com o objetivo de demonstrar para seus clientes e para a sociedade uma certa ideia de sustentabilidade (AMORIM; VARGAS; JESUS, 2014).

Na atualidade, ao se falar nos riscos de escassez hídricas em um futuro próximo, a menor fração que possa ser poupada deste recurso ou mesmo recuperada a níveis que possam ser reintegradas a outros usos, mostra-se ser extremamente necessária.

O tratamento dos efluentes gerados nos processos produtivos para adequação aos padrões legais de lançamento, tem se tornado uma grande preocupação das empresas. Além do estrito cumprimento da legislação ambiental, outro aspecto igualmente importante é a imagem da empresa junto à opinião pública, clientes e sociedade de uma maneira geral, cada vez mais atentos e exigentes, principalmente devido ao fácil acesso às informações divulgadas nas mídias (ARAÚJO, 2013).

Existe também uma grande preocupação em relação ao grau de tratamento e ao destino final dos esgotos industriais, as suas consequências sobre o meio ambiente, a qualidade das águas e aos seus usos e benefícios. Tendo em conta esses aspectos, os estudos, critérios, projetos, relativos ao tratamento e a disposição final dos esgotos, deverão ser precedidos de cuidados especiais que garantem, em algumas situações, até mesmo a reincorporação do efluente a atividades que necessitem do uso de água (FERREIRA; CORAIOLA, 2008).

Com o avanço da tecnologia, novas técnicas estão sendo descobertas e prometem níveis de remoção de poluentes excelentes na área de tratamento de efluentes. Por outro lado, métodos mais antiquadas, mas que fornecem resultados adequados para nossa necessidade, ainda são o que garantem uma “reciclagem” das águas. Desta forma, estudos que visam a combinação de mecanismos de tratamento para obtenção de altos níveis de eficiência na remoção de poluentes vem se difundindo durante os últimos anos.

A necessidade pelo estudo surgiu a partir da urgência de reduzir o tempo necessário para remoção da carga orgânica que a atual configuração da estação de tratamento propiciava. Após análise na literatura, foi possível evidenciar que uma diminuição da carga orgânica antes da etapa de lodo ativado, poderia fornecer melhores resultados nesta etapa do tratamento.

É neste contexto que o presente estudo se apoia, na busca de avaliar a combinação de tecnologias que promovam resultados satisfatórios e com o uso mínimo de recursos que sejam necessários. Assim, pretende-se avaliar resultados de análises físicas, químicas e biológicas do efluente, objetivando-se também a melhoria contínua no sistema.

Assim, o presente estudo se propõe a avaliar a eficiência de sistema de tratamento com aplicação de lodos ativados para atendimento à legislação ambiental vigente, bem como, promover condições de reuso na área agrícola para o efluente tratado.

Para conseguir atender o objetivo geral, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar por meio da realização de análises físico-químicas e microbiológicas o efluente bruto e tratado;
- Avaliar a eficiência da remoção de carga orgânica e nitrogênio;
- Indicar propostas para reuso do efluente tratado.

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA

A indústria de alimentos no Brasil é responsável por quase 15% do faturamento do setor industrial, com mais de 1 milhão de pessoas empregadas e seguindo padrões mundiais de produção, sendo necessária apenas mais investimentos na área de inovação. Com investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D), empresas que não param de procurar seguir a onda de consumo de alimentos mais saudáveis e de preparo rápido, tendem a garantir seu sucesso ao fazer estes investimentos em produtos de maior valor agregado (GOUVEIA, 2006).

Nesta perspectiva, a produção de frutas tropicais vem se destacando, nos últimos anos, como uma das principais atividades agroindustriais da região nordeste. O avanço na procura por produtos de preparo rápido fez surgir na área da industrialização de frutas as polpas naturais congeladas. A partir de então esta facção da indústria vem crescendo exponencialmente (JERÔNIMO, 2012).

2.1.1 Indústria de produção de polpas de frutas congeladas

A produção de polpas de frutas congeladas, tem ganhado destaque por ser importante alternativa para aproveitamento das frutas em épocas de entre safra, permitindo a estocagem destas na época de produção em massa (MARTINS; MARTINS, 2017). Desta forma, Da Costa et al. (2013) sugerem que pode se obter matéria prima com facilidade e com preço mais acessível nos períodos de sua sazonalidade, mais favoráveis e podem ser comercializadas de acordo com a demanda do mercado consumidor.

2.1.2 Impactos ambientais

Nas indústrias desse ramo, observa-se a necessidade de uma solução para o problema dos rejeitos desta extração. As consequências que podem trazer ao meio ambiente, quando depositados de forma incorreta, podem ser considerados significativos pela grande quantidade gerada, porém, a facilidade de promover novos usos para estes resíduos é gigantesca, pois em sua grande maioria são resíduos de característica orgânica e estes podem ser reaproveitados até mesmo para complementar a alimentação humana por ser bastante rico em açúcares e fibras (JERÔNIMO, 2012).

Grandes quantidades de resíduos são geradas na produção de polpas de frutas congeladas. Tal geração ocorre desde o início do processo, onde na etapa inicial as frutas são submetidas a uma seleção para verificar quais delas podem ser ou não incorporadas a produção. Nesta etapa as frutas são fiscalizadas com base em não apresentar sujeira, estar livre de fungos, bactérias, parasitas e demais características que não façam parte da sua composição natural, aquelas que não atenderam aos critérios, serão dispensadas gerando assim uma grande quantidade de resíduos no início do processo. Etapas como descascamento e despulpamento chegam a gerar quantidades semelhantes às da etapa inicial. Estes resíduos são de caráter biodegradáveis, porém, mesmo possuindo esta característica, durante um certo período podem ser considerados poluentes até haver sua degradação (JERÔNIMO, 2012).

O descarte das águas de lavagem residual, agregadas de matéria orgânica, resíduos insolúveis inorgânicos e cloro residual livre em grandes concentrações diretamente na rede de esgoto, sem que haja tratamento prévio, pode ser considerada também um problema ambiental grave advindo da produção de empresas deste ramo (ASSIS, 2014).

2.2 TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS

De acordo com a Norma Brasileira – NBR 9800/1987, efluente líquido industrial “é o despejo líquido proveniente do estabelecimento industrial, compreendendo emanções de processo industrial, águas de refrigeração poluídas, águas pluviais poluídas e esgoto doméstico”. A caracterização da geração dos efluentes industriais e seus possíveis impactos ambientais, são temas que demoraram muito tempo para existir uma preocupação para tomar decisões a respeito. Porém, na tentativa de adequar suas gerações aos padrões exigidos na legislação e também em alguns casos movidos por uma sensibilização ambiental, algumas indústrias desenvolvem atividades para determinar a composição de seus efluentes e propor processos de tratamento antes da sua disposição final.

Tais tratamentos, estão diretamente ligados a preservação ambiental, com foco na retirada de impurezas geradas em processos produtivos. Os processos de tratamento devem levar em consideração o custo de investimento, a qualidade em que o efluente tratado deve-se encontrar ao final do tratamento, a geração de odor, atendimento a legislação ambiental vigente e principalmente a possibilidade de reuso (MARCONDES, 2012).

2.2.1 Importância ambiental

Com o crescimento da população a demanda pela água está cada vez maior. Desta forma, a água após ser utilizada por processos industriais, deve ser tratada adequadamente antes de retornar ou ser disposta em corpos receptores, afim de diminuir a possibilidade de acarretar problemas como poluição ou contaminação de corpos hídricos. Devendo-se levar em conta que algumas empresas não emitem efluentes líquidos (CAMATTI et al., 2015).

Dessa forma, tratar qualquer efluente industrial é fundamental para diminuir os impactos ambientais causados pelo homem, sendo a poluição hídrica um dos problemas mais críticos. Deve-se buscar a reutilização dos seus próprios efluentes gerados após tratamento adequado, sendo que em alguns casos pode-se reincorpora-los em seus processos produtivos, o que torna esta ação cada vez mais atrativa, já que o valor de captação deste recurso pode ser superior ao do processo de tratamento empregado (MARCHETTI, 2013).

2.2.2 Legislação aplicável

Várias formas de tratamento da água surgiram após um dos marcos mais importantes para esta área, que foi a criação do Código das Águas em 1934, Decreto 24.643, sendo este o primeiro a abordar tal assunto, mostrando a importância que tem o tratamento adequado antes da destinação final da água. Após este marco, várias empresas tiveram que adequar o padrão do seu efluente para o atendimento legal, fazendo com que as águas que retornassem aos corpos hídricos tivessem qualidade superior ao que estava sendo lançado anteriormente (CAMATTI et al., 2015).

Hoje, a nível Nacional, temos como legislação vigente a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 430 de 13 de maio de 2011, onde estabelece as condições de lançamento de efluentes, seja este de qualquer fonte geradora.

A nível Estadual, no Ceará, a legislação vigente é a Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente (COEMA) nº 2 de 2 de fevereiro de 2017, que dispõe sobre os padrões de condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. Vale salientar que por conta de a legislação ambiental a nível estadual ser mais restritiva, o sistema objeto de estudo está sujeito a atender aos padrões contidos nesta resolução.

2.2.3 Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEI)

Estações de Tratamento de Efluentes Industriais são sistemas que visam a remoção de contaminantes gerados a partir dos processos produtivos da indústria.

2.2.3.1 Operações e processos de tratamento

As configurações de sistemas de tratamento de efluentes podem variar de acordo com a finalidade e as características que apresenta o efluente a ser tratado. A ETEI pode conter etapas de tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário.

O tratamento preliminar é de ordem física, é uma fase de remoção dos sólidos grosseiros em suspensão e areia. Von Sperling (2005) ressalta que as principais finalidades de remoção desses sólidos grosseiros e areia incluem a proteção das unidades posteriores, podendo evitar entupimentos, obstruções e depósitos de materiais no sistema de tubulações. Tal etapa facilita o transporte líquido do sistema e a transferência de lodos nas mais diversas fases do tratamento.

O tratamento primário é de caráter físico-químico, podendo conter etapas de coagulação, floculação e decantação principalmente. Nesta fase, em conjunto com a etapa preliminar, pode-se obter resultados onde aproximadamente 25% a 50% da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5) de entrada, 50% a 70% dos sólidos suspensos totais (SST), e 65% da gordura e óleos encontrados são removidos durante o tratamento primário. Alguma matéria orgânica contendo fósforo e nitrogênio, e metais pesados são, também, removidos durante a decantação primária (REIS OLIVEIRA, 2014).

O tratamento secundário é de natureza tradicionalmente biológica, podendo destacar como tipos de tratamento biológicos empregados os reatores aeróbios e anaeróbios. Os sistemas de lodo ativados, são ainda, os mais difundidos entre os tratamentos nesse patamar. Os organismos em reatores deste tipo são mantidos em aeração, para o fornecimento de oxigênio. Este oxigênio fornecido e dissolvido será consumido por grupos de bactérias heterotróficas, encorajando o processo de degradação da matéria orgânica (SANT'ANNA JR, 2010).

Nestas primeiras fases do tratamento, são removidas grande parte da DBO e SST encontradas no efluente bruto. Qualquer processo após essas etapas para produzir um efluente de qualidade superior pode enquadrar-se como no grau terciário. Segundo Üstün et al. (2011), os processos do tratamento terciário podem ser considerados processos avançados de polimento do efluente e complementam as etapas anteriores. Exemplo de processos de polimento são os Processos Oxidativos Avançados (POAs) que possibilitam que o composto não seja apenas transferido de fase, mas destruído e transformado em dióxido de carbono, água e ânions inorgânicos.

Dentre os POAs mais utilizados, o tratamento de água por ozonização vem recebendo destaque devido ao seu elevado potencial para degradar, seja parcialmente ou totalmente, compostos persistentes que não são degradados em sistemas biológicos de tratamento. A ozonização foi empregada pela primeira vez na França, em Nice, em 1906, e desde então tem sido continuamente utilizada em vários locais do mundo no tratamento de água potável e efluentes (PAPAGEORGIOU; VOUTSA; PAPADAKIS, 2014).

O ozônio é conhecido como o segundo mais poderoso agente oxidante que pode ser utilizado em escala para aplicações em tratamento de efluentes, e vem sendo adotado por diversos países em milhares de sistemas de tratamento (SCHIAVON et al., 2012).

2.2.3.2 Tratamento com *Moringa oleífera*

A *Moringa oleífera* (MO) é uma planta da família Moringaceae originária do nordeste indiano e algumas técnicas de tratamento de efluentes podem ser beneficiadas com o uso desta planta, diante da alta massa molecular e proteínas presentes em suas sementes. Processos como a sedimentação e a filtração podem ser potencializados com seu uso (ANDRADE et al., 2018).

Em estudo realizado por Arantes et al. (2015), onde comparam as metodologias de uso da moringa como coagulante natural, sendo o uso das sementes em pó e em solução aquosa, pode-se obter melhores resultados de remoção de cor e turbidez com a utilização da solução em pó. Ainda de acordo com os autores, para a utilização do pó da semente, deve-se descasca-la manualmente e triturar com ajuda de um triturador manual, para o usá-lo sem peneiramento. Já para a solução aquosa, as sementes devem ser secadas previamente e armazenadas em temperatura e umidade controlada, processadas também com ajuda de triturador manual e peneirada em equipamento com abertura de 0,84 mm. Com esse pó obtido, há a mistura com água destilada e deionizada até a obtenção de um composto mais homogêneo, sendo este passado por peneira com abertura de 0,125 mm e assim estando pronta para o uso.

De acordo com Franco et al. (2012), após o uso deste coagulante natural em forma de pó misturado com a água, pode-se haver problemas com o entupimento do filtro, devido ao grande incremento de carga matéria orgânica. Já Poumaye et al. (2012) confirmam que a etapa de filtração é extremamente importante para a remoção da carga orgânica introduzida, bem como a carga orgânica coagulada do efluente.

Em tratamentos com o objetivo de desfazer emulsões formadas por óleos e água, o uso das sementes da moringa podem se apresentar como um boa alternativa por se tratar de um método natural e que poderá obter bons resultados, já que estas sementes possuem um caráter catiônico e as emulsões são constituídas em geral por camadas negativas na camada mais externa, tendo altas forças de repulsão e facilitando a quebra da emulsão (ARANTES et al., 2015).

2.2.3.3 Policloreto de alumínio (PAC) com adição de polímero aniônico

O método de coagulação-floculação é utilizado para a remoção de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes no efluente, como óleos, gorduras, metais e matéria orgânica em suspensão. É um método amplamente utilizado para o tratamento de águas e tem como

principais agentes coagulantes os sais de alumínio (PAC e Sulfato de Alumínio). O alumínio, na sua forma iônica, tem alta capacidade de complexação com moléculas orgânicas e neutralização de partículas carregadas, promovendo, assim, a formação de agregados resultando na coagulação e posteriormente sedimentação das partículas em suspensão presentes na água. (Belbahloul et al., 2015).

Como já mencionado, o PAC é um sal de alumínio, no qual possui fórmula bruta $Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$, onde a relação $m/3n \times 100$ representa a basicidade do produto. Durante a hidrólise, o PAC libera íons metálicos em igualdade de dosagem e em relação ao sulfato de alumínio, que também é bastante utilizado em tratamentos de água e esgoto, o PAC possui uma quantidade de ácidos menor, o que pode ser benéfico ao sistema, já que a variação de pH não será grande. Desta forma, exige menos reagentes na etapa de adequação de pH (LOPES, 2011).

De acordo com Dumke et al. (2015), ao adicionar o polímero aniônico a tratamento utilizando sais de alumínio, o mesmo auxiliará na coagulação/floculação de forma a aumentar a eficiência do sistema em relação a remoção sólidos, matéria orgânica, cor e turbidez. Desta forma, caracteriza-se como um importante acréscimo para o tratamento utilizando o PAC.

2.2.3.4 Sistema de lodos ativados (LA)

2.2.3.4.1 Conceituação

Lodo ativado é um processo biológico no qual o lodo é misturado e aerado, permitindo a degradação da carga orgânica do efluente promovendo o crescimento da massa microbiana pelo aceleração do metabolismo das bactérias, formando flocos no esgoto bruto ou decantado e é acumulado em concentração suficiente graças ao retorno de outros flocos previamente formados (SILVA, 2014).

Segundo Von Sperling (1997), o princípio básico do processo de lodo ativado é a depuração da matéria orgânica por microrganismos aeróbicos. Variantes como idade do lodo, fluxo do processo e objetivos do tratamento, podem configurar o sistema utilizado como sendo de diferentes classificações. No caso da idade do lodo, o tratamento pode ser caracterizado como lodo ativado convencional ou de aeração prolongada, contínuo ou intermitente, considerando o fluxo e se o tratamento tem o objetivo de remoção de carbono ou remoção de carbono e nutrientes.

2.2.3.4.2 Variáveis operacionais

Para o funcionamento do sistema de forma eficiente, alguns parâmetros são fundamentais. Segundo o Manual de Operação de Lodos Ativados da Acqua Engenharia, estes parâmetros são:

- Vazões de entrada, saída, retorno do lodo, e de descarte de lodo em excesso - para controle do fluxo e saída do volume de lodo;
- Cargas orgânicas de entrada e saída;
- Tempo de detenção hidráulica - tempo o qual é necessário em cada etapa para realizar o tratamento de forma eficiente;
- Idade do lodo - representa o tempo médio que uma partícula de lodo permanece no sistema, e pode ser estimada grosseiramente dividindo-se a quantidade de lodo (seco) contida no tanque de aeração pela quantidade diária de lodo (seco) retirada do sistema como lodo em excesso; e
- Relação Alimento/Microrganismo - indica a proporção entre a carga orgânica alimentada ao tanque de aeração e a massa de microrganismos presentes no mesmo.

Desta forma, todas essas variáveis são imprescindíveis para a manutenção do sistema, para torna-lo funcional e eficiente.

2.2.3.4.3 Tipos de sistemas de lodo ativado

Os sistemas de lodo ativado podem ser caracterizados com base no tempo total de aeração e na vida útil do lodo. No sistema convencional de lodo ativado, a concentração de biomassa no reator é bastante elevada, devido à recirculação dos sólidos (bactérias) sedimentados no fundo do decantador secundário. A biomassa permanece mais tempo no sistema do que o líquido, o que garante uma elevada eficiência na remoção de DBO. Um ponto a ser analisado é a necessidade da remoção de uma quantidade de lodo (bactérias) equivalente à que é produzida e que além disso, este lodo removido necessita de uma estabilização na etapa de tratamento do lodo, o que pode tornar o tratamento mais oneroso. O ponto positivo neste processo é o baixo tempo de detenção hidráulica (6h a 8h) que alcança uma boa remoção de carga orgânica (SILVA, 2014).

A diferença do sistema de aeração prolongada para o sistema convencional é que a biomassa permanece mais tempo no reator (18 a 30 dias), porém continua recebendo a mesma carga de DBO. Com isso o reator terá que possuir maiores dimensões e consequentemente

existirá menor concentração de matéria orgânica por unidade de volume e menor disponibilidade de alimento. Para sobreviver as bactérias passam a consumir a matéria orgânica existente em suas células em seus metabolismos. A grande vantagem deste sistema é que o lodo já sairá estabilizado do tanque de aeração, não havendo necessidade de se ter um biodigestor ou leito de secagem. Este sistema também não possui decantador primário para evitar a necessidade de uma unidade de estabilização do lodo resultante deste.

Como a estabilização do lodo ocorre de forma aeróbia no reator, há um maior consumo de energia elétrica. Porém, este é um sistema de maior eficiência de remoção de DBO dentre os que funcionam com lodos ativados (VON SPERLING, 1997).

No sistema de batelada, geralmente há apenas uma unidade e todas as etapas de tratamento do esgoto ocorrem dentro do reator. Neste mesmo reator as etapas são feitas com periodicidade uma após a outra, passando a ser sequências no tempo e não mais unidades distintas. Geralmente não há a necessidade de recirculação do lodo por conta da grande produção existente. Tal sistema é constituído por etapas de ciclos bem definidos que seguem a periodicidade do sistema nas etapas de enchimento, reação, sedimentação, esvaziamento e repouso. A diferença entre este modelo e o modelo de fluxo contínuo, dá-se pela necessidade da instalação de mais um reator, para que na medida que um esteja na etapa de decantação o outro reator já comece o recebimento de mais carga do efluente (etapa de enchimento). Esta configuração pode ser utilizada para sistemas de lodo ativado convencional ou de aeração prolongada (VON SPERLING, 1997).

2.2.3.4.4 Processos combinados para otimização de sistemas de lodos ativados

Alguns processos quando associados ao lodo ativado melhoram sua eficiência, como exemplo, o processo de tratamento conhecido por *Moving Bed Biofilm Reactors* (MBBR) que se baseia no desenvolvimento de biofilme em leito móvel para a degradação de matéria orgânica e remoção de nutrientes do esgoto sanitário. Quando este age em conjunto com o lodo ativado, ao mesmo tempo em que se tem mais produção da biomassa, que está junto ao suporte de plástico bem como o lodo que está em suspensão devido ao processo de recirculação, tornando o sistema com uma grande capacidade de carga (FUJII, 2013). Nesta configuração híbrida, o processo é conhecido por *Integrated Fixed Film Activated Sludge* (Sistema integrado de lodo ativado com biofilme - IFAS) e se transforma em uma alternativa que pode vir a ser considerada

por conta da não necessidade do aumento das estruturas e por prover bons resultados na remoção de nitrogênio (LESSEL, 1993).

Outra configuração de processos combinados que deve ser considerada ao se pensar em sistemas de lodo ativado, é a configuração estudada por Araújo (2015), onde foi utilizado um sistema em série de reatores anaeróbio, aeróbio e anóxico para remoção de carbono e nitrogênio. Tal configuração promove, na etapa anaeróbia, uma redução da competição entre os micro-organismos heterotróficos e nitrificantes autotróficos na etapa seguinte, onde se encontra o reator aeróbio.

2.2.4 Desempenho da ETEI

Variáveis físico-químicas e microbiológicas influenciam diretamente no desempenho de sistemas do tipo lodo ativado. O Oxigênio Dissolvido (OD) é a concentração de oxigênio (O_2) contido na água, sendo essencial para todas as formas de vida aquática, já que está envolvido em praticamente todos os processos químicos e biológicos. O teor de OD é de extrema importância no controle do sistema de lodos ativados, pois em excesso pode causar perdas de biomassa e em deficiência pode resultar em fator limitante no crescimento dos microrganismos (SILVA et al. 2017).

A Temperatura (T) é fator limitante nas reações químicas e biológicas, uma vez que esta variável afeta o metabolismo dos microrganismos, afetando as taxas de oxidação da matéria orgânica. Em condições ideais de temperatura, entre 25°C a 35°C, o crescimento biológico neste tipo de tratamento, verifica-se um maior crescimento biológico (JORDÃO; PESSÔA, 2011).

O Potencial Hidrogeniônico (pH), refere-se à quantidade de íons de hidrogênio, indicando uma condição básica, ácida ou neutra (KONRAD et al., 2013). Tal indicador desempenha importante papel neste sistema, necessitando de constante monitoramento, caso haja mudanças bruscas de valores de pH no sistema, isto ocasiona efeito tóxico para os microrganismos (AMORIM; VARGAS; JESUS, 2014).

O Nitrogênio Amoniacal ($N-NH_4$), refere-se à soma das formas iônica (NH_4^+) e molecular (NH_3). Ao discutir os riscos deste parâmetro em relação a sua toxicidade aos ambiente em que está inserido, deve-se diferenciar muito bem de qual das duas formas está se tratando, visto que sua forma mais tóxica é a forma não-ionizada (NH_3), podendo causar inibição ao processo biológico de degradação da matéria orgânica, por exemplo (Sheng et al., 2013).

A Matéria Orgânica (MO) por ser um dos principais causadores de problemas como aumentar a dificuldade de autodepuração e promover a eutrofização de corpos hídricos, torna-se parâmetro essencial de avaliação. Von Sperling (2014) cita que para a determinação da carga orgânica, o ideal é realizar a medição do consumo de oxigênio através da DBO e da demanda química de oxigênio (DQO), pois há grande dificuldade laboratorial para determinar os demais componentes (proteínas, gorduras, etc.) interligados com a quantidade de matéria orgânica.

Com exceção dos gases dissolvidos, todos os poluentes da água contribuem para a carga de sólidos. São classificados de acordo com características químicas, sendo sólidos voláteis ou fixos, e conforme seu tamanho, em suspensão ou dissolvidos. Também são diferenciados através de sua sedimentabilidade, em sedimentáveis ou não sedimentáveis (VON SPERLING, 2014). Os Sólidos Suspensos Totais (SST) são todas as substâncias que após filtração e secagem, permaneçam retidas na membrana de fibra de vidro com porosidade de 1,2 μm (SABESP, 1999). Uma quantidade alta destes sólidos no efluentes, causa déficit no tratamento por demandar mais energia e tempo para os microrganismos degradarem estas partículas maiores.

De acordo com a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) (2013), Coliformes Termotolerantes são um subgrupo do grupo coliforme que possuem a capacidade de fermentação da lactose a $44,5 \pm 0,2^\circ\text{C}$ em 24 horas. Embora a maioria dessas bactérias não seja patogênica, pode representar riscos à saúde, como também deteriorar a qualidade da água, provocando odores e sabores desagradáveis. Desta forma, torna-se fator importante ao avaliar as várias etapas de um sistema de tratamento.

3. METODOLOGIA

3.1. Tipo de pesquisa

A pesquisa é de caráter exploratório, que segundo Selltiz, Jahoda e Deutsch (1974), são “aquelas que buscam descobrir ideias e soluções, na tentativa de adquirir maior familiaridade com fenômeno de estudo”. Com isso, o estudo foi realizado mediante levantamento *in loco* das condições operacionais e de eficiência da ETEI da Unidade de Beneficiamento de Polpa de Frutas (UBPF) em questão.

A obtenção de dados quanti-qualitativos primários e secundários foram incorporados através da comparação de informações de operação com o atendimento às legislações

pertinentes para lançamento e reuso de efluente, bem como a equiparação de resultados de desempenho dos sistemas fornecidos pela literatura.

A abordagem qualitativa centra-se na identificação das características de situações, eventos e organizações (LLEWELLYN; NORTHCOTT, 2007), enquanto a pesquisa quantitativa possibilita ao pesquisador mensurar opiniões, hábitos, atitudes e reações por meio de uma amostra estatística que representa o universo pesquisado (TERENCE; ESCRIVÃO FILHO, 2006), contemplados pelos métodos escolhidos.

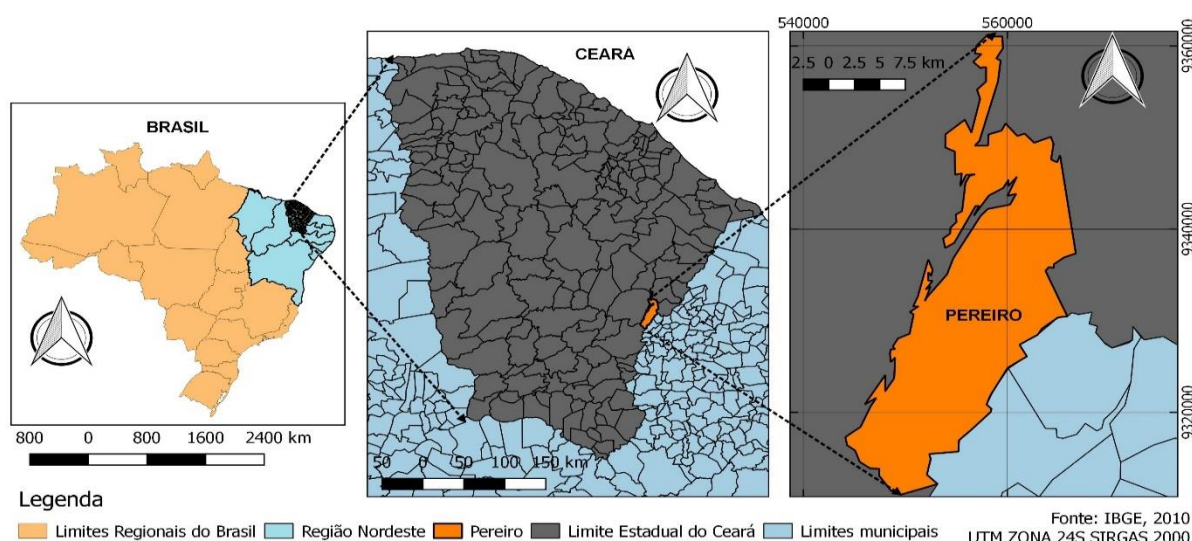
Como a pesquisa não será em escala de bancada, mas sim em uma ETEI em escala real, o trabalho caracteriza-se também como um estudo de caso, onde a pesquisa deve ser profunda e exaustiva, de um ou poucos objetos, de maneira que permita o seu amplo e detalhado conhecimento (GIL, 2007), centrando-se sempre na dinâmica do contexto real (EISENHARDT, 2007).

3.2 Caracterização da área de estudo

De acordo com o censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), a população do município de Pereiro está estimada em 16.139, com área territorial de 433,514 km² e situado a 556 metros de altitude.

Na Figura 01 é apresentada a localização do município de Pereiro.

Figura 01: Mapa de localização da cidade de Pereiro



Fonte: Aquino, 2018.

Localizado a 334 km da capital do estado, Fortaleza. Seus limites fazem fronteiras a Norte – com o Município de Iracema/CE, ao Sul – com o Município de São Miguel/RN, a Leste – com os Municípios de Dr. Severiano/RN e Ererê/CE, e a Oeste – o Município de Jaguaribe/CE.

A economia da cidade gira em torno da agricultura de subsistência, caracterizada pela produção vegetal de milho, feijão e frutíferas (PEIXOTO, 2013). Além disso, segundo dados do Anuário Estatístico do Ceará, e pesquisa realizada pelo Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), a pequena cidade no interior do Ceará conta com 14 indústrias ativas no ano de 2014. Na Tabela 01 está especificada a distribuição dos segmentos das indústrias ativas no município.

Tabela 01 – Detalhamento dos segmentos das indústrias de Pereiro/CE

Caracterização	Quantidade de indústrias
Minerais não metálicos	0
Metalurgia	2
Mecânica	1
Material elétrico, eletrônico de comunicação	1
Madeira	0
Mobiliário	1
Couros, peles e produtos similares	0
Química	0
Material plástico	0
Têxtil	0
Vestuário, calçados, artefatos de tecidos, couros e peles	1
Produtos alimentares	7
Bebidas	0
Editorial e gráfica	0
Diversas	1

Fonte: Anuário Estatístico do Ceará (IPECE, 2014).

O segmento de indústrias de produtos alimentares é o maior ramo industrial do município, sendo que a UBPF em questão está inserida entre as sete indústrias que atuam nesta seção de mercado.

A UBPF está localizada na divisa da cidade de Pereiro/CE com o Rio Grande do Norte, no sentido do município do São Miguel/RN, onde se encontra a 14 km do centro do município de Pereiro/CE e a 7 km do centro do município de São Miguel/RN. A Figura 02 mostra a localização do empreendimento.

Figura 02: Mapa de localização da UBPF



Fonte: Google Earth, 2018.

A UBPF foi instalada no ano de 2013 nesta localidade, anteriormente era apenas um pequeno empreendimento que comercializava para as residências vizinhas, próximo ao Sítio Lagoa Nova, no município de Pereiro/CE, onde estaria instalada até então.

Nos dias atuais, a UBPF processa em média 500 toneladas por mês de 15 frutas diferentes, sendo elas: cajá-umbu, caju, acerola, pitaya, abacaxi, maracujá, tangerina, tamarindo, goiaba, graviola, manga, morango, uva, açaí e cacau. Segundo dados obtidos no empreendimento, cerca de 250 toneladas/mês são geradas de resíduos sólidos orgânicos.

Ainda segundo dados obtidos na empresa, há a geração de cerca de $12 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ de águas residuárias. Devido a geração de efluentes líquidos, a UBPF conta desde o ano de 2016 com uma ETEI para realizar o tratamento do esgoto industrial.

3.3 Sistema de tratamento

A pesquisa foi desenvolvida na ETEI da UBPF (Figura 03). A estação possui capacidade de tratar $13 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ (vazão média) de esgoto industrial.

Figura 03: Mapa de localização da ETEI da UBPF



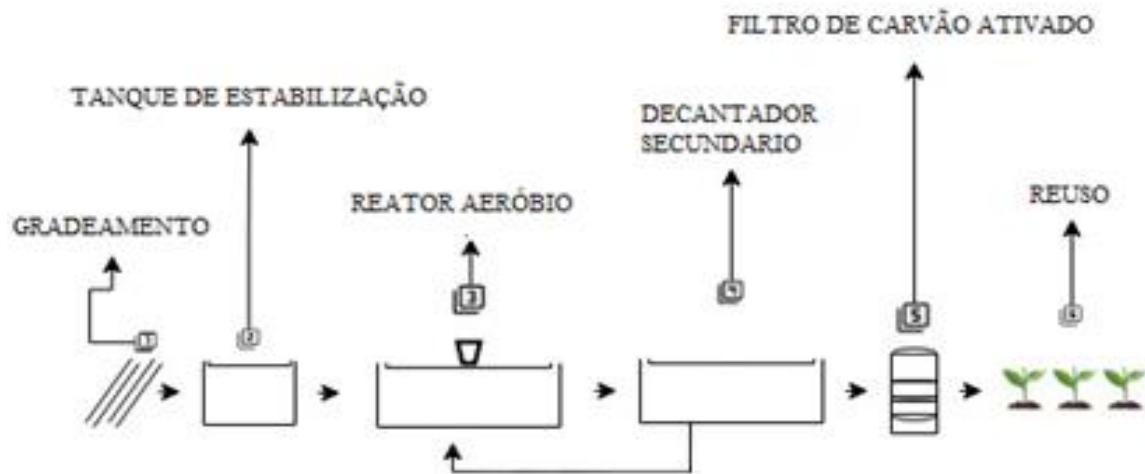
Fonte: Google Earth, 2018.

Em 2017, foram realizados testes com sistema utilizando sementes de *Moringa oleífera* (MO) como coagulante natural, onde o contava apenas com etapas de recebimento do efluente, decantador e filtragem em filtro de areia.

Ainda em 2017, foi efetivado um teste com a aplicação de coagulante poli cloreto de alumínio (PAC) com adição de polímero aniônico. Nesta oportunidade, a ETEI já contava com sistema de gradeamento seguido por tanque de estabilização, decantador e filtro de areia.

Desde 2018, o sistema de tratamento de efluentes industriais é constituído por tanque de lodos ativados com decantador secundário. Outras etapas do beneficiamento do esgoto proveniente da unidade alimentícia fabril incluem pré-tratamento (gradeamento), controle de vazão, tanque de estabilização e filtro de carvão ativado (Figura 04). O lodo inoculado foi proveniente de uma ETE de parque aquático, que recebia para tratamento o efluente sanitário das dependências do restaurante e dos banheiros do estabelecimento.

Figura 04: Concepção geral da ETEI



Fonte: Autor, 2018.

Foi possível realizar o levantamento fotográfico das etapas da ETEI, como mostram as Figuras 5, 6 e 7.

Figura 05: Sistema de gradeamento da ETEI



Fonte: Autor, 2018.

Figura 06: Tanque de estabilização da ETEI



Fonte: Autor, 2018.

Figura 07: Sistema de aeração no reator aeróbio



Fonte: Autor, 2018.

A coleta de amostras para controle da ETEI é realizada por campanhas com frequência mensal, sempre coletada ao final do dia. Foram feitas 1 coleta para a MO, 1 coleta para PAC e 8 coletas para o LA, 4 para a fase de aclimatização da biomassa e 4 para a fase de plena

operação. O período de monitoramento ambiental avaliado, corresponde a 01 dia para o sistema MO, 01 dia para o PAC e 271 dias para o LA. Os pontos de amostragem foram: entrada da ETEI (P1), e após passagem pelo filtro (P2) para todos os processos conforme concepção da estação de tratamento.

3.4 Parâmetros de monitoramento

A realização de análises dos parâmetros físico-químicos de medição *online* como Potencial Hidrogeniônico (pH), Oxigênio Dissolvido (OD) e Temperatura (T) foram executadas com uso de medidor multiparâmetro AKSO AK87, conforme a Tabela 02. As medições de Demanda Química de Oxigênio (DQO), Nitrogênio Amoniacal (N-NH_4^+) e Sólidos Suspensos Totais (SST) foram feitas com base nas orientações analíticas padronizadas do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* em laboratório externo ao empreendimento (APHA, 2012).

Tabela 02 – Informações das determinações analíticas em campo do efluente da ETEI

Parâmetro	Medida	Método	Ponto amostral
pH	unidades de pH	Multiparâmetro AKSO AK87	P1 e P2
OD	mg $\text{O}_2 \cdot \text{L}^{-1}$	Multiparâmetro AKSO AK87	P1 e P2
T	°C	Multiparâmetro AKSO AK87	P1 e P2
DQO	mg $\text{O}_2 \cdot \text{L}^{-1}$	5220 C. Titul. Com refluxo fechado	P2
N- NH_4	mg N- $\text{NH}_4 \cdot \text{L}^{-1}$	4500 NH_3 F Fenato	P2
SST	mg SST.L ⁻¹	2540 D. SSV secos a 103-105 °C	P2

Fonte: Autor, 2018.

3.5 Tratamento dos dados

Os dados primários serão plotados em planilha do Microsoft Excel 2010 e aplicado método estatístico basilar com obtenção de número de dados, mínimo, máximo, média.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema foi monitorado durante 271 dias com início em 02 de novembro de 2017 e execução de coletas mensais. A operação foi dividida em 4 fases de acordo com a variação na tipologia do tratamento aplicado para o período analisado. As variáveis foram o Tempo de Detenção Hidráulica no reator (TDH) e a concentração de Oxigênio Dissolvido (OD). A tabela 03 mostra as condições aplicadas ao sistema neste período.

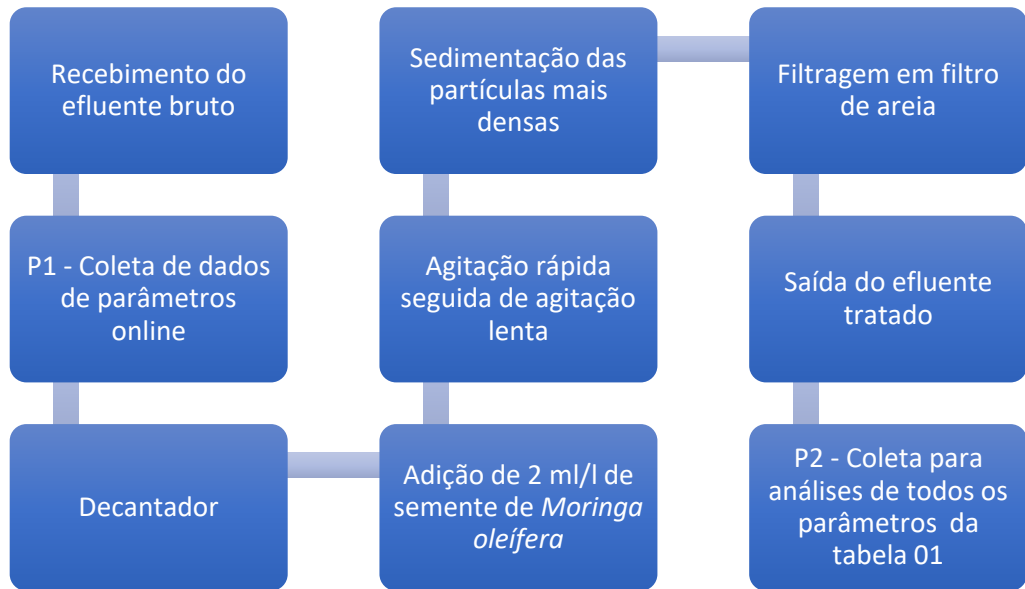
Tabela 03 – Variáveis aplicadas ao sistema, medições nos pontos P1 e P2

Tratamento	Tempo de Operação (dias)	TDH (horas)	OD (mg O ₂ . L ⁻¹)	
			P1	P2
<i>Moringa oleífera</i>	1	6	2,4	3
Poli cloreto de alumínio + polímero aniônico	1	4	2,7	2,8
Lodo ativado: aclimatização da biomassa	97	12	2,6	5,2
Lodo ativado: plena operação	174	12	2,6	8,3

Os tratamentos com a MO e com o PAC com adição de polímero aniônico, foram realizados em apenas 01 dia cada e não houve injeção de oxigênio em nenhuma das duas operações. Como a MO, segundo alguns estudos (SHAHZAD *et al.*, 2014; FERIA *et al.*, 2014; RODINO *et al.*, 2015) é um dos coagulantes naturais mais estudados e possui atividade de coagulação comparável ao uso do sulfato de alumínio, o TDH foi definido de forma a permitir um tempo hábil para as partículas sedimentarem no fundo do reator, sendo estabelecido em 6 h, desde a mistura até o final da decantação.

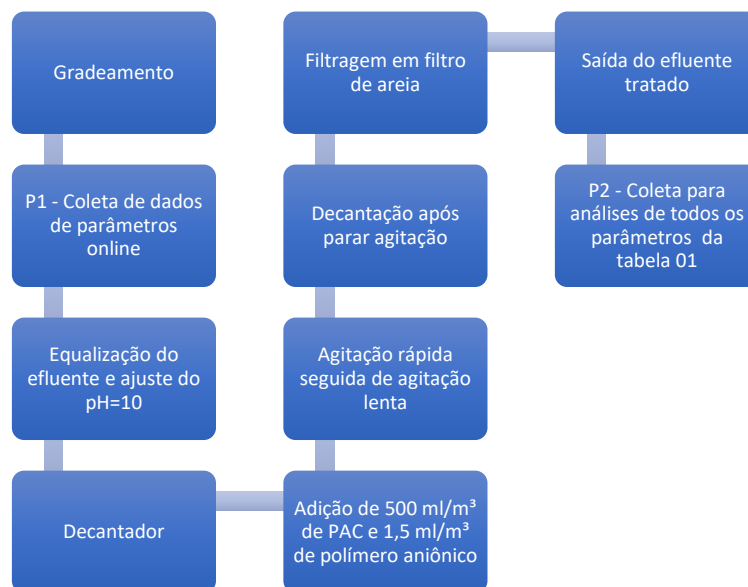
Já para o tratamento com o uso do PAC, foi definido um tempo de detenção menor de 4 h, pois como se trata de um coagulante químico, a reação acontece de forma mais rápida. Para os sistemas de LA, o TDH atua como um dos parâmetros responsáveis por designar que tipo de tratamento está sendo aplicado, neste caso, para TDH de 12 h, o sistema configurasse como lodo ativado convencional (SANTOS; BARBOSA; FERREIRA JÚNIOR, 2018). As figuras 08, 09 e 10 mostram as etapas de cada um dos sistemas de tratamento estudados.

Figura 08 – Fluxograma das etapas do tratamento como *Moringa oleífera*



Fonte: Autor, 2019.

Figura 09 – Fluxograma das etapas do tratamento com PAC e adição de polímero aniônico



Fonte: Autor, 2019.

Figura 10 – Fluxograma das etapas do sistema de lodo ativado



Fonte: Autor, 2019.

Os resultados obtidos em cada um dos tratamentos estão explicados a seguir, sendo feito uma análise do comportamento de cada um dos parâmetros estudados de acordo com o sistema de tratamento a que foi submetido.

4.1 ANÁLISES FÍSICO QUÍMICAS

4.1.1 Potencial Hidrogeniônico – pH

Foi necessário fazer a readequação do pH em alguns momentos durante o estudo nas fases de tratamento com PAC e LA, devido aos baixos valores que o efluente chegava ao primeiro tanque da ETEI, com valores fixos na faixa de 4,3 a 5,1, configurando-se como esgoto acidificado. O valor do pH não foi ajustado para o tratamento com MO em nenhuma de suas etapas.

Para o tratamento com o PAC, foi efetuado um ajuste no pH para promover condições ideais de funcionamento, que segundo Souza, Souza e Pereira (2015), seria no intervalo de 9 a 10. Após o tratamento, o valor do pH decresceu cerca de 4 unidades de pH, isso deve-se ao fato de que grande parte do material utilizado para fazer o ajuste do pH foi floculado e decantado com a ação do PAC (ver tabela 03).

Durante todo o período estudado, os valores de pH no reator de LA variaram entre 5,23 e 8,85. Em geral, o sistema de lodos ativados deve operar numa faixa de pH entre 6,5 a 8,5 (VON SPERLING, 1997). A tabela 04 mostra os valores de pH nos pontos P1 e P2 de cada fase.

Tabela 04 – Valores de pH obtidos

Tratamento		Potencial hidrogeniônico		VMP	VMP
		P1	P2	Resolução CONAMA 430/2011	Resolução COEMA 02/2017
<i>Moringa oleífera</i>	Mínimo Média Máximo	4,5	5,71	5,0 – 9,0	
Poli cloreto de alumínio + polímero aniônico	Mínimo Média Máximo	5,0	6,17	5,0 – 9,0	
Lodo ativado: aclimatização da biomassa	Mínimo Média Máximo	4,4 4,6 4,7	5,23 6,67 8,85	5,0 – 9,0	
Lodo ativado: plena operação	Mínimo Média Máximo	4,3 4,7 5,1	5,7 6,87 8,0	5,0 – 9,0	

Com a adequação do pH, o LA funcionou melhor e atingiu seu estágio de plena operação, sendo capaz de reduzir a DQO para o valor de 413,3 mg O₂. L⁻¹, que foi o menor valor apresentado durante todo o acompanhamento. Corroborando com Polesel *et al.* (2015), onde afirma que em condições ácidas ou alcalinas, a influência de pH é bastante significativa em sistemas de LA, sendo o valor ideal para o funcionamento próximo de 7. Tal valor foi observado em ambas fases de operação do LA, na de aclimatização da biomassa e na de plena operação do sistema.

Em questão do atendimento aos requisitos legais exigidos pela Resolução do CONAMA 430/2011 a nível nacional e na Resolução do COEMA 02/2017 a nível estadual, ao final das 4 fases de tratamento, todos mantiveram-se de acordo com o valor máximo permitido (VMP) que está delimitado a faixa de 5,0 a 9,0.

4.1.2 Temperatura

As temperaturas verificadas durante o experimento não tiveram grandes variações, mantendo-se sempre entre o intervalo de 24,2 °C a 31,4°, mesmo que o experimento tenha se prolongado durante a parte mais seca e a parte chuvosa do ano.

Pesquisas mostram que a temperatura em processos com LA pode ter impacto significativo na composição do floco do lodo e nas características estruturais, seja para altas temperaturas, acima de 55 °C ou para baixas temperaturas, abaixo de 8 °C (LIAO *et al.*, 2011; MORGAN-SAGASTUME & ALLEN, 2005; TIAN *et al.*, 1994). A tabela 05 elucida os valores de temperatura obtidos, relacionados a época do ano em que foram coletados.

Tabela 05 – Temperaturas nos pontos P1 e P2

Tratamento	Período		Temperatura (°C)		VMP (°C)	VMP (°C)
			P1	P2	Resolução CONAMA 430/2011	Resolução COEMA 02/2017
<i>Moringa oleífera</i>	Novembro	Mínimo Média Máximo	30,0	24,7	40 ± 3	40
Poli cloreto de alumínio + polímero aniônico	Dezembro	Mínimo Média Máximo	27,0	29,0	40 ± 3	40
Lodo ativado: aclimatização da biomassa	Fevereiro - Maio	Mínimo Média Máximo	26,2 27,8 29,0	24,2 25,8 29,5	40 ± 3	40
Lodo ativado: plena operação	Julho - Novembro	Mínimo Média Máximo	27,1 29,4 31,4	25,5 27,1 29,0	40 ± 3	40

Os valores mais altos de temperatura permitiram que o sistema de LA operasse em seu ápice, visto que, em plena operação do tratamento, as temperaturas estavam cerca de 2 °C mais altas que na etapa de aclimatização do lodo. Wilen *et al.* (2008), mostraram que os flocos de lodo gerados no verão, possuem mais e maiores colônias de microrganismos, tal crescimento, está diretamente relacionado as boas condições climáticas a que estão submetidos.

A temperatura estava ideal para a aplicação do PAC, pois temperatura mais baixas dificultam a coagulação, a formação dos flocos e posteriormente a etapa de sedimentação. Jia, Bai e Yang (2018), confirmam esta inferência ao afirmarem em seu estudo que no inverno a concentração de partículas é baixa, e há uma forte estabilidade dinâmica e estabilidade de

coesão. Muitas vezes com uma pequena dispersão coloidal dissolvida em água, a probabilidade de colisão torna-se muito pequena.

Para a temperatura, a Resolução CONAMA 430/2011 estabelece que o efluente não deve ser lançado com temperatura superior a 40 °C e nem a temperatura do corpo receptor deve exceder a variação de 3 °C no limite da zona de mistura. Já a Resolução do COEMA 02/2017, estabelece apenas a temperatura deve ser sempre inferior a 40 °C. Desta forma, todas as amostras estão de acordo com os padrões da legislação vigente.

4.1.3 Sólidos Suspensos Totais – SST

Os valores de SST foram analisados em cada um dos tratamentos. Ao relacionar os 4 processos de tratamento, foi verificado que na fase de aclimatização do lodo, a média dos valores foi inferior aos demais, sendo que o acréscimo foi de 36,5%, 68,0% e 34,1% em relação ao menor valor obtido para os tratamentos MO, PAC e LA plena operação, respectivamente. Tais acréscimos representam um aumento de 58,83 mg SST.L⁻¹ para o MO, 217,83 mg SST.L⁻¹ para o PAC e 53,08 mg SST.L⁻¹ para o LA plena operação. Conforme tabela 06.

Tabela 06 – Concentrações de STT por tratamento aplicado

Tratamento		Sólidos Suspensos Totais (mg SST.L ⁻¹)	VMP (mg SST.L ⁻¹)	VMP (mg SST.L ⁻¹)
		P2	Resolução CONAMA 430/2011	Resolução COEMA 02/2017
<i>Moringa oleífera</i>	Mínimo Média Máximo	161	150	100
Poli cloreto de alumínio + polímero aniônico	Mínimo Média Máximo	320	150	100
Lodo ativado: aclimatização da biomassa	Mínimo Média Máximo	18,7 102,17 177	150	100
Lodo ativado: plena operação	Mínimo Média Máximo	71,0 155,25 270	150	100

Ao comparar com a investigação científica realizada por Oliveira (2014), pode-se verificar que geralmente em tratamentos utilizando o PAC em conjunto com polímero aniônico, as taxas de remoção de SST são acima de 99%.

Simão, Bandeira e Marques (2015) obtiveram resultados satisfatórios de 85,2% de remoção de SST no tratamento com MO. Pode-se observar também que em concentrações menores deste coagulante, a eficiência foi melhor, tendo seu ápice de remoção ao utilizar 2,5 mL. L⁻¹ de MO, valores próximos ao utilizado no presente trabalho que foi de 2 mL. L⁻¹.

No sistema LA, foi verificado resultados otimizados, onde nas medições de menores valores evidenciados, constatou-se na fase de aclimatização do lodo resultado de apenas 18,7 mg SST.L⁻¹, sendo este o melhor valor obtido, e na etapa de plena operação do LA a mínima de 71,0 mg SST.L⁻¹.

No atendimento a legislação, apenas as duas medidas mínimas no LA estão de acordo com o VMP pela Resolução do COEMA 02/2017, porém, as medidas médias e mínimas do LA atendem a Resolução CONAMA 430/2011, visto que a Resolução estadual é mais restritiva que a nacional. Em estudo realizado por van Dijk, Pronk e van Loosdrecht (2018) a concentração de SST em sistemas de lodo ativado podem manter-se sempre a baixo de 10,0 mg SST.L⁻¹ com a simples instalação de um deflector vertical na entrada do efluente na ETEI, desta forma garantindo o atendimento a legislação pertinente.

4.1.4 Oxigênio Dissolvido - OD

Os tratamentos com MO e PAC não receberam injeção de oxigênio, por isso os valores em P2, após o recebimento da OD, apresentados na tabela 07 estão bem abaixo do sistema LA, que recebe grandes concentrações de OD com o intuito de acelerar o crescimento de microrganismos aeróbicos que degradam a carga orgânica, dentre outros parâmetros.

Tabela 07 – Oxigênio dissolvido

Tratamento		OD (mg O ₂ . L ⁻¹)		VMP (mg O ₂ . L ⁻¹)	VMP (mg O ₂ . L ⁻¹)
		P1	P2	Resolução CONAMA 430/2011	Resolução COEMA 02/2017
<i>Moringa oleífera</i>	Mínimo Média Máximo	2,4	3,0	NR	
Poli cloreto de alumínio + polímero aniônico	Mínimo Média Máximo	2,7	2,8	NR	
Lodo ativado: aclimatização da biomassa	Mínimo Média Máximo	2,3 2,62 2,9	2,5 5,2 7,2	NR	
Lodo ativado: plena operação	Mínimo Média Máximo	2,5 2,65 2,8	7,6 8,3 9,1	NR	

Com o incremento de OD no sistema de LA, ficou evidente a grande contribuição realizada a partir do aumento deste parâmetro, principalmente ao analisarmos do início da fase de aclimatização do lodo ao ponto onde o sistema já estava em plena operação. A DQO que no start-up do sistema LA era de 2.977,78 mg O₂. L⁻¹ e após 206 dias de aclimatização do lodo, foi possível verificar remoção de 2.564,48 mg O₂. L⁻¹ de DQO, deixando a DQO em cerca de 413,3 mg O₂. L⁻¹, que é equivalente a 13,8% da carga no *startup* do LA.

O suprimento de OD é fator essencial para remoção de carbono em tratamentos aerados. A disponibilidade de oxigênio é também necessária para o processo de remoção de nitrogênio. Com isso, Liu e Wang (2013) verificaram que a nitrificação é potencializada com OD < 0,5 mg O₂. L⁻¹, por que o baixo OD de longo prazo inibe a decomposição nitrificante, o que resulta em enriquecimento de nitrificador que compensa o efeito adverso do baixo OD no processo geral de nitrificação.

Da mesma forma, baixos níveis de OD também podem inibir o decaimento endógeno da biomassa heterotrófica e aumentar a produção de biomassa heterotrófica ativa. Mais produção de biomassa significa menos demanda de oxigênio durante a aeração, diminuindo os custos com o sistema. Assim, o baixo OD melhora a eficiência da transferência de oxigênio através do aumento do déficit de oxigênio, mas também pode aumentar a produção de lodo (LIU; WANG, 2015).

Não há, nas legislações vigentes, delimitação de VMP para o oxigênio dissolvido, desta forma, quanto a este parâmetro, o efluente encontra-se adequado em todos os tratamentos a que foi submetido. Não há, mas é importante ratificar sua importância em sistemas aerados, já que pode acarretar a inibição dos microrganismos, quando ausente, afetando a eficiência de remoção de matéria carbonácea e a fase de nitrificação (AMORIM; VARGAS; JESUS, 2014).

4.1.5 Tempo de Detenção Hidráulica - TDH

O TDH de cada um dos sistemas de tratamento foi dimensionado de acordo com a necessidade para o beneficiamento do esgoto industrial. Como para a MO o tratamento no reator se dava devido a necessidade da reação da MO com o efluente formando flocos mais densos que a água e posteriormente a espera de que estas partículas sedimentassem, o tempo estipulado foi de 6 horas. Simão, Bandeira e Marques (2015) utilizaram 8 horas como TDH e obtiveram bons resultados na remoção de 85,2% de SST. Segundo Keraita (2010), com a utilização de 3% da relação peso/volume de extrato de sementes de *Moringa oleífera*, foi constatada redução de coliformes de cerca de 4,5, em unidades logarítmicas, após 3 horas de sedimentação. Tal redução foi atribuída, no estudo, a floculação e sedimentação de partículas em que as bactérias poderiam estar aderidas.

Para o PAC, como a reação e formação dos flocos acontecem mais rápidas o TDH utilizado foi de 4 horas. Como no tratamento com MO, a necessidade de deixar o efluente no reator é também para a formação do flocos mais densos e posterior sedimentação.

No tratamento com LA o TDH foi definido de forma a promover um maior tempo de contato do esgoto com o meio. Outro ponto importante na determinação do TDH, foi o tempo que o tanque de estabilização necessitava para ser completado para ter o volume necessário para iniciar o ciclo do tratamento. Após verificação, obteve-se o valor de 16 horas para o enchimento do tanque de estabilização, desta forma o TDH do reator também foi de 16 horas.

Desta forma, o TDH foi variável importante para os sistemas de tratamento, visto que, com o aumento do TDH, alguns parâmetros analisados se comportaram de forma diferente, com aumento da eficiência de remoção nos processos.

4.2 REMOÇÃO DE CARGA ORGÂNICA

4.2.1 Demanda Química de Oxigênio - DQO

A DQO apresenta-se como um dos principais problemas enfrentados pelo empreendimento para o atendimento a legislação, por conta da alta carga de DQO presente nas águas residuárias, provenientes da lavagem das frutas. Os valores de DQO obtidos durante o monitoramento dos sistemas encontram-se na tabela 08.

Tabela 08 – Concentração de DQO após tratamento

Tratamento		DQO (mg O ₂ . L ⁻¹)	VMP (%)	VMP (mg O ₂ . L ⁻¹)
		P1	Resolução CONAMA 430/2011	Resolução COEMA 02/2017
<i>Moringa oleífera</i>	Mínimo Média Máximo	1904,48	Remoção de 60% do total	200
Poli cloreto de alumínio + polímero aniônico	Mínimo Média Máximo	1884,85	Remoção de 60% do total	200
Lodo ativado: aclimatização da biomassa	Mínimo Média Máximo	1238,5 1893,97 2977,78	Remoção de 60% do total	200
Lodo ativado: plena operação	Mínimo Média Máximo	413,3 662,0 917,1	Remoção de 60% do total	200

Os tratamentos com MO e PAC não apresentaram grandes resultados quanto a remoção da DQO, porém, no LA foi dada partida no sistema com carga total de 2977,78 mg O₂. L⁻¹ e após o lodo se aclimatizar pode-se verificar redução de 2564,48 mg O₂. L⁻¹ em um período de 206 dias. Tal resultado equivale a uma diminuição de 86,12% da DQO total no start-up do sistema, valores que superam os 77% obtidos por Teixeira (2016) ao avaliar a eficiência do tratamento de uma estação de tratamento de efluentes (ETE) com sistema de tratamento LA na cidade de São Paulo. Corroborando os resultados obtidos, Oliveira e Sperling (2011) citam que uma ETE com tratamento de LA apresenta resultados de remoção de DQO entre 80% e 90%.

Os resultados obtidos no presente estudo, em relação a remoção de DQO, foram superiores ao 42% de remoção de DQO obtidos por Reis (2017) ao analisar a eficiência de um sistema LA em uma ETEI de uma empresa de beneficiamento de alimentos.

De acordo com as Resoluções CONAMA 430/2011 E COEMA 02/2017, apenas o tratamento com LA em plena operação atende aos VMP da resolução nacional, porém, nenhum dos tratamentos conseguiu adequar o efluente para que atenda ao VMP requerido pela legislação estadual.

O lançamento de altas concentrações de DQO podem acarretar, por exemplo, problemas de eutrofização em corpos hídricos, bem como afetar a capacidade de autodepuração do mesmo. Tais problemas podem acarretar a mortandade de vida aquática do corpo receptor (VON SPERLING, 2014).

Segundo Santos, Barbosa e Júnior (2018) a melhoria do sistema pode acontecer melhorando a otimização das populações microbianas, onde a idade adequada do lodo (IVL) permite que organismos de níveis mais altos possam se desenvolver e serem mantidos no sistema, o que traria melhorias na remoção de carga orgânica.

4.3 REMOÇÃO DE NITROGÊNIO

4.3.1 Nitrogênio Amoniacal (N-NH₄)

Para este parâmetro, obter resultados comparáveis com os resultados obtidos por Raimon e Said (2017) que estudaram o PAC e o sulfato de alumínio para tratamento de efluente sintético, seria o cenário ideal para o tratamento, já que no estudo obtiveram valores de remoção de nitrogênio amoniacal de cerca de 80% com o uso do PAC. Porém, foi verificado que tanto com o tratamento de *Moringa oleífera*, quanto para o tratamento com Lodo Ativado (nas duas fases), os valores de N-NH₄ foram inferiores a quando o efluente foi submetido ao tratamento com o PAC, com ênfase para os ótimos resultados obtidos pelo processo com Lodo Ativado em plena operação, como mostra a tabela 09.

Tabela 09 – Remoção de Nitrogênio Amoniacal

Fases	Concentração de N-NH₄ (mg N-NH₄.L⁻¹)
<i>Moringa oleífera</i>	1,91
Poli cloreto de alumínio + polímero aniônico	67,01
Lodo ativado: aclimatização da biomassa	1,30
Lodo ativado: plena operação	0,32

Não foi possível obter informação na literatura estudada acerca do motivo que possa ter causado tamanha discrepância nos resultados deste parâmetro, onde com o tratamento utilizando o PAC teve um acréscimo em cerca de 65,1 mg N-NH₄.L⁻¹ em relação a MO, 65,71 mg N-NH₄.L⁻¹ em relação ao LA na fase de aclimatização da biomassa e 66,69 mg N-NH₄.L⁻¹ ao comparar com o LA em plena operação.

Como proposta para reuso do efluente tratado, como não foi possível obter resultados que atendem os critérios de remoção de DQO, pode-se propor a utilização de sistemas hidropônicos e sem hidropônicos para produção de hortas e frutíferas, pois nestes sistemas o efluente tratado não teria contato diretamente com o solo, diminuindo a possibilidade de acarretar algum impacto ou posterior dano a qualidade ambiental local. Além disso, outro ponto importante ao se analisar nesta configuração de reuso, é a possibilidade de obter redução de fertilizantes em relação a soluções nutritivas, já que o efluente tratado ainda possui nutrientes em sua composição, o que diminuiria o custo de operação do sistema (CUBA, 2015).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Percebe-se que o empreendimento em questão busca uma melhoria no seu sistema de tratamento de efluentes, visto que ao aplicar uma metodologia que não obteve bons resultados, foi em busca de novas tecnologias e metodologias que fossem capazes de atender a legislação pertinente.

O único parâmetro que não foi possível adequar aos parâmetros exigidos em nenhum momento durante todo o monitoramento foi a DQO, desta forma, demanda que seja tomada providencias em relação a melhora na eficiência do sistema em relação a essa característica.

Com base nos resultados obtidos na avaliação dos quatro tratamentos estudados, a opção mais viável para continuar em funcionamento e para promover o atendimento aos requisitos legais impostos, seria o LA, visto que foi o tratamento que apresentou valores mais condizentes

aos valores máximos permitidos de cada parâmetro nas duas resoluções. A melhoria deste sistema qualifica-se como uma medida que poderá ser tomada, já que os parâmetros em desacordo com a legislação estão com valores bem próximos ao VMP.

Como medida de reuso do efluente tratado, foi proposto a utilização de sistemas hidropônicos e semi hidropônicos, potencializando o uso do efluente mesmo sem a adequação a legislação. Vale salientar que essa medida poderá gerar lucros para a empresa, já que a produção destes sistemas pode ser utilizada para a alimentação.

Desta forma, os resultados foram satisfatórios e podem servir de base para estudos futuros, pois foram aplicados 4 tratamentos a um efluente de característica industrial com altos níveis de carga orgânica, podendo subsidiar a escolha de um tratamento que possa vir a ser escolhido por outros empreendimentos.

REFERÊNCIAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9800. Critérios para Lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário, 1987.

AMORIM, L. L. G.; VARGAS, K. P.; JESUS, E. H. A. de. **Análise de eficiência do sistema de lodo ativado no tratamento de efluentes de um curtume na cidade de uberlândia - MG.** In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 5., 2014, Belo Horizonte: Ibeas – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2014.

ANDRADE R., AZEVEDO L. A., FERREIRA M. P. G., ROSA O. M. L., SOARES P. H., ZELAYARAN. M. L. **Tratamento de efluente de indústria petrolífera por coagulação com Moringa oleífera e flotação por gás induzido.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 22., 2018, São Paulo.

APHA, AWWA, WEF. **Standard Methods for examination of water and wastewater.** 22nd ed. Washington: American Public Health Association; 2012, 1360 pp. ISBN 978-087553-013-0.

ARANTES, C. C. et al. Diferentes formas de aplicação da semente de Moringa oleífera no tratamento de água. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 19, n. 3, p.266-272, mar. 2015.

ARAÚJO, G. V. R. **Remoção de carbono e nitrogênio de efluente doméstico sintético através de reatores em série anaeróbio, aeróbio e anóxico.** 2015. 116 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife/PE, 2015.

ARAÚJO, J. E. Universidade Federal de Viçosa, julho de 2013. **Processos de Tratamento Terciário para Redução da DQO e Cor dos Efluentes de uma Fábrica Integrada de Celulose Kraft Branqueada e Papel**. Orientador: Cláudio Mudado Silva. Coorientadoras: Ann Honor Mounter e Ana Marcia Macedo Ladeira Carvalho.

ASSIS, L. R. de. **Avaliação do impacto em corpos d'água devido ao lançamento de resíduos de uma estação de tratamento de água de Juiz de Fora - MG**. 2014. 61 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Faculdade de Engenharia da UFJF, Juiz de Fora, 2014.

Básico Municipal. 2015. Disponível em: http://www.ipece.ce.gov.br/perfil_basico_municipal/2015/Pereiro.pdf Acesso em: 15 de nov 2018.

BELBAHLOUL, M.; ZOUHRI, A.; ANOUAR, A. Biofloculants extraction from Cactaceae and their application in treatment of water and wastewater. **Journal of Water Process Engineering**, v. 7, p. 306-313, 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução Nº 430 de 13/05/2011 (Federal)** - Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. 2011. Disponível em: . Acesso em: 13 nov. 2018.

CAMATTI, A.; MATTIELLO, K.; PINHEIRO, M. O.; FIGUEIREDO, A. M. B. As diferentes formas de tratar um efluente industrial. **Tecnológica**, Chapecó, v. 3, n. 2, 2015.

CEARÁ. Conselho Estadual de Meio Ambiente. Resolução COEMA nº 02, de 02 de fevereiro de 2017. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as portarias SEMACE nº154, de 22 de julho de 2002 e nº111, de 05 de abril de 2011, e altera a portaria SEMACE nº151, de 25 de novembro de 2002. **Diário Oficial do Estado**, Fortaleza, v. 9, n. 37, p. 56-61, 21 fev. 2017. Seção 3.

CUBA, Renata da Silva. **Cultivo hidropônico de alface com água de reuso**. 2015. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2015.

DA COSTA, D. O.; CARDOSO, G. R.; DA SILVA, G. M. V. **XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção: A gestão dos processos de produção e as parcerias globais para o desenvolvimento sustentável dos sistemas produtivos**. 2013, Salvador, BA. A evolução do setor produtivo e comercialização de polpa de fruta no brejo paraibano: estudo de caso na coaprodes.

DUMKE, C.; CAMARGO, T.; UHLIG, H. C.; SOMENSI C. A.; HOPNER, V. N. **Avaliação da eficiência de um polímero aniônico e um polímero catiônico em tratamento de água para abastecimento**. In: mostra científica e tecnológica, 6., 2015, Araquari.

EISENHARDT, K. M. Building Theories from Case Study Research. **The Academy of Management Review**, v. 14, n. 4, p. 532-550, 1989.

FERIA, JJ, BERMÚDEZ, S., E ESTRADA, AM (2014). Eficiencia da semelhante Moringa Oleífera como coagulante natural para a remoção da turbidez do rio Sinú. **Revista Producción + Limpia**, 9 (1), 9-22.

FERREIRA, F.D., CORAIOLA, M. Eficiência do lodo ativado em uso contínuo para tratamento de esgoto. **Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambientais**. Curitiba, v 6, n 2, p. 259 – 279, 2008.

FRANCO, M; SILVA, G. K; PATERNIANI, J. E. S. Water treatment by multistage filtration system with natural coagulant from Moringa oleifera seeds. **Engenharia Agrícola**, v.32, p.989-997, 2012. [http:// dx.doi.org/10.1590/S0100-69162012000500018](http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162012000500018)

FUJII, F. Y.; PIVELI, R. P.; CAMPOS, F.; BUENO, F. R.; SOBRINHO, A. P. Desempenho de reator integrado de lodo ativado com biofilme em leito móvel. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [s.l.], v. 18, n. 4, p.349-358, dez. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522013000400007>.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GOUVEIA, F. Indústria de alimentos: no caminho da inovação e de novos produtos. **Inovação Uniemp**, Campinas, v. 2, n. 5, p.1-2, nov. 2006.

Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos / Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; Organizadores: Carlos Jesus Brandão ... [et al.]. -- São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sinopse do censo demográfico 2010.

IPECE – Instituto de Pesquisa d Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil**

JERONIMO, C.E.M. Gestão Agroindustrial: Pontos Críticos de Controle Ambiental no Beneficiamento de Frutas. **Revista de Administração de Roraima**, v. 12, p.70- 77, 2012.

JIA, R.; BAI, Y.; YANG, J. Experimental research on the poly-aluminum chloride for treating the Pi River water in winter and summer. **Iop Conference Series: Earth and Environmental Science**, [s.l.], v. 113, p.1-8, fev. 2018. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/113/1/012232>.

JORDÃO, E.P. e PESSÔA, C.A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 6ª Edição. ABES, Rio de Janeiro, 2011. 969 p.

KERAITA, B. **Using Moringa oleifera seed extracts to reduce microbial contamination in irrigation water in urban vegetable farming**. In: Ghana International Foundation of Science (IFS) Report No. W4520.

KONRAD, O.; LUMI, M.; SECCHI, F.J.; BRIETZKE, D.T.; SALVIATO, L. F. Eficiência no polimento do efluente de vinícola utilizando o sistema de “Wetland” construído. **Revista Engenharia Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 178-187, 2013.

LESSEL, T.H. **Upgrading and nitrification by submerged bio-film reactors - experiences from a large scale plant**. In: International Conference Specializae on Biofilm Reactors, 2 Anais. Paris:1993, p. 231-238.

LIAO, B. Q.; LIN, H. J.; LANGEVIN, S. P.; GAO, W. J.; LEPPARD, G. G. Effects of temperature and dissolved oxygen on sludge properties and their role in bioflocculation and settling. **Water Res.** 2011, 45 (2), 509–520.

LIU, G; WANG, J. Modeling effects of DO and SRT on activated sludge decay and production. **Water Research**, [s.l.], v. 80, p.169-178, set. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2015.04.042>.

LLEWELLYN, S.; NORTHCOTT, D. The “singular view” in management case studies qualitative research in organizations and management. **An International Journal**, v. 2, n. 3, p. 194-207, 2007.

LOPES, M. A. **Avaliação de diferentes coagulantes para remoção de sólidos por flotação e sedimentação de água residuária de uma indústria metal-mecânica**. 2011. 192 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2011.

MARCHETTI, T. **Tratamento de efluente líquido da indústria de cosméticos com sulfato de alumínio e biopolímero**. Porto Alegre, RS. 2013.

MARCONDES, J. G. **Tratamento de Efluentes**. 2012. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Química, Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis, Assis, 2012.

MARTINS, S. A. V.; MARTINS, E. A. **Plano de negócio para uma fábrica de polpa de frutas congeladas na cidade de botucatu - SP**. In: Jornada Científica e Tecnológica da Fatec de Botucatu, 6., 2017, Botucatu.

MORGAN-SAGASTUME, F.; ALLEN, D. G. Activated sludge deflocculation under temperature upshifts from 30 to 45°C. **Water Research**. 2005, 39 (6), 1061–1074.

OLIVEIRA, C. M. R. **Aplicabilidade de sistemas simplificados para estações de tratamento de esgoto de cidades de pequeno porte**. 2014. 88 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014.

OLIVEIRA, H. R. R. **Estudo de viabilidade da substituição do coagulante utilizado na ETE de um Complexo Químico**. 2014. 55f. Monografia – Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, Lorena, 2014.

OLIVEIRA, S.; SPERLING, M. Performance evaluation of different wastewater treatment technologies operating in a developing country. **Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development**, v. 01, n. 01, p. 37-56, 2011.

PAPAGEORGIOU, A.; VOUTSA, D.; PAPADAKIS, N. Occurrence and fate of ozonation by-products at a full-scale drinking water treatment plant. 2014. **Sci Total Environ** 481:392-400.

PEIXOTO, F. L. A. **Pereiro, retratos de uma história**. Fortaleza: Verdes Mares, 2013.

POLESEL, F.; LEHNBERG, K.; DOTT, W.; TRAPP, S.; THOMAS, K. V.; PLÓSZ, B. G. Factors influencing sorption of ciprofloxacin onto activated sludge: Experimental assessment and modelling implications. **Chemosphere**, [s.l.], v. 119, p.105-111, jan. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.05.048>.

POUMAYE, N.; MABINGUI, J.; LUTGEN, P.; BIGAN, M. Contribution to the clarification of surface water from the Moringa oleifera: Case M'Poko River to Bangui, Central African Republic. **Chemical Engineering Research and Design**, Elmsford, v.90, p.2346-2352, 2012.

RAIMON, R.; SAID,. Laboratory effluent Treatment by Using Coagulant Alum sulphate and Poly Aluminium Chloride (PAC). **Indonesian Journal Of Fundamental And Applied Chemistry**, [s.l.], v. 2, n. 2, p.47-51, 15 jun. 2017. Department of Chemistry Sriwijaya University. <http://dx.doi.org/10.24845/ijfac.v2.i2.47>.

REIS, A. C. V. **Análise de sistema de lodos ativados tratando efluente de indústria alimentícia: tratabilidade e microfauna**. 2017. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017.

RODIÑO, JP, FERIA, JJ, PATERNINA, RDJ E MARRUGO, JL (2015). Tratamento de água bruta no rio Sinú por coagulantes naturais. **Revista Facultad de Ingeniería**, Universidade de Antioquia, 76, 90-98. DOI: 10.17533 / udea.redin.n76a11.

SANT'ANNA JR., G. L. **Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 418p.

SANTOS, C. L.; BARBOSA, T.; FERREIRA JÚNIOR, R. S. Lodo ativado aeróbico: Uma Breve Abordagem. **Revista Conexão Eletrônica**, Três Lagoas, v. 15, n. 1, p.162-169, 2018.

SCHIAVON, Gilson J. **Modelagem, desenvolvimento e análise de um sistema gerador de ozônio, operando em alta frequência com controlador digital de sinais**. 2012. 265 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

SELLTIZ, C.; JAHODA, M.; DEUTSCH, M. **Métodos de Pesquisa nas Relações Sociais**. São Paulo: EDUSP, 1974.

SHAHZAD, M., IQBAL, Z., REHMAN, K., REHMAN, H. E EJAZ, M. (2014). Mudanças no Curso de Tempo em pH, Condutividade Elétrica e Metais Pesados (Pb, Cr) de Efluentes

Utilizando Moringa oleifera Lam. Semente e Alum, uma Avaliação Comparativa. **Journal of Applied Research and Technology**, 12, 560-567. DOI: 10.1016 / S1665-6423 (14) 71635-9.

SHENG, K.; CHEN, X.; PAN, J.; KLOSS, R.; WEI, Y.; YING, Y. Effect of ammonia and nitrate on biogas production from food waste via anaerobic digestion. *Biosyst. Eng.*, v. 116, p. 205-212, 2013

SILVA, C. E. da. **Sistema de Lodos Ativados**. Santa Maria: Texto, 2014. Color.

SILVA, D. I.; BOMFIM, R. L. L. O.; NACFUR, J. P.; GOMES, W. P. A Utilização do Lodo Ativado nas ETE's. **Conexão Eletrônica**, Três Lagoas, v. 14, n. 1, 2017.

SILVA, M. C. de A.; MONTEGGIA, L. O.; MIRANDA, L. A. S.; THEWES, M. R. Avaliação da viabilidade de utilização de colifagos como indicadores de poluição fecal: suas relações com parâmetros físicos e químicos e indicadores bacterianos. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [s.l.], v. 20, n. 4, p.645-652, dez. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522015020040132584>.

SOUZA, A P. C.; SOUZA, E. A. M.; PEREIRA, N. C. Análise da utilização do coagulante policloreto de alumínio (PAC) na remoção da cor, turbidez e DQO de efluente de lavanderia têxtil. **Anais do Xx Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, [s.l.], p.1-7, fev. 2015. Editora Edgard Blücher. <http://dx.doi.org/10.5151/chemeng-cobeq2014-1992-16508-175367>.

TEIXEIRA, R. B. **Estudo da presença e remoção de hormônios estrogênicos em estação de tratamento de esgoto por lodos ativados**. 2016. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Biotecnologia Industrial, Universidade de São Paulo, Lorena, 2016.

TERENCE, A. C. F.; ESCRIVÃO-FILHO, E. Abordagem quantitativa, qualitativa e a utilização da pesquisa-ação nos estudos organizacionais. In. Encontro Nacional de Administração, 26, 2006, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ENEGEP, 2006.

TIAN, S.; LISHMAN, L.; MURPHY, K. L. Investigations into excess activated sludge accumulation at low temperatures. **Water Research**. 1994, 28 (3), 501–509

ÜSTUN, G. E.; SOLMAZ, S. K. A.; ÇINER, F.; BASKAYA, H. S. Tertiary treatment of a secondary effluent by the coupling of coagulation-flocculation-desinfection for irrigation reuse. **Desalination**, v.277, p.207-212, 2011.

VAN DIJK, E. J.h.; PRONK, M.; VAN LOOSDRECHT, M. C. Controlling effluent suspended solids in the aerobic granular sludge process. **Water Research**, [s.l.], v. 147, p.50-59, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2018.09.052>.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. v.1. 3ed. Belo Horizonte, Minas Gerais: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2005.

VON SPERLING, M. **Princípio do tratamento biológico de águas residuárias: lodos ativados**. Minas Gerais: UFMG, 1997.

VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, 4^a ed., Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; v. 1; Universidade Federal de Minas gerais, 2014.

WILEN, B.M., LUMLEY, D., MATTSSON, A., MINO, T., 2008. Relationship between floc composition and flocculation and settling properties studied at a full scale activated sludge plant. **Water Research**. 42, 4404–4418.