

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS – UEA
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA – EST
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

SANDRYELLE KAROLINA OLIVEIRA PLÁCIDO

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
EFLUENTES DE UMA INDÚSTRIA DE EXTRATOS NATURAIS**

MANAUS

2019

SANDRYELLE KAROLINA OLIVEIRA PLÁCIDO

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
EFLUENTES DE UMA INDÚSTRIA DE EXTRATOS NATURAIS**

**Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Engenharia Química da Escola
Superior de Tecnologia da Universidade do
Estado do Amazonas, para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Química.**

Orientador: Profa. Dra. Érica Simplício de Souza

Co-Orientador: Prof. Dr. Clairon Lima Pinheiro

MANAUS

2019

SANDRYELLE KAROLINA OLIVEIRA PLÁCIDO

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
EFLUENTES DE UMA INDÚSTRIA DE EXTRATOS NATURAIS**

**Monografia de Conclusão de Curso para obtenção do título de Engenheiro, Habilitação
em Engenharia Química – Escola Superior de Tecnologia, Universidade do Estado do
Amazonas**

Banca examinadora:

.....
Profa. Dra. Érica Simplicio de Souza – Orientador

.....
Enga. Aline Gabriela Castro da Silva – Águas de Manaus

.....
Prof. Dr. Bayardo Andrés Dupotey Ribas – UEA

Conceito:

Manaus, 06 de dezembro de 2019.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a toda minha família, em especial a minha tia Marcela Melo e a minha mãe Vaniza Melo, que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por sempre me mostrar que, mesmo nos momentos mais desafiadores, somos capazes de alcançar tudo aquilo que traçamos para nós mesmos e, que Ele nos ajuda imensamente, mas somos nós, com a nossa garra e força de vontade, que fazemos nossos sonhos virarem realidade.

A minha tia Marcela Melo, que na verdade é uma mãe, por sempre ter me apoiado e me incentivado. Obrigada por ter tido toda a paciência do mundo comigo, por ter me ensinado a ler e por ser essa mãe, amiga e parceira durante todos esses anos. Agradeço todo o amor, carinho, conselhos e por ser base fundamental para o meu desenvolvimento.

A minha mãe Vaniza Melo, por ser essa pessoa excepcional, por ter me dado a vida e por me amar incondicionalmente. Você é uma mulher incrível e, se hoje realizo este sonho, agradeço a você por ser o meu exemplo de determinação. Que bom que você sempre exigiu o melhor que eu pudesse ser. Ao meu pai Sebastião Cruz Plácido, que apesar de não estar aqui, sei que estaria extremamente orgulhoso de mim.

Aos meus irmãos Gaethã Anuar e Eliézer Noah, com vocês eu aprendi o significado de paciência, cuidado, amor. Vocês me ensinaram a ser uma pessoa melhor. Espero que nossa ligação não seja unicamente pelo sangue, mas sim porque além de sermos irmãos, somos melhores amigos.

Aos meus amigos Alexsávio Ferreira e Luiz Henrique, por todos os anos de convivência; pela compreensão, apoio, confiança, lealdade e cumplicidade. Vocês têm um lugar especial no meu coração. Obrigada por fazerem as aulas ficarem mais divertidas e por todos os lanches após um dia cansativo.

Ao meu amigo e colega de trabalho André Beltrão, por sempre tornar os momentos mais divertidos e pela amizade que temos cultivado. Muito desse trabalho devo a você que tanto me ajudou com coletas de amostras, análises, sugestões e piadas sobre a ETE. A minha amiga Vitória Lopes, por estar comigo durante toda essa jornada. Sei que conquistei uma amiga leal, prestativa e eu não poderia ser mais grata pelo vínculo que temos.

A minha orientadora Érica Simplício, por ter me acolhido como sua orientanda desde o início da faculdade, por ter me mostrado o lado da pesquisa científica e por ser extremamente compreensiva comigo. Ao meu coorientador Clairon Pinheiro, por ser esse mentor maravilhoso, extremamente dedicado aos seus alunos e solidário; obrigada por ter me acolhido.

As minhas tias Vanéria Melo e Ângela Oliveira, por me apoiarem durante a minha trajetória e me incentivarem a sempre continuar perseguindo os meus objetivos.

A minha colega de trabalho Ana Carolina Damasceno, por todas as conversas, ajuda e empenho que sempre demonstrou sem o qual a conclusão deste trabalho não seria possível.

A pessoa que tem compartilhado os dias comigo me dando suporte, encorajamento e carinho, Benjamin Nash. Você esteve ao meu lado durante este importante momento da minha vida e me ouviu com atenção em todas as situações. Obrigada por estar sempre presente e fazer os dias se tornarem melhores.

Aos professores do curso de Engenharia Química da UEA pelo conhecimento e ensinamentos compartilhados, em especial a professora Dania del Toro.

A todos que fizeram, direta ou indiretamente, parte da minha formação.

RESUMO

A água é um recurso utilizado de forma abundante nos processos de obtenção de alimentos. Contudo, o rápido crescimento populacional e aumento do padrão de consumo da sociedade nas últimas décadas fez o consumo de alimentos que demandam de muita água para a sua produção aumentar, acentuando os problemas relacionados à geração de efluentes. As águas residuárias das indústrias alimentícias possuem alta carga orgânica e podem apresentar coloração acentuada, sendo um potencial poluidor do corpo receptor quando não recebem tratamento adequado. Os corantes são introduzidos aos alimentos com a função de fornecer cor, porém estes compostos causam bioacumulação nos corpos hídricos causando inibição da fotossíntese realizada pelos organismos aquáticos. Assim, este trabalho teve por objetivo estudar a eficiência da estação de tratamento de efluentes de uma indústria de extratos naturais do segmento de aditivos alimentares. Os parâmetros demanda química de oxigênio, cor aparente, temperatura, sólidos sedimentáveis, pH e oxigênio dissolvido foram avaliados e comparados com as legislações ambientais aplicáveis. Todos os ensaios foram realizados em triplicata, exceto o ensaio de demanda química de oxigênio que foi realizado em duplicata. As análises laboratoriais foram realizadas em conformidade com a bibliografia de referência para análises de águas residuárias, *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Para a realização das análises estatísticas, elaboração de gráficos e tabelas, foi utilizado o *software* Microsoft Excel®. Os resultados obtidos foram comparados com a Resolução nº430 do Conselho Nacional do Meio Ambiente e, também, com o histórico de lançamento mantido pela empresa a fim de verificar a similaridade dos dados. O estudo realizado constatou eficiência média de redução para o parâmetro demanda química de oxigênio foi de 81%, alcançando o valor máximo de 92,5%. Nos ensaios de pH, cor, temperatura e sólidos sedimentáveis todos os resultados encontrados foram satisfatórios e apresentam conformidade com as normas ambientais. Já as análises de oxigênio dissolvido indicaram uma deficiência no processo de aeração, apesar deste resultado não afetar o desempenho da ETE e não estar em não conformidade com a legislação ambiental vigente. Com o estudo do sistema de tratamento, tornou-se possível afirmar que a hipótese de que a planta de tratamento de águas residuárias, tratamento primário com floculação/coagulação e tratamento secundário com lodo ativado, não funciona de forma eficiente não é verdadeira, visto que o sistema de tratamento utilizado pela empresa está sendo eficaz para os parâmetros estudados. Para trabalhos futuros, sugere-se estudar a eficiência da estação de tratamento de efluentes durante um período maior a fim de verificar a influência da sazonalidade, avaliar uma quantidade maior de parâmetros, tais como turbidez, demanda bioquímica de oxigênio, sólidos totais, sólidos suspensos, cloro livre, cloro total, vazão, carbono orgânico total e realizar a caracterização das águas residuárias objetivando identificar compostos que possam causar impacto negativo no desempenho da ETE.

Palavras-chave: indústria de alimentos, corantes, lodo ativado, parâmetros de lançamento, avaliação do efluente.

ABSTRACT

Water is an abundant resource used in food production processes. However, with the rapid population growth and rising consumption patterns of society in recent decades have made the consumption of foods that require large amounts of water for their production to increase, this accentuating the problems related to the generation of effluents. Wastewater from food industries has a high organic load and can be markedly colored, being a potential pollutant of the waterbody when not properly treated. Dyes are added to foods with the function of providing color, but these compounds cause bioaccumulation in water bodies causing inhibition of the photosynthesis process by aquatic organisms. Therefore, this work aimed to study the efficiency of the effluent treatment plant of a natural extracts industry from the food additives segment. The parameters chemical oxygen demand, apparent color, temperature, settleable solids, pH and dissolved oxygen were evaluated and compared with the applicable environmental legislation. All tests were performed in triplicate except the chemical oxygen demand test which was performed only in duplicate. Laboratory analysis were performed in accordance with the reference bibliography for wastewater analysis, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Microsoft Excel® software was used for the statistical analysis, charts and tables. The results obtained were compared with the Resolution n°430 of the National Environmental Council and with the release history maintained by the company in order to verify the similarity of the data. The study found an average reduction efficiency for the chemical oxygen demand parameter was 81%, reaching the maximum value of 92,5%. For the pH, color, temperature and settleable solids tests, all results were satisfactory and comply with the environmental standards. The dissolved oxygen analyzes indicated a deficiency in the aeration process, although this result does not affect the performance of the WWTP and is not in compliance with current environmental legislation. With the study of the treatment system, it became possible to state that the hypothesis that the wastewater treatment plant, primary flocculation/coagulation treatment and secondary activated sludge treatment, does not work efficiently is not true, since the treatment system used by the company is being effective for the studied parameters. For future work, it is suggested to study the effluent treatment plant efficiency over a longer period in order to verify the influence of seasonality, to evaluate a larger number of parameters such as turbidity, biochemical oxygen demand, total solids, suspended solids, free chlorine, total chlorine, flow rate, total organic carbon and to characterize wastewater to identify compounds that may negatively impact the performance of the WWTP.

Keywords: food industry, dyes, activated sludge, discharge parameters, effluent evaluation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estruturas moleculares de alguns carotenoides encontrados nos vegetais.	19
Figura 2 – Estruturas químicas da bixina e norbixina.	21
Figura 3 – Zonas de autodepuração e os tipos de organismo em cada zona.	24
Figura 4 – Exemplo de lagoa com eutrofização.	25
Figura 5 – Técnicas mais comuns para remoção de corantes.....	26
Figura 6 – Esquema de uma estação de tratamento de efluentes utilizando lodo ativado.....	28
Figura 7 – Distribuição de oxigênio em um floco de lodo ativado.	29
Figura 8 – Fluxograma simplificado do funcionamento da Estação de Tratamento de Efluentes da empresa do Polo Industrial de Manaus com a identificação dos pontos de coleta de amostras.	35
Figura 9 – Resultados médios obtidos com as análises de monitoramento da ETE para o parâmetro pH no ponto de coleta 1.....	40
Figura 10 – Resultados médios obtidos com as análises de monitoramento da ETE para o parâmetro pH no ponto de coleta 3.....	40
Figura 11 – Temperatura média encontrada com as análises de monitoramento no ponto de coleta 3 da ETE estudada.....	41
Figura 12 – Quantidade de sólidos sedimentáveis encontrada com as análises de monitoramento no ponto de coleta 3 no período de agosto a novembro de 2019 na ETE estudada.	44
Figura 13 – Células de análise de DQO: a primeira, mais a esquerda, sem amostra; a segunda, ao meio, com a reação referente a uma amostra coletada no início do tratamento e a terceira, mais a direita, com a reação referente a uma amostra coletada no final do tratamento.	45
Figura 14 – Padrões de unidades de cor (uH) 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60 e 70....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Padrões dos parâmetros inorgânicos para o lançamento de efluentes.	33
Tabela 2 - Padrões dos parâmetros orgânicos para o lançamento de efluentes.	34
Tabela 3 – Ensaio realizados, pontos de coleta nos quais os parâmetros foram monitorados, periodicidade dos testes e quantidade de replicatas das análises.....	36
Tabela 4 – Resultados médios de pH encontrados nos três pontos de coleta no período de agosto a novembro de 2019 na ETE estudada.	39
Tabela 5 – Resultado médio de temperatura encontrado no ponto de coleta 3 no período de agosto a novembro de 2019 na ETE estudada.	41
Tabela 6 – Resultados médios obtidos para o parâmetro oxigênio dissolvido nos pontos de coleta localizados na entrada (Ponto 1), tanque de aeração (Ponto 2) e saída (Ponto 3) no período de agosto a novembro de 2019 na ETE estudada.	42
Tabela 7 - Resultados médios obtidos para o parâmetro DQO nos pontos de coleta localizados na entrada (Ponto 1) e saída (Ponto 3) no período de agosto a novembro de 2019 na ETE estudada.	45
Tabela 8 – Resultados obtidos para o parâmetro cor aparente no ponto de coleta localizado na saída da ETE estudada (ponto 3) no período de agosto a novembro de 2019.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
APHA	American Public Health Association
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EPI	Equipamento de Proteção Individual
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
FAD	Flotação por ar dissolvido
FDA	Food and Drug Administration
H ⁺	Cátion hidrogênio
MERCOSUL	Mercado Comum do Sul
NBR	Norma Brasileira
nm	Nanômetro
OD	Oxigênio Dissolvido
pH	Potencial Hidrogeniônico
POA	Processos oxidativos avançados
UEA	Universidade do Estado do Amazonas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1 UTILIZAÇÃO DE CORANTES NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS.....	16
2.2 CORANTES NATURAIS	17
2.3 CAROTENOIDES	18
2.3.1 Extrato de Urucum (<i>Bixa orellana</i> L.).....	20
2.4 PROBLEMAS ASSOCIADOS AO LANÇAMENTO DE EFLUENTES CONTENDO CORANTES	22
2.5 TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS INDUSTRIAIS CONTENDO CORANTES	25
2.5.1 Oxigênio Dissolvido (OD).....	30
2.5.2 Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	30
2.5.3 Temperatura	31
2.5.4 Potencial Hidrogeniônico	31
2.5.5 Cor	31
2.6 LEGISLAÇÃO VIGENTE.....	32
3 MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES	35
3.2 CONDIÇÕES DE COLETA DE AMOSTRAS	36
3.3 PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS.....	37
3.3.1 Determinação da Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	37
3.3.2 Determinação do Oxigênio Dissolvido (OD)	37
3.3.3 Determinação da Temperatura	37
3.3.4 Determinação do pH.....	37
3.3.5 Determinação da Quantidade de Sólidos Sedimentáveis	38
3.3.6 Determinação da Cor Aparente	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1 ANÁLISES DE pH.....	39
4.2 ANÁLISES DE TEMPERATURA	41
4.3 ANÁLISES DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO	42
4.4 ANÁLISES DE SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS.....	43

4.5 ANÁLISES DA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO	44
4.6 ANÁLISES DE COR APARENTE	46
4.7 FATORES QUE PODEM INFLUENCIAR A EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO	47
5 CONCLUSÕES.....	49
6 PERSPECTIVAS.....	51
REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

O meio ambiente costumava ser considerado como uma fonte ilimitada de recurso com zero custo, mas cada vez mais ele tem sido visto com uma fonte limitada e preciosa que necessita de atenção apropriada. (BELOTE, 2000)

O aumento da população e o acelerado crescimento da economia têm gerado, entre outros problemas, um grande volume de águas residuárias contaminadas com efluentes domésticos e industriais, muitas vezes lançados no meio ambiente sem o tratamento adequado, com altas cargas de matéria orgânica e contaminantes, prejudicando a flora e a fauna aquática. A contaminação é uma modificação da qualidade da água, provocada, geralmente, pelo homem, de tal forma a torná-la danosa ao consumo. A água, depois de ser utilizada, deve ser restituída ao seu ambiente natural sem comprometer os possíveis usos que possam ser feitos. (MARCHINI; MACHADO; STÜLP, 2011)

No Brasil, as leis ambientais relacionadas ao lançamento de efluentes nos corpos receptores foram modificadas e o governo lançou diversas campanhas visando reeducar a população sobre os riscos iminentes causados pelo lançamento de água sem tratamento à saúde humana e a necessidade de conservação dos recursos naturais. Atualmente, as legislações federais que incorporam esses conceitos são o CONAMA N° 357 de 17 de março de 2005 e o CONAMA N°430 de 13 de maio de 2011, que dispõem sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. (BELOTE, 2000)

As águas residuárias das indústrias alimentícias possuem alta carga orgânica e podem apresentar coloração acentuada, sendo um potencial poluidor do meio receptor quando não recebem tratamento adequado. (SANTOS, 2016)

Os corantes são os primeiros contaminantes a serem percebidos nos despejos industriais e devem ser removidos antes dessas águas serem lançadas nos corpos receptores. A presença de pequenas quantidades de colorantes nas águas residuárias são facilmente visíveis e afeta o mérito estético, transparência da água e solubilidade de gás em lagos, rios e outros corpos d'água. (BANAT et al, 1996)

Um dos efeitos causados, no meio receptor, pela presença de corantes é a inibição da fotossíntese realizada pelos organismos aquáticos, devido ao bloqueio da passagem da luz. As características dos resíduos líquidos e sólidos provenientes de indústrias alimentícias favorecem o crescimento de microrganismos que irão competir pelo oxigênio disponível nos corpos d'água com os organismos naturais da fauna naquele ambiente, principalmente, os

peixes e as algas, além de contribuir para a geração de maus odores e poluição das águas de consumo (TONI; IMAMURA; LIMA, 2014). Estas condições levam à formação de sulfetos e mercaptanos resultante da atividade anaeróbica. Outro efeito é uma possível formação de compostos tóxicos pela decomposição aeróbica de alguns corantes. (SANTOS, 2016)

Um estudo realizado por Toni, Imamura e Lima (2014), no qual foram analisados parâmetros químicos e físicos de efluentes líquidos de uma indústria alimentícia do segmento de doces, mostrou que o efluente apresentava cor aparente elevada. Esta característica foi atribuída à elevada carga orgânica e a presença de aditivos alimentícios, como aromas e corantes naturais e artificiais, comprovando que os efluentes das indústrias alimentícias são potenciais poluidores dos recursos hídricos, e a cor é uma das propriedades que podem ser modificadas quando este não recebe o tratamento adequado.

Muitas indústrias possuem meios tecnológicos para o tratamento de efluentes a fim de minimizar o seu impacto na fauna e na flora. Outras empresas, por falta de recursos ou por simples negligência, utilizam-se dos rios, lagos e oceanos como destino desses efluentes sem tratamento, cuja acumulação no meio ambiente impactará negativamente na preservação ambiental. (SERPA; PRIAMO; REGINATO, 2009)

As indústrias de alimentos são encontradas em larga escala e o seu efluente é caracterizado como um dos maiores poluidores ambientais, pois possuem elevada carga orgânica e são de difícil biodegradabilidade. Assim, a sua disposição no meio ambiente, por meio de emissões de matéria e de energia lançados na atmosfera, nas águas ou no solo deve ocorrer após os resíduos sofrerem tratamento e serem enquadrados nos padrões estabelecidos na legislação ambiental. (BENINCA, 2012)

A caracterização dos resíduos industriais é necessária para conhecer as características biodegradáveis do resíduo antes da sua disposição no ambiente e paliativamente verificar qual o melhor tipo de tratamento e recuperação desses resíduos gerados, além de avaliar o enquadramento na legislação ambiental e estimar a capacidade de autodepuração do corpo receptor, a fim de cumprir com a crescente exigência de prevenção de poluição e contribuir para a diminuição do impacto ambiental. (TONI; IMAMURA; LIMA, 2014)

Uma indústria de extratos naturais do segmento de aditivos alimentares do Polo Industrial de Manaus fabrica substâncias que geram águas residuárias com a presença de colorantes o que dificulta o tratamento dos efluentes gerados. A empresa dispõe de uma estação de tratamento de efluentes que apresenta tratamento primário e secundário das águas residuárias. Entretanto, não é sabido se esta estação de tratamento de efluentes está

trabalhando de forma eficiente. Sendo assim, é extremamente interessante desenvolver um trabalho que avalie o desempenho desta estação.

Supondo que a planta de tratamento de águas residuárias não funciona de forma eficiente, o objetivo geral deste trabalho consiste em realizar um estudo da eficiência da estação de tratamento de efluentes desta indústria de extratos naturais e os objetivos específicos são:

- a) Monitorar e avaliar os parâmetros Demanda Química de Oxigênio, Oxigênio Dissolvido, Temperatura, Sólidos Sedimentáveis, pH e cor para os efluentes gerados;
- b) Comparar os dados obtidos com os padrões de lançamentos de efluentes, de acordo com a legislação vigente, com a Resolução nº430, do dia 13 de maio de 2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente;
- c) Identificar possíveis falhas que podem estar afetando o bom funcionamento da estação de tratamento de efluentes;

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo, será abordada a teoria necessária para a compreensão do conceito e procedimento do projeto.

2.1 UTILIZAÇÃO DE CORANTES NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

A utilização de corantes na indústria de alimentos é algo comum, isso ocorre para torná-los mais atrativos e saborosos. Esta não é uma prática recente; há séculos o homem utiliza substâncias como especiarias e condimentos com esta função, mas, apenas nos últimos anos, essas substâncias foram substituídas por outras que tem como função principal colorir. (PRADO; GODOY, 2003)

O emprego de extratos naturais é muito mais vantajoso do que o uso de corantes sintéticos; um dos principais motivos para isso é a legislação brasileira no que diz respeito a aplicação de aditivos químicos coloríficos artificiais em alimentos, pois apenas onze corantes sintéticos são aprovados para serem utilizados em alimentos, sendo eles: Amarantho, Vermelho de Eritrosina, Vermelho 40, Ponceau 4R, Amarelo Crepúsculo, Amarelo Tartrazina, Azul de Indigotina, Azul Brillante, Azorrubina, Verde Rápido e Azul Patente V. (REYES; VALIM; VERCESI, 1997)

Outra desvantagem dos corantes artificiais é que seu uso não é recomendado do ponto de vista médico (PRADO; GODOY, 2003). Diversos estudos vêm demonstrando a ocorrência de reações adversas associadas ao consumo de alimentos que apresentam esses aditivos incluindo desde simples urticárias, passando por asma e reações imunológicas, chegando até ao câncer em animais de laboratórios. (SOUZA et al, 2016)

Muitos estudos buscaram mostrar as possíveis reações causadas por eles, como Kapadia e colaboradores (1998) que estudaram a ação antitumoral *in vitro* de 29 corantes artificiais permitidos pelo *Food and Drug Administration* (FDA) nos Estados Unidos.

Na indústria alimentícia, faz-se a distinção entre ingredientes e aditivos. Os ingredientes são os componentes essenciais na produção de um alimento, já os aditivos têm a função de impedir alterações, manter, conferir ou intensificar seu aroma, cor e sabor, modificar ou manter seu estado físico geral sem o propósito de nutrir. Um exemplo é a preparação de um arroz; os grãos de arroz, o sal e água para o cozimento são ingredientes essenciais, já a cebola, alho e outros temperos são aditivos. (RIEDEL, 1987)

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) apresenta várias resoluções que regulamentam o uso dos corantes artificiais em alimentos, assim como as quantidades

permitidas. Em 1998, o Mercado Comum do Sul (MERCOSUL), divulgou a Resolução nº 52 de 1998 que apresenta os Critérios para determinar funções de aditivos, aditivos e seus limites máximos para todas as categorias de alimentos. Esta resolução visa unificar as resoluções já existente objetivando facilitar o comércio entre os países membros. (MERCOSUL, 1998)

2.2 CORANTES NATURAIS

A utilização de pigmentos naturais em alimentos tem se elevado devido à preocupação dos consumidores com os efeitos prejudiciais dos pigmentos sintéticos e corantes à saúde. Podem ser solúveis em óleo ou água e apresentam tons de cor muito mais naturais causando um aspecto genuíno no alimento. Além disso, os pigmentos naturais apresentam vantagens no marketing, por serem mais benéficos à saúde. (CONSTANT; STRINGHETA; SANDI, 2002)

Segundo Bobbio (1992), os corantes subdividem-se em três grupos principais:

- Compostos heterocíclicos com estrutura tetra-pirrólica: clorofilas, heme e as bilinas;
- Compostos de estrutura isoprenoide: carotenoides;
- Compostos heterocíclicos contendo oxigênio: flavonoides.

Os carotenoides são amplamente difundidos na natureza e são subdivididos em: carotenos e xantofilas. As clorofilas podem se apresentar em mais de uma forma. Quanto à solubilidade, os carotenoides e as clorofilas são solúveis em lipídeos e em solventes orgânicos (acetona, benzeno, clorofórmio, dissulfeto de carbono, etanol, e éter etílico) e estão localizados nos cromoplastos e cloroplastos, respectivamente. Os flavonoides compõem um grupo numeroso de pigmentos, subdivididos em antocianinas, flavonas, flavonóis, leucoantocianinas e compostos fenólicos relacionados. Os flavonoides encontram-se dissolvidos na seiva das células vegetais, mistura aquosa que contém ácidos orgânicos, açúcares, derivados aromáticos, polissacarídeos, e inúmeros pigmentos. (ROCHA; REED, 2014)

De acordo com Rocha e Reed (2014), os pigmentos dos alimentos auxiliam em diversas funções do nosso organismo. O pigmento flavina dos alimentos brancos, por exemplo, pode proteger o sistema imunológico reforçando suas defesas, favorecer a renovação celular e colaborar na manutenção e formação dos ossos. O licopeno, presente nos alimentos vermelhos ajuda a regular os batimentos cardíacos, são primordiais ao funcionamento dos músculos e do sistema nervoso. Possuem efeito antioxidante atuando contra os radicais livres, cooperam na regulação dos batimentos cardíacos, na prevenção do stress, previnem contra o aparecimento de cânceres além de incitarem a circulação sanguínea.

O betacaroteno, um tipo de carotenoide e pigmento dos alimentos amarelados ou alaranjados, promove a manutenção dos cabelos e dos tecidos, melhoram a visão noturna, agem no metabolismo das gorduras. As antocianinas responsáveis pela cor arroxeada ou azulada dos alimentos auxiliam na transformação de carboidratos e outros nutrientes em energia. A clorofila dos alimentos verdes possui propriedades anticancerígenas, efeito desintoxicante das células e poder de inibição dos radicais livres. Alimentos marrons promovem o funcionamento regular do intestino e ajudam a controlar o colesterol, diabetes, entre outros.

O extrato de urucum (*Bixa orellana L.*), o carmim de cochonilha, a curcumina, as antocianinas e as betalaínas são os pigmentos mais largamente empregados pelas indústrias alimentícias. (CONSTANT; STRINGHETA; SANDI, 2002)

2.3 CAROTENOIDES

Carotenoides são pigmentos lipossolúveis, amarelos, laranjas e vermelhos, presentes em muitas frutas e vegetais. Em plantas superiores, estão localizados em organelas subcelulares, cloroplastos e cromoplastos. Os tecidos de plantas comestíveis contêm ampla variedade de carotenoides, como os tomates (licopeno), cenouras (α e β -caroteno), milho (luteína e zeaxantina), pimentas vermelhas (capsantina), urucum (bixina) e batata doce (β -caroteno). (SILVA et al, 2010)

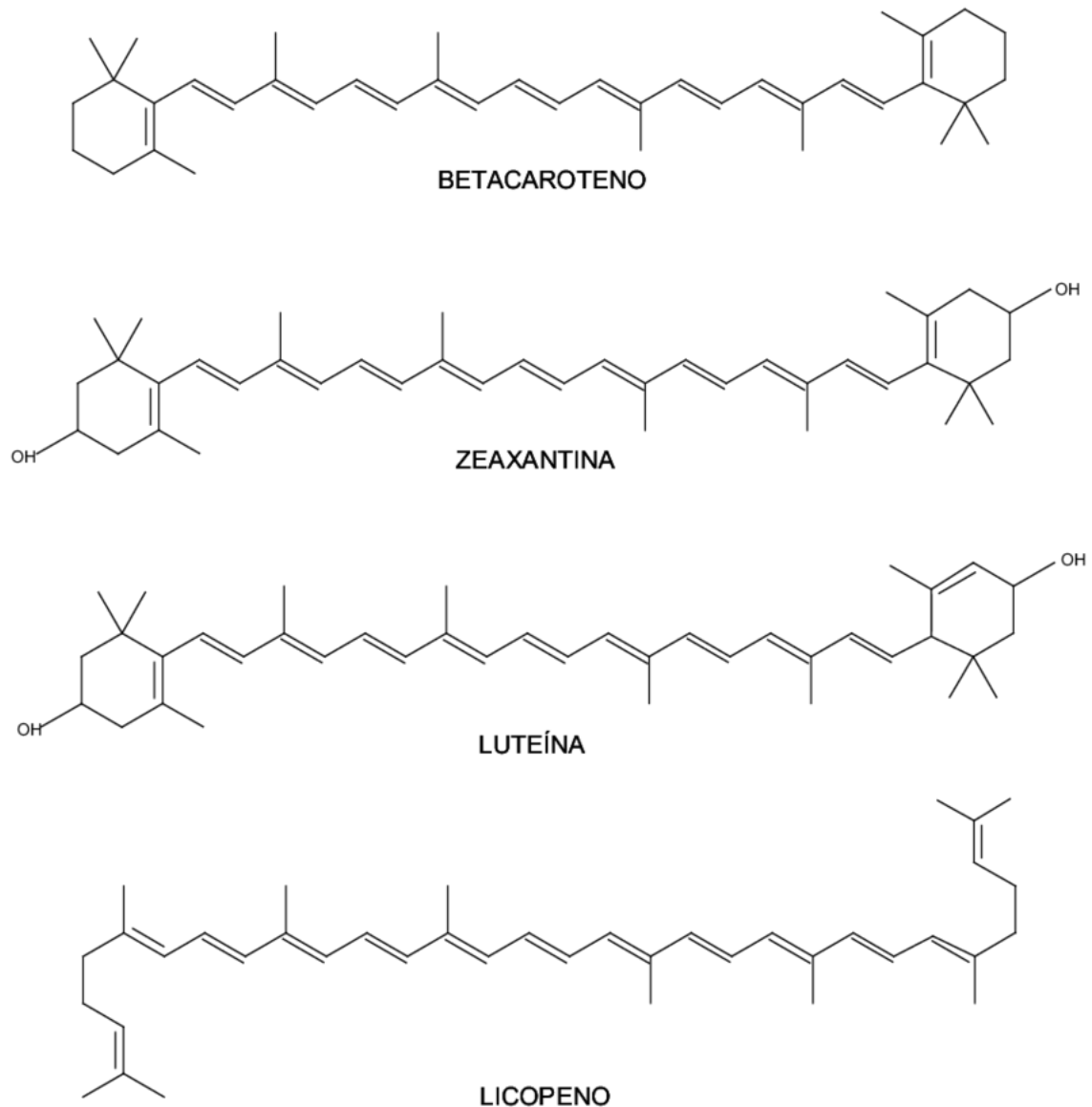
Inúmeros carotenoides já foram identificados e suas composições variam desde cadeias carbônicas simples com carbono e hidrogênio, como os carotenos e o licopeno, ou até mesmo com oxigênio, como a capsantina na páprica. Eles constituem uma larga família de produtos naturais. (OLIVEIRA, 2005) Do ponto de vista químico, carotenoides são compostos polisoprenoides e podem ser divididos em dois grandes grupos: (a) carotenos ou carotenoides hidrocarbonos, α e β -caroteno, e (b) xantofilas; luteína, zeaxantina e astaxantina (SILVA et al, 2010). O que diferencia cada cadeia são suas extremidades que podem conter anéis ou terminações poliênicas (SCHWARTZ, 2003). Eles apresentam características únicas devido a presença das ligações duplas conjugadas na cadeia, que funcionam como absorvedores cromóforos de luz e os caracterizam com cores que variam do amarelo ao vermelho. (OLIVEIRA, 2005)

A característica estrutural comum destes compostos é a cadeia polieno, um longo sistema de ligação dupla conjugada, que forma a “espinha dorsal” da molécula e influencia suas propriedades químicas, físicas e bioquímicas. Podem apresentar também grupos terminais cíclicos, que apresentam substituintes contendo oxigênio. A atividade antioxidante

dos carotenoides é justificada pelo fato desses compostos apresentarem acentuada insaturação. Tornando-os sujeitos também a oxidação e isomerização.

Na Figura 1, pode-se observar alguns dos principais carotenoides encontrados em produtos vegetais.

Figura 1 – Estruturas moleculares de alguns carotenoides encontrados nos vegetais.



Fonte: SILVA et al (2010).

Além disso, esses compostos apresentam benefícios ao ser humano. De acordo com Qing, Rowley e Balazs (2002), existe uma relação inversa ao risco de câncer associado à presença na dieta de alguns carotenos, detectado com frequência em pontos no corpo humano como: tireoide, fígados, rins, coração, e que a luteína e zeaxantina acumuladas na retina atuam como fotoprotetores das células contra radicais originados do oxigênio pela ação da luz.

Eles possuem um efeito destacável na resposta imune e na comunicação intracelular e apresentam efeitos benéficos contra doenças relacionadas ao envelhecimento. Também há indícios de que os carotenoides em associação com outros componentes de frutas e vegetais apresentam efeito protetor contra algumas doenças crônicas. O licopeno, caroteno presente em produtos de tomate, previne oxidação do LDL e reduz o risco do desenvolvimento de arteriosclerose e doenças coronárias. Estudos mostram que o consumo diário de produtos à base de tomate proporciona quantidades suficientes de licopeno para redução substancial da oxidação do LDL. Relata-se ainda que a absorção do licopeno advindo de produtos processados de tomate é mais eficiente que a absorção do composto no produto *in natura* pois, durante o processamento térmico, o licopeno ligado quimicamente a outros compostos é convertido em uma forma livre e mais facilmente absorvível. (UENOJO; MARÓSTICA JÚNIOR; PASTORE, 2007)

2.3.1 Extrato de Urucum (*Bixa orellanna* L.)

Dentre os corantes naturais, o urucum é o mais usado pela indústria brasileira, representando cerca de 90% dos corantes naturais usados no Brasil e 70% no mundo (TOCCHINI; MERCADANTE, 2001). Os extratos de urucum são compostos carotenoides que atuam como agentes colorantes naturais laranjas/vermelhos obtidos das sementes da planta tropical popularmente conhecida como urucueiro (*Bixa orellanna* L.) e possuem ampla aplicação na indústria de alimentos para a coloração de muitas mercadorias (SCOTTER, 1995). O maior consumidor destes corantes é a indústria de derivados lácteos, sendo utilizado para colorir queijos, manteigas, iogurtes e margarinas. Também é aplicado em produtos cárneos como: salsichas, salames e defumados; derivados de pescados; molhos de salada; cereais matinais; caramelos, sorvetes, assim como em achocolatados, refrigerantes e licores. (OLIVEIRA, 2005)

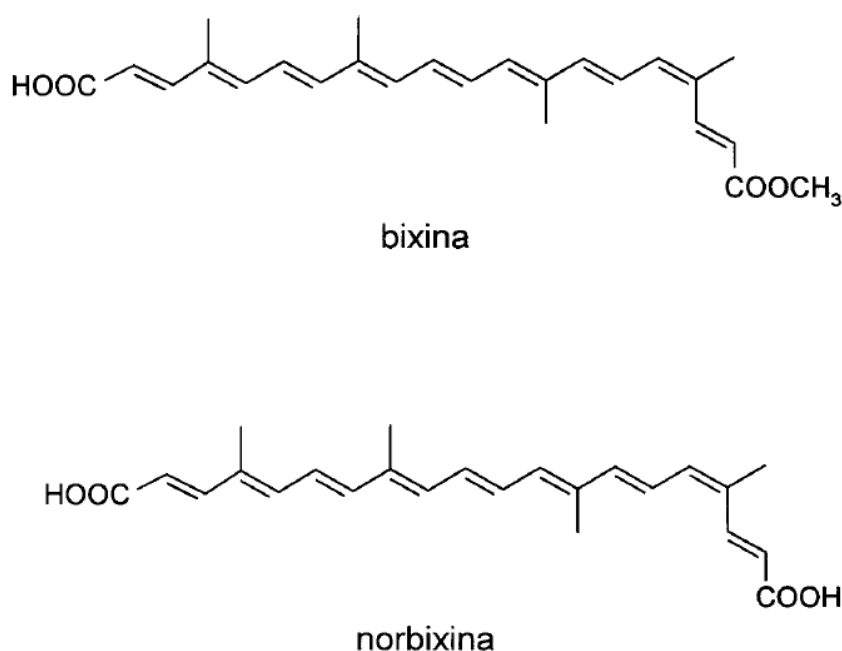
O urucueiro (*Bixa orellanna* L.) é uma planta nativa da América Tropical. Suas sementes são cobertas por uma resina vermelha que contém como pigmento principal o carotenoide bixina, cuja estrutura se encontra na Figura 2, sendo também o pigmento predominante nas preparações lipossolúveis. A norbixina (Figura 2), produto da saponificação da bixina, é o pigmento principal das preparações hidrossolúveis, sendo encontrada em pequena quantidade nas sementes e nas preparações lipossolúveis (TOCCHINI; MERCADANTE, 2001). Embora quimicamente muito semelhantes, eles apresentam diferenças nas suas propriedades químicas relacionadas à estereoquímica, solubilidade, comportamento cromatográfico e estabilidade. (SCOTTER, 2009)

A bixina, solúvel em óleo, é geralmente usada em aplicações de alimentos gordurosos, enquanto a norbixina, devido à sua capacidade de se ligar fortemente à proteína, é especialmente adequada para a coloração de alimentos com alto teor de proteína. Colorantes derivados do urucum são frequentemente formulados com outros aditivos, tais como emulsionantes, para produzir formas de urucum solúveis em água que são estáveis aos efeitos de ácidos, íons metálicos e sais. (SCOTTER, 2009)

Os isômeros *cis*, tanto da bixina quanto da norbixina, estão presentes naturalmente na planta, sendo convertidos na forma *trans*, mais estável, quando submetidos a altas temperaturas. As diferenças estruturais entre os isômeros *cis* e *trans* resultam em particularidades nas características físicas. A *cis*-bixina é solúvel na maioria dos solventes orgânicos polares aos quais ela confere uma cor laranja, mas é largamente insolúvel em óleo vegetal. Pode ser facilmente convertida para todos os isômeros *trans* devido à sua instabilidade na forma isolada em solução. A *trans*-bixina é o isômero mais estável e tem propriedades semelhantes ao isômero *cis*, mas exibe uma cor vermelha na solução e é solúvel em óleo vegetal. (GARCIA et al, 2012)

Comercialmente, a extração dos carotenoides das sementes de urucum tem sido realizada utilizando óleos vegetais, solventes orgânicos ou soluções alcalinas de hidróxido de sódio (NaOH), hidróxido de potássio (KOH), bicarbonato de sódio (NaHCO₃) e hidróxido de amônio (NH₄OH). (SCOTTER, 2009)

Figura 2 – Estruturas químicas da bixina e norbixina.



Devido ao longo sistema de duplas ligações conjugadas, os carotenoides são altamente susceptíveis à luz, oxigênio e altas temperaturas. A principal reação que ocorre nos extratos de urucum, bixina e norbixina, é a oxidação, que é de grande importância quando o pigmento é adicionado em alimentos. A velocidade em que ocorre a perda de cor devido a oxidação depende da temperatura, da luminosidade e principalmente da disponibilidade de oxigênio no meio. (CONSTANT; STRINGHETA; SANDI, 2002)

2.4 PROBLEMAS ASSOCIADOS AO LANÇAMENTO DE EFLUENTES CONTENDO CORANTES

Estima-se que são produzidas anualmente no mundo, entre 7×10^5 e 1×10^6 toneladas de corantes artificiais. Devido às baixas taxas de fixação ao longo do processamento, uma grande parcela destes corantes é descartada nos efluentes industriais. A remoção destes corantes de efluentes é ambientalmente importante, pois, são considerados altamente tóxicos para a vida aquática, afetando processos simbióticos, reduzindo a capacidade de reoxigenação da água, dificultando a passagem de luz solar e, conseqüentemente, reduzindo a atividade fotossintética. Sabe-se que efluentes contendo corantes são muito difíceis de tratar, uma vez que estes são moléculas recalcitrantes, resistentes à digestão aeróbia e estáveis a agentes oxidantes. Outra dificuldade é o tratamento de efluentes contendo baixas concentrações de moléculas de corantes. Pois, neste caso, os métodos convencionais para remover corantes são economicamente desfavoráveis e/ou tecnicamente complicados. (DOTTO et al, 2011)

Outros problemas relacionados ao tratamento inadequado das águas residuárias industriais são (BELOTE, 2000):

- Interferir nos sistemas de tratamento de águas de abastecimento doméstico e industrial, elevando o custo do tratamento;
- Os grupos cromóforos podem formar complexos com íons metálicos ferro e cobre, por exemplo, removendo-os do ambiente e tornando-os indisponíveis para organismos aquáticos que necessitam destes metais em seu metabolismo;
- A cor em cursos de água pode causar efeito negativo na produtividade e movimento dos peixes.

A introdução de matéria orgânica em um corpo d'água resulta no consumo de oxigênio dissolvido, devido aos processos de estabilização da matéria orgânica realizados pelos microrganismos, que utilizam o oxigênio disponível no meio líquido para a sua respiração. Como já dito, o decréscimo da concentração de oxigênio dissolvido apresenta diversas implicações no meio ambiente. Entretanto, existe um fenômeno através do qual o

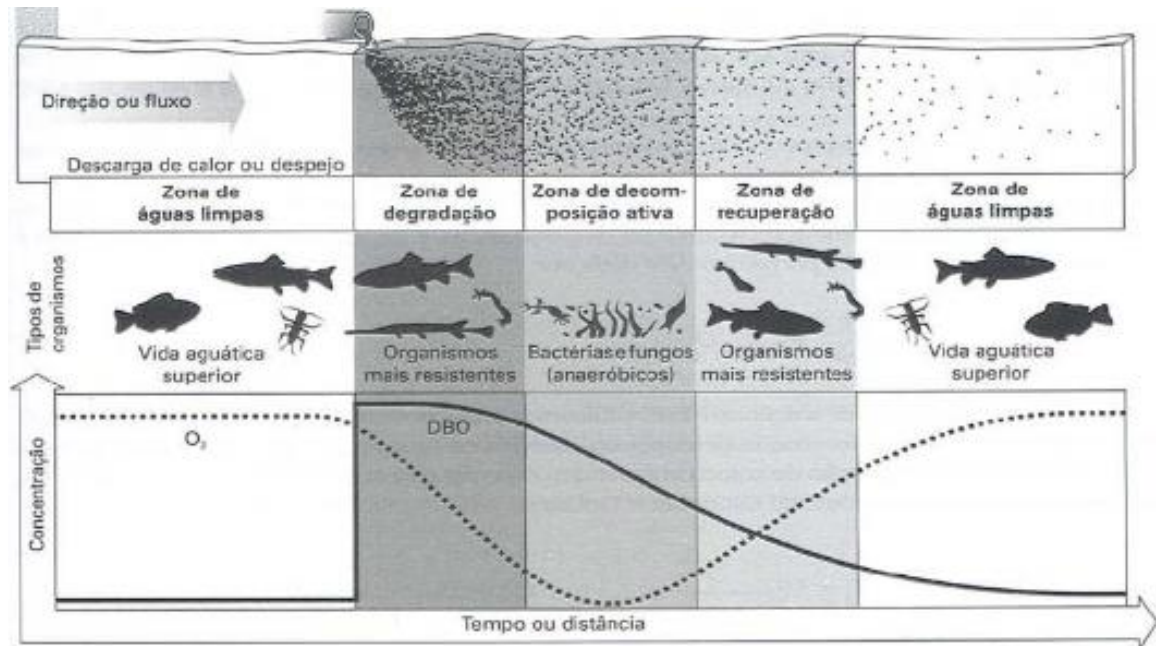
curso d'água se recupera por meio de mecanismos puramente naturais, a autodepuração. (VON SPERLING, 1996)

Este conceito está associado ao restabelecimento do equilíbrio no meio aquático, por mecanismos, essencialmente naturais após as alterações induzidas pelos despejos afluentes. Nesse processo, os compostos orgânicos são convertidos em compostos inertes e não prejudiciais do ponto de vista ecológico. Mesmo que uma água não esteja totalmente purificada em termos higiênicos, ela pode ser considerada depurada. Para que uma água seja considerada depurada suas características não devem ser conflitantes com a sua utilização prevista em cada trecho do corpo hídrico, pois não existe depuração absoluta. O que ocorre é que o corpo d'água atinge novamente o equilíbrio, mas em condições distintas da inicial. O conhecimento deste fenômeno objetiva utilizar a capacidade de assimilação dos rios sem que este apresente problemas do ponto de vista ambiental e impedir o lançamento de despejos acima do que o corpo d'água possa suportar, isto é, utilizar o corpo receptor até um ponto aceitável e não prejudicial. (VON SPERLING, 1996)

Existem quatro zonas principais de autodepuração, sendo elas: zona de degradação, zona de decomposição ativa, zona de recuperação e zona de águas limpas. A zona de degradação tem início logo após o lançamento das águas residuárias no curso d'água e sua principal característica química é a alta concentração de matéria orgânica potencialmente decomponível. Na zona de decomposição ativa, o ecossistema começa a se organizar após a perturbação do ecossistema, com a decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos e, nesse estágio, a qualidade da água apresenta seu estado mais deteriorado. Após a fase de intenso consumo de matéria orgânica e de degradação do ambiente aquático, inicia-se a etapa de recuperação. Na zona de águas limpas, as águas apresentam-se novamente limpas, voltando a atingir as condições normais anteriores à poluição no que diz respeito ao oxigênio dissolvido, à matéria orgânica e os teores de microrganismos. (VON SPERLING, 1996)

Na Figura 3, observa-se o comportamento dos tipos de organismos, oxigênio dissolvido e matéria orgânica nas fases do processo de autodepuração.

Figura 3 – Zonas de autodepuração e os tipos de organismo em cada zona.



Fonte: IERVOLINO (2019).

Um outro efeito causado, no meio receptor, pela presença de corantes é a eutrofização. Segundo Von Sperling (1996), a eutrofização é o crescimento excessivo das plantas aquáticas, tanto planctônicas quanto aderidas, a níveis tais que sejam considerados como causadores de interferências com os usos desejáveis do corpo d'água. Uma das principais razões para que esse processo ocorra é a quantidade excessiva de nutrientes no corpo hídrico. Este fenômeno pode ser explicado pela baixa capacidade de autodepuração da carga orgânica pelo corpo receptor. Um dos principais sinais do tratamento inadequado é a existência de eutrofização no corpo receptor.

Os principais efeitos indesejáveis da eutrofização são problemas estéticos e recreacionais, condições anaeróbicas no fundo do corpo d'água, eventuais condições anaeróbicas no corpo d'água como um todo, eventuais mortandades de peixes, maior dificuldade e elevação nos custos de tratamento da água, problemas com o abastecimento de água industrial, toxicidade das algas, modificações na qualidade e quantidade de peixes de valor comercial, redução na navegação e transporte, desaparecimento gradual do lago como um todo. (BARRETO et al, 2013)

Além disso, as doenças relacionadas à água são uma das principais causas de mortalidade humana em todo o mundo, e evidências recentes sugerem que as doenças podem causar grandes impactos entre os organismos aquáticos. Claramente, atividades de descarte de resíduos biológicos, como aplicações de esterco em áreas de cultivo, podem aumentar simultaneamente o carregamento de fósforo, nitrogênio e bactérias coliformes potencialmente

perigosas nas águas superficiais. No entanto, o aumento da carga de nutrientes por si só também pode influenciar a abundância, composição, virulência e sobrevivência de patógenos que já são residentes em ecossistemas aquáticos. Por exemplo, o aumento da disponibilidade de nitrogênio e fósforo aumenta a taxa de replicação de vírus aquáticos. Da mesma forma, lesões em comunidades de corais marinhos causadas por infecções por fungos *Aspergillus* crescem a taxas mais rápidas sob alta disponibilidade de nitrato. Outra interação potencial entre nutrientes e patógenos envolve mudanças na qualidade dos alimentos: se a eutrofização influencia o conteúdo nutritivo dos alimentos consumidos pelos organismos hospedeiros, as mudanças na nutrição do hospedeiro podem alterar a dinâmica entre hospedeiros e patógenos e o resultado da infecção. (SMITH; SCHINDLER, 2009)

Na Figura 4, observa-se um exemplo de uma lagoa que apresenta o fenômeno da eutrofização.

Figura 4 – Exemplo de lagoa com eutrofização.



Fonte: IERVOLINO (2019).

2.5 TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS INDUSTRIAIS CONTENDO CORANTES

As águas residuárias geradas pelos habitantes de uma cidade subdividem-se em três origens principais (VON SPERLING, 1996):

- Esgotos domésticos (residências, instituições e comércio);
- Águas de infiltração;
- Despejos industriais (diversas origens e tipos de indústrias).

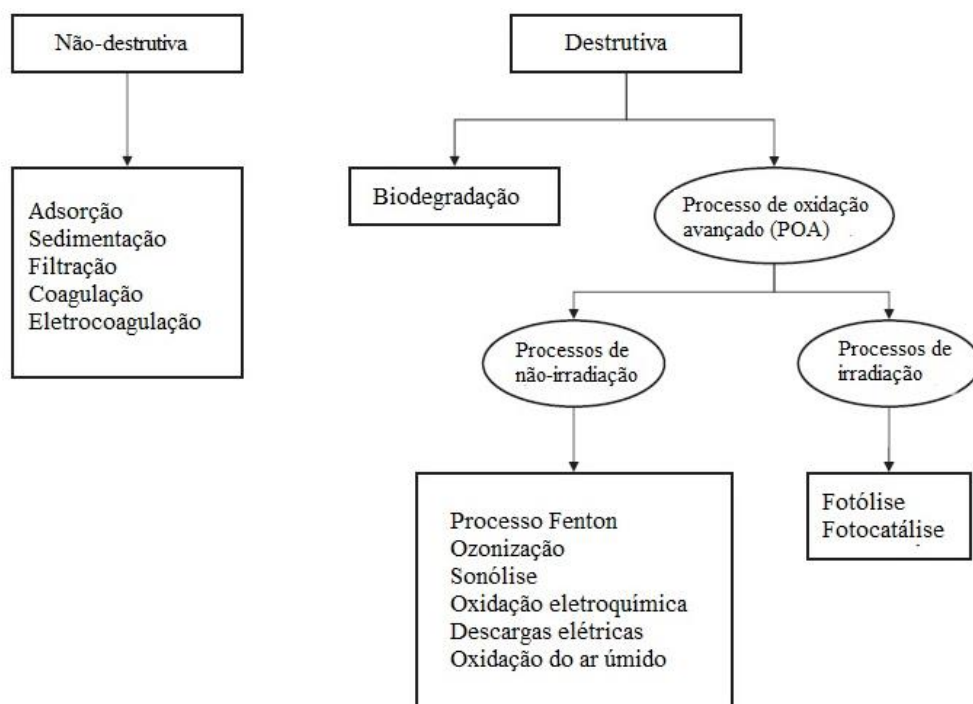
Os despejos industriais são as águas resultantes dos processos industriais, águas de refrigeração poluídas, águas pluviais poluídas e esgoto doméstico. Os efluentes de processos

industriais, por sua vez, são aqueles que comprovadamente apresentem poluição por substâncias poluentes utilizadas ou produzidos no estabelecimento industrial. (ABNT, 1987)

Os corantes orgânicos são usados em uma ampla gama de aplicações industriais – têxteis, produtos alimentícios, cosméticos, produtos farmacêuticos – o que significa que são frequentemente encontrados em águas residuais industriais (FERNÁNDEZ; LARRECHI; CALLAO, 2010). Assim, as principais preocupações existentes ao realizar o lançamento de águas residuárias em corpos hídricos são reestruturar alguns fundamentos como: alteração da natureza do efluente a ser tratado, o impacto da quantidade de água utilizada e das fontes poluidoras, além de processos de tratamento efetivos. (BENINCA, 2012)

Os tratamentos de efluentes industriais envolvem processos necessários à remoção de impurezas geradas na fabricação de produtos de interesse (SANTOS, 2016). Dentre os vários processos, podem-se destacar os tratamentos físicos, que são caracterizados por métodos de separação de fases: sedimentação, decantação, filtração, centrifugação ou flotação dos resíduos. Esses métodos correspondem à transferência dos resíduos para uma nova fase. Além dos métodos físicos, existem ainda processos por troca iônica, oxidação química, biológicos e adsorptivos. Novas tecnologias também vêm sendo muito estudadas, entre elas, os processos oxidativos avançados (POA's) e as unidades de osmose reversa (CRESPILHO; SANTANA; REZENDE, 2004). Na Figura 5, apresentam-se as técnicas utilizadas mais frequentemente para remover corantes de águas residuárias.

Figura 5 – Técnicas mais comuns para remoção de corantes



Os métodos baseados no princípio de coagulação são os mais comumente utilizados, devido a sua ampla escala de atuação e geralmente menores custos operacionais. Este processo ocorre com a adição de um coagulante químico que retira as cargas eletrostáticas negativas dos coloides, diminuindo o seu potencial repulsivo e os aglutinando (SILVA et al, 2019). São aplicados para remoção de sólidos em suspensão e podem ser divididos em duas classes, quanto ao tipo de lodo gerado em coagulação com sedimentação e coagulação com flotação. A primeira consiste remoção dos sólidos presentes no efluente por meio da separação das fases sólida e líquida, sendo a fase sólida (impureza do efluente) sedimentada na parte inferior da estação de tratamento de efluente, enquanto a fase líquida (efluente tratado) é removida da estação pela parte superior. Já na coagulação seguida de flotação, as impurezas (fase sólida flotada) são removidas da estação pela parte superior e o efluente tratado é removido pela parte inferior. (CRESPILO; SANTANA; REZENDE, 2004)

A floculação ocorre em sequência, com uso ou não de um floculante fazendo com que as partículas se organizem em flóculos de maior dimensão e densidade, podendo ser retirados posteriormente por filtração e/ou decantação. Para que haja um bom funcionamento do processo de coagulação devem ser levados em consideração alguns fatores como pH, concentração do coagulante, agitação e o tempo de sedimentação. No Brasil, o coagulante mais utilizado é o sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$) por ele não provocar grandes alterações no pH do efluente mantendo-se na faixa da neutralidade e ser eficaz na remoção de partículas coloidais e substâncias orgânicas. (SILVA et al, 2019)

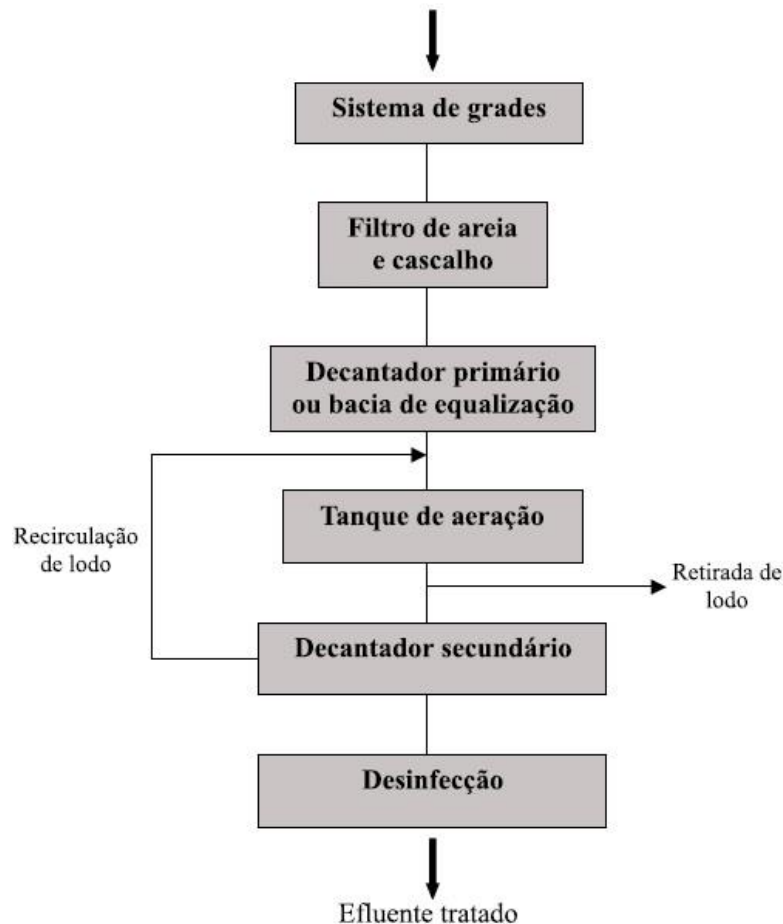
Entre os métodos biológicos, os sistemas de lodos ativados são utilizados com maior frequência. Este processo consiste na agitação dos efluentes na presença de microrganismos e ar, durante o tempo necessário para metabolizar e flocular uma grande parte da matéria orgânica. Infelizmente, o processo apresenta o grande inconveniente de ser bastante susceptível à composição do efluente (cargas de choque), além de produzir um grande volume de lodo. (KUNZ et al, 2002)

Freire et al (2000) afirma que o tratamento por lodos ativados talvez seja o sistema de biorremediação mais versátil e eficiente. Este sistema opera com pouco substrato auxiliar e é capaz de remover a toxicidade crônica e aguda, com um menor tempo de aeração. No lodo existe muitas espécies bacterianas, além de fungos, protozoários e outros microrganismos, que podem favorecer a redução da matéria orgânica carbonácea.

Na Figura 6, é possível visualizar um esquema simplificado de uma estação de tratamento por lodo ativado, que consiste basicamente de um tanque de aeração, onde ocorre a oxidação da matéria orgânica, e de um tanque de sedimentação (decantador secundário), este

tanque é utilizado para sedimentação dos flocos microbiais, produzidos durante a fase de oxidação no tanque de aeração. (FREIRE et al, 2000)

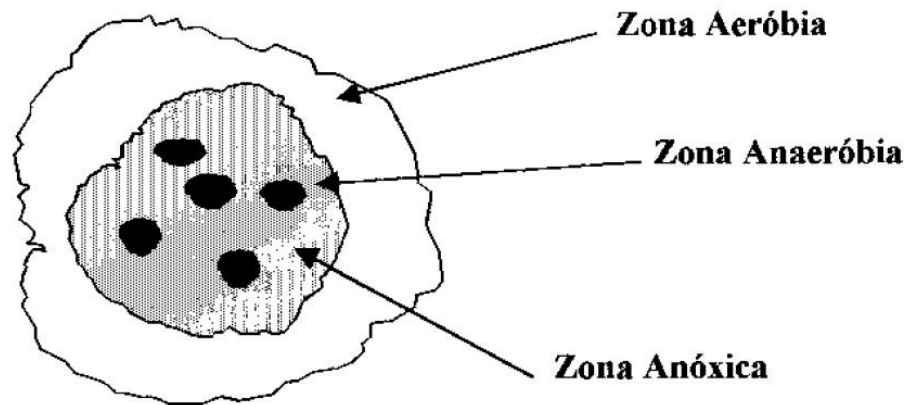
Figura 6 – Esquema de uma estação de tratamento de efluentes utilizando lodo ativado.



Fonte: KUNZ et al (2002).

Os flocos do lodo ativado (Figura 7) são constituídos, principalmente, de bactérias. Com a diminuição do nível de oxigênio no floco, que ocorre na fase de sedimentação, a atividade das bactérias aeróbias decresce. Como a região interna do floco é relativamente grande, a difusão do oxigênio é pequena, o que favorece o desenvolvimento de bactérias anaeróbias como as metanogênicas. Assim, o processo por lodo ativado pode desenvolver um tratamento mais apurado, combinando reações aeróbias e anaeróbias. (FREIRE et al, 2000)

Figura 7 – Distribuição de oxigênio em um floco de lodo ativado.



Fonte: FREIRE et al (2000).

Uma característica importante do processo por lodo ativado é a recirculação de uma grande proporção de biomassa. Isto faz com que muitos microrganismos permaneçam por um longo tempo de residência no meio, o que facilita o processo de oxidação dos compostos orgânicos, diminuindo o tempo de retenção do efluente. E os principais inconvenientes associados ao tratamento biológico com lodo ativado, são o alto custo de implementação e a formação de grandes quantidades de lodo (biomassa). (FREIRE et al, 2000)

Segundo Kunz et al (2002), na indústria de alimentos, os processos de tratamento estão fundamentados na operação de sistemas físico-químicos de precipitação-coagulação, seguidos de tratamento biológico via sistema de lodos ativados. O sistema apresenta uma eficiência relativamente alta, permitindo a remoção de aproximadamente 80% da carga de corantes. Infelizmente, o problema relacionado com o acúmulo de lodo torna-se crítico, uma vez que o teor de corantes adsorvido é bastante elevado, impedindo qualquer possibilidade de reaproveitamento.

Diante disso, alguns parâmetros são essenciais para a avaliação e controle dos efluentes gerados, como a Demanda Química de Oxigênio, Oxigênio Dissolvido, Temperatura, Sólidos Sedimentáveis, pH e cor para os efluentes gerados. Realizar análises periódicas destes critérios previne problemas relacionados ao tratamento inadequado dos efluentes e nos permite identificar os locais de falha no tratamento das águas residuárias e, assim, corrigir e/ou melhorar o(s) método(s) utilizado(s).

2.5.1 Oxigênio Dissolvido (OD)

A quantidade de oxigênio dissolvido nos corpos de água é um indicador primário da qualidade da água. Quando a concentração de oxigênio dissolvido na água cai abaixo de valores aceitáveis, pode afetar significativamente a saúde do ecossistema aquático e impedir o uso da água para diferentes fins (por exemplo, abastecimento doméstico). A produção fotossintética e a reaeração atmosférica contribuem para o aumento da concentração de oxigênio na água, enquanto o consumo de oxigênio para a decomposição da matéria orgânica e a respiração realizada pelo ecossistema aquático colaboram para a diminuição da quantidade de oxigênio dissolvido na água. (JANZEN; SCHULZ; LAMON, 2008)

A metodologia de determinação da concentração de oxigênio dissolvido (OD) em corpos d'água pode ser realizada pelo método eletrométrico e/ou o método químico. No método eletrométrico, empregam-se aparelhos chamados de oxímetros ou medidores de OD, em que a sonda do eletrodo possui uma membrana que adsorve seletivamente o oxigênio, tendo por base o seu raio de difusão molecular. Já o método químico, também denominado de Winkler (iodometria), consiste na utilização de sulfato manganoso ($MnSO_4$) em meio alcalino. O manganês (Mn) presente na solução em meio alcalino quando presente a OD precipita formando uma coloração marrom. Caso o precipitado tenha coloração branca, indica ausência de oxigênio dissolvido. Após a fixação do oxigênio, caso exista OD na solução de amostra, ocorrerá posteriormente à adição de iodeto de potássio (KI) a ácido sulfúrico (H_2SO_4), para liberação de iodo elementar, que será titulado por uma solução de tiosulfato de sódio ($Na_2S_2O_3$). (MELO JÚNIOR et al, 2019)

2.5.2 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

O teste da Demanda Química de Oxigênio mede o consumo de oxigênio ocorrido durante a oxidação química da matéria orgânica. Este parâmetro indica indiretamente a concentração de matéria orgânica presente. (VALENTE; PADILHA; SILVA, 1997)

A DBO está relacionada a uma oxidação bioquímica da matéria orgânica, realizada somente por microrganismos. Já a DQO corresponde a oxidação química da matéria orgânica, obtida através de um forte oxidante (dicromato de potássio) em meio ácido. (VON SPERLING, 1996)

Este teste leva apenas de 2 a 3 horas para ser realizado e seu resultado nos dá uma estimativa do oxigênio que é preciso para estabilizar a matéria carbonácea. E não é afetado

pela nitrificação. Uma desvantagem é que tanto a porção biodegradável quanto a inerte são oxidadas, isto é, a quantidade de oxigênio é superestimada. (VON SPERLING, 1996)

2.5.3 Temperatura

A temperatura tem influência direta nas reações químicas e biológicas, acelerando ou diminuindo sua velocidade. Elevações de temperatura diminuem a solubilidade dos gases, por exemplo, oxigênio dissolvido; assim como causam aumento na taxa de transferência de gases, o que pode gerar odor desagradável. Este parâmetro costuma ser avaliado na caracterização de corpos d'água e das águas residuárias brutas. Esta deve proporcionar condições para as reações bioquímicas de remoção dos poluentes. Microrganismos são muito sensíveis a variações bruscas de temperatura. (VON SPERLING, 1996)

2.5.4 Potencial Hidrogeniônico

Ele representa a concentração de íons hidrogênio H^+ em escala anti-logarítmica indicando acidez, neutralidade ou alcalinidade da substância mensurada. É importante em diversas etapas do tratamento de água. Valores de pH distante do ponto neutro podem afetar o ambiente aquático e os microrganismos responsáveis pelo tratamento biológico dos esgotos. É repetidamente utilizado como parâmetro de monitoramento em estações de tratamento de efluentes. (VON SPERLING, 1996)

2.5.5 Cor

A cor em águas residuárias pode ter origem devido a decomposição da matéria orgânica ou devido a resíduos industriais como tinturarias, indústrias de alimentos, têxteis, produção de papel. Este indicador não representa riscos à saúde, entretanto a confiabilidade destas águas é posta em prova. A cloração da água contendo matéria orgânica dissolvida responsável pela cor pode gerar produtos potencialmente cancerígenos como os trihalometanos. (VON SPERLING, 1996)

Muitos estudos mostram que a remoção de corantes não é efetiva em tratamentos convencionais de efluentes. Usualmente, os processos para remoção de corantes empregam insumos que levam a formação de lodo. Os processos de tratamento físico somente transferem a cor da fase líquida para a fase sólida, necessitando de tratamento posterior. (BENINCA, 2012)

2.6 LEGISLAÇÃO VIGENTE

O órgão responsável por estabelecer as condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes é o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução N°430, de 13 de maio de 2011. Este órgão determina que efluentes de qualquer fonte poluidora poderão ser lançados diretamente nos cursos d'água, desde que seja realizado tratamento adequado, isto é, obedecendo aos critérios dispostos na Resolução N°430 e outras aplicáveis como a Resolução N°357, de 17 de março de 2005, do CONAMA.

Não é definida a quantidade máxima de efluente que um corpo receptor pode receber. Desde que não comprometa a qualidade da água. Em casos específicos e/ou temporário, o órgão ambiental competente, pode permitir o lançamento de águas residuárias que não estejam de acordo a resolução, entretanto deve ser realizado um estudo de impacto ambiental.

De acordo com a Resolução n°430 do CONAMA, as condições de lançamento de efluentes são (BRASIL, 2011):

- pH entre 5 a 9;
- Temperatura inferior a 40°C e a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;
- Materiais sedimentáveis até 1mL/L em teste de 1 hora em cone *Inmhoff*;
- A vazão máxima diária é de até 1,5 vezes maior que a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor;
- Até 20 mg/L de óleos minerais, até 50 mg/L de óleos vegetais e gorduras animais e ausência de materiais flutuantes;
- Remoção mínima de 60% de DBO (5 dias a 20°C).

Os demais parâmetros estão descritos nas Tabela 1 e 2 a seguir.

Tabela 1 – Padrões dos parâmetros inorgânicos para o lançamento de efluentes.

Parâmetros inorgânicos	Valores máximos (mg/L)
Arsênio total	0,5
Bário total	5,0
Boro total	5,0
Cádmio total	0,2
Chumbo total	0,5
Cianeto total	1,0
Cianeto livre	0,2
Cobre dissolvido	1,0
Cromo hexavalente	0,1
Cromo trivalente	1,0
Estanho total	4,0
Ferro dissolvido	15,0
Fluoreto total	10,0
Manganês dissolvido	1,0
Mercúrio total	0,01
Níquel total	2,0
Nitrogênio amoniacal total	20
Prata total	0,1
Selênio Total	0,30
Sulfeto	1,0
Zinco total	5,0

Fonte: BRASIL (2011).

Tabela 2 - Padrões dos parâmetros orgânicos para o lançamento de efluentes.

Parâmetros Orgânicos	Valores máximos (mg/L)
Benzeno	1,2
Clorofórmio	1,0
Dicloroetano	1,0
Estireno	0,07
Etilbenzeno	0,84
Fenóis totais	0,5
Tetracloroeto de carbono	1,0
Tricloroetano	1,0
Tolueno	1,2
Xileno	1,6

Fonte: BRASIL (2011).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

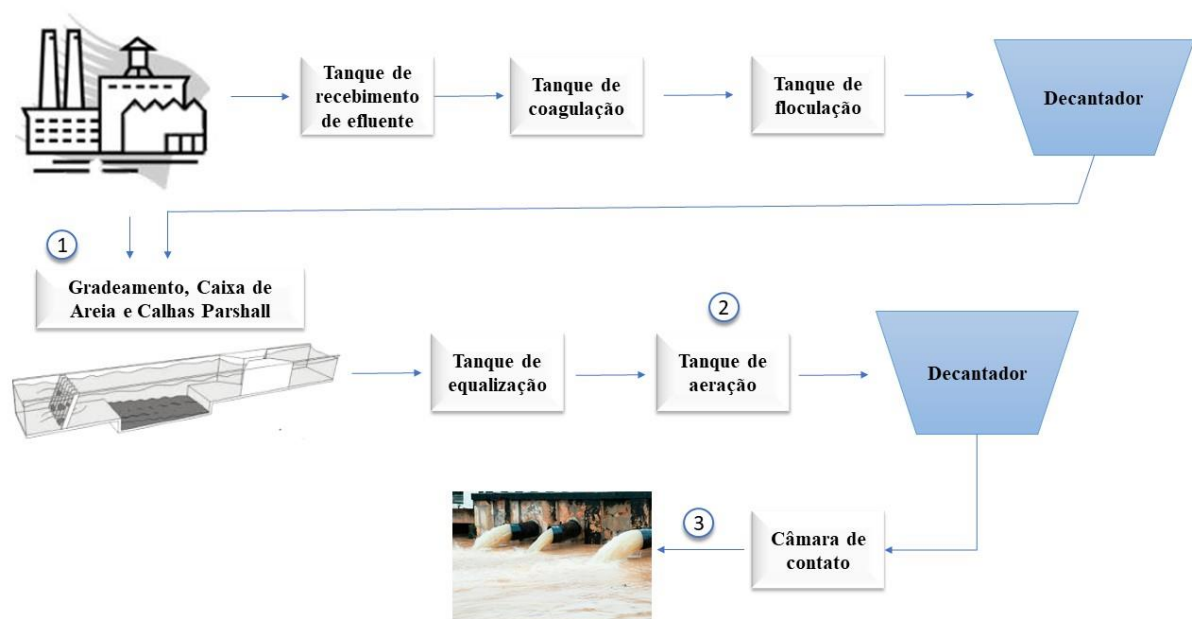
3.1 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

A Estação de Tratamento de Efluentes, na qual o trabalho foi desenvolvido, está localizada em uma indústria de alimentos do segmento de aditivos alimentares localizada na cidade de Manaus, Amazonas. Nesta ETE, utiliza-se o sistema físico-químico de precipitação-coagulação na ETE primária, seguido de tratamento biológico via sistema de lodos ativados na ETE secundária.

As águas residuárias dos processos de produção podem seguir por duas vias dependendo das suas características, como pode ser visualizado na Figura 8. Na ETE primária, os efluentes contendo corantes recebem tratamento, inicialmente, com a adição de um agente coagulante e, em seguida, o efluente é transferido para um decantador onde permanece por um tempo mínimo de 10 horas. Após a separação, a água clarificada é enviada para ETE secundária. Nesta etapa do tratamento, o objetivo é a remoção da matéria orgânica presente nos rejeitos industriais.

Caso o efluente não seja oriundo de processos de fabricação de corantes, ele será destinado diretamente para a ETE secundária.

Figura 8 – Fluxograma simplificado do funcionamento da Estação de Tratamento de Efluentes da empresa do Polo Industrial de Manaus com a identificação dos pontos de coleta de amostras.



Fonte: Própria.

A Figura 8 representa, simplificada, a estação de tratamento de efluentes da empresa na qual o trabalho foi desenvolvido. Nesta imagem, estão identificados os pontos 1, 2 e 3; o ponto 1 é a entrada da ETE secundária, o ponto 2 é o tanque de aeração e o ponto 3 é a saída da ETE secundária. Estes pontos identificados na Figura 8, são os pontos de coleta de efluente para análise.

3.2 CONDIÇÕES DE COLETA DE AMOSTRAS

A coleta das amostras e a realização das análises ocorreram nos meses de agosto a novembro de 2019. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Controle de Qualidade da fábrica. Durante esse período, foram analisados os parâmetros: demanda química de oxigênio, oxigênio dissolvido, temperatura, pH, sólidos sedimentáveis e cor. As amostras foram coletadas à temperatura ambiente em quantidade suficiente para realizar todos os testes.

Para verificar a eficiência do tratamento dos efluentes e para comparar os resultados obtidos com o histórico da empresa, foram escolhidos três pontos de coleta, localizados no início, no meio e na final do sistema de tratamento. Os pontos de coleta estão identificados na Figura 8 como Ponto 1 – Entrada, Ponto 2 – Tanque de aeração e Ponto 3 – Saída da estação de tratamento de efluentes secundária. Todos os Equipamentos de Proteção Individual (EPI) necessários foram utilizados durante as tomadas de amostras.

A periodicidade dos ensaios, a quantidade de replicatas e os pontos de coletas nos quais os testes foram realizados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Ensaios realizados, pontos de coleta nos quais os parâmetros foram monitorados, periodicidade dos testes e quantidade de replicatas das análises.

Ensaios	Ponto de coleta	Frequência	Replicatas
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	Ponto 1 e Ponto 3	Mensal	Duplicata
Cor	Ponto 3	Mensal	Triplicata
Oxigênio Dissolvido (OD)	Ponto 1, Ponto 2 e Ponto 3	Semanal	Triplicata
Sólidos Sedimentáveis	Ponto 3	Semanal	Triplicata
Temperatura	Ponto 3	Diária	Triplicata
pH	Ponto 1, Ponto 2 e Ponto 3	Diária	Triplicata

Fonte: Própria.

As análises laboratoriais foram realizadas em conformidade com as recomendações da American Public Health Association (1999).

3.3 PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS

3.3.1 Determinação da Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Para a análise de DQO, o ensaio foi executado conforme o método 5220 D, descrito em *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, utilizando o kit COD Cell Test Method: photometric 25 – 1500 mg/L Spectroquant® da Merck-Millipore e foram seguidas as orientações do fabricante. (APHA, 1999)

Dessa forma, foram adicionados 3 mL de amostra em uma célula de teste utilizando uma pipeta graduada de 5 mL com o auxílio de uma pera. O frasco foi fechado e o conteúdo foi misturado. Essa reação foi levada a um Termoreator TR420 Merck-Millipore pré-aquecido à 148°C por 120 minutos. Na sequência, a amostra foi retirada do termoreator e deixada um suporte até que alcançasse a temperatura ambiente. Após 10 minutos, a célula foi agitada novamente e deixada no suporte. Por fim, a amostra foi mensurada no fotômetro Spectroquant® Nova 60 no comprimento de onda de 605 nm.

De acordo com o manual do fabricante, o método 023, utilizado neste ensaio, está previamente programado no fotômetro e as medidas podem ser realizadas sem mais ajustes (MERCK, 2014). Os valores de porcentagem de redução da DQO foram determinados através de comparação entre os valores na entrada e na saída dos resultados encontrados.

3.3.2 Determinação do Oxigênio Dissolvido (OD)

A análise de OD foi realizada utilizando um Medidor de oxigênio dissolvido FiveGo™ F4 Mettler Toledo, conforme o método 4500 O-G descrito em *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1999). O equipamento foi calibrado contra o ar, conforme o procedimento de calibração do fabricante. O eletrodo foi colocado em contato com a amostra e o resultado exibido no instrumento foi anotado.

3.3.3 Determinação da Temperatura

A temperatura foi determinada na saída do efluente utilizando um termômetro de mercúrio Incoterm com faixa de trabalho de 0 a 110°C. O termômetro foi colocado na amostra e o resultado exibido foi anotado.

3.3.4 Determinação do pH

O pH foi analisado com o pHmetro digital Tecnal TR-107 PT-100. O eletrodo foi colocado em contato com a amostra e o valor do pH foi anotado.

3.3.5 Determinação da Quantidade de Sólidos Sedimentáveis

A avaliação da quantidade de sólidos sedimentáveis foi determinada conforme o método 2540 F descrito em *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. Adicionou-se 1 litro da amostra em cone *Inmhoff*, que permaneceu em repouso. Após 45 minutos, o cone foi rotacionado suavemente a 360°. Após o tempo de 60 minutos, a leitura final foi realizada (posição da interface lodo/líquido sobrenadante) e anotou-se o resultado em mL/L. (APHA, 1999)

3.3.6 Determinação da Cor Aparente

A determinação da cor foi realizada pelo método de comparação visual conforme descrito na metodologia 2120 B disposta em *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. O padrão com 500 unidades de cor foi preparado dissolvendo 1,246 g de Cloroplatinato de potássio (K_2PtCl_6), 1,00 g de Cloreto de cobalto cristalizado ($CoCl_2 \cdot 6H_2O$) e 100 mL de ácido clorídrico concentrado (HCl) com água destilada até completar o volume de 1000 mL em um balão volumétrico. A partir da solução padrão, foram preparados os padrões contendo unidades de cor 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60 e 70. Para a preparação dos padrões, foi diluído 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5, 3,0, 3,5, 4,0, 4,5, 5,0, 6,0 e 7,0, respectivamente. (APHA, 1999)

A cor da amostra foi observada, verticalmente para baixo, após preencher um tubo nessler contendo 50 mL de amostra e comparando-a com os padrões. As unidades de cor foram calculadas conforme a Equação 01. (APHA, 1999)

$$Color\ units = \frac{A \times 50}{B} \quad (01)$$

Onde, A é a cor estimada de uma amostra diluída e B é a quantidade (mL) de amostra utilizada na diluição.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, estão apresentados os resultados do monitoramento e avaliação dos parâmetros da estação de tratamento de efluentes realizados no efluente da indústria de alimentos estudada. Todas as análises dos efluentes tratados e seus respectivos resultados foram confrontados com os padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos, balizados pela Resolução do CONAMA n°430 de 13 de maio de 2011.

4.1 ANÁLISES DE pH

O parâmetro do pH indica o caráter ácido ou básico dos efluentes e indiretamente indica a produção de ácidos pelos microrganismos presentes no local, devido à presença de matéria orgânica em abundância, como é o caso da indústria alimentícia, caso não ocorra pressão osmótica desfavorável para o crescimento microbiano. (TONI; IMAMURA; LIMA, 2014)

Os resultados dos valores médios de pH encontrados nos três pontos de coleta, o desvio padrão, a variância, o maior e o menor valor do pH analisados da estação de tratamento de efluentes estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados médios de pH encontrados nos três pontos de coleta no período de agosto a novembro de 2019 na ETE estudada.

Pontos de coleta	pH médio	Variância (σ^2)	Maior pH	Menor pH
Entrada - Ponto 1	7,69 \pm 0,60	0,36	8,81	5,79
Tanque de aeração - Ponto 2	7,34 \pm 0,40	0,16	7,96	6,19
Saída - Ponto 3	7,68 \pm 0,45	0,21	10,32	6,99

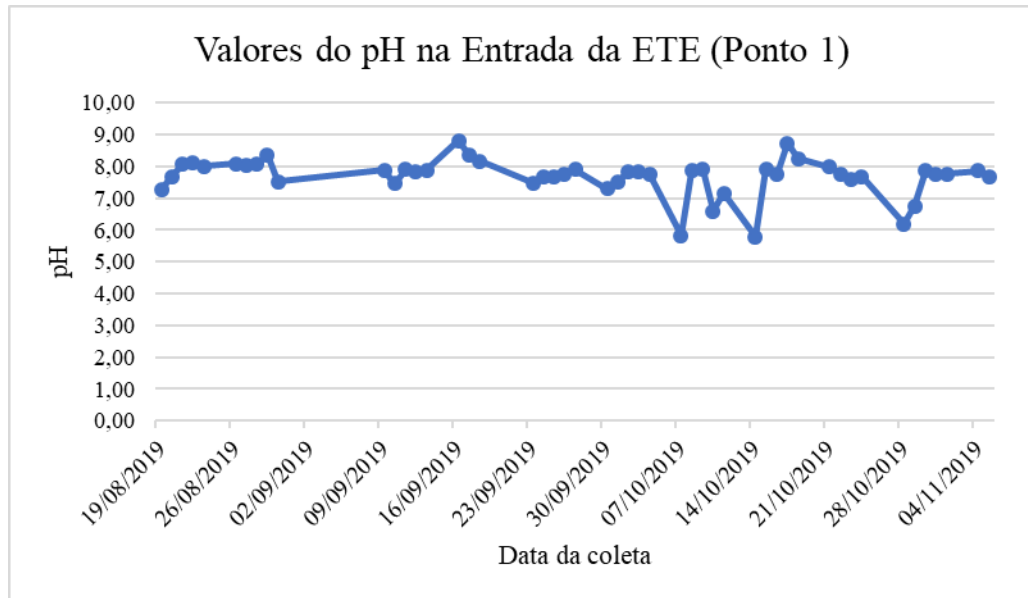
Fonte: Própria.

As análises de pH foram bastante satisfatórias. Os resultados mantiveram-se dentro da faixa de 5,0 a 9,0 requerida pela Resolução do CONAMA n°430 de 13 de maio de 2011 para o lançamento do efluente em corpo hídrico. Além disso, nota-se que os dados obtidos, estão muito próximos ao valor da neutralidade durante o período monitorado, que é considerado o ideal. E, comparando estes resultados com o registro de lançamento de efluentes mantido pela empresa, observa-se que os valores são muito semelhantes.

Observando a Tabela 4, é possível visualizar que o maior valor do pH obtido no ponto 3 foi de 10,32. Este resultado, que não está dentro da faixa especificada pela legislação, pode ter sido ocasionado devido a uma superdosagem da solução de hipoclorito de sódio utilizada para a cloração do efluente tratado, visto que o valor do pH dessa solução apresenta valores

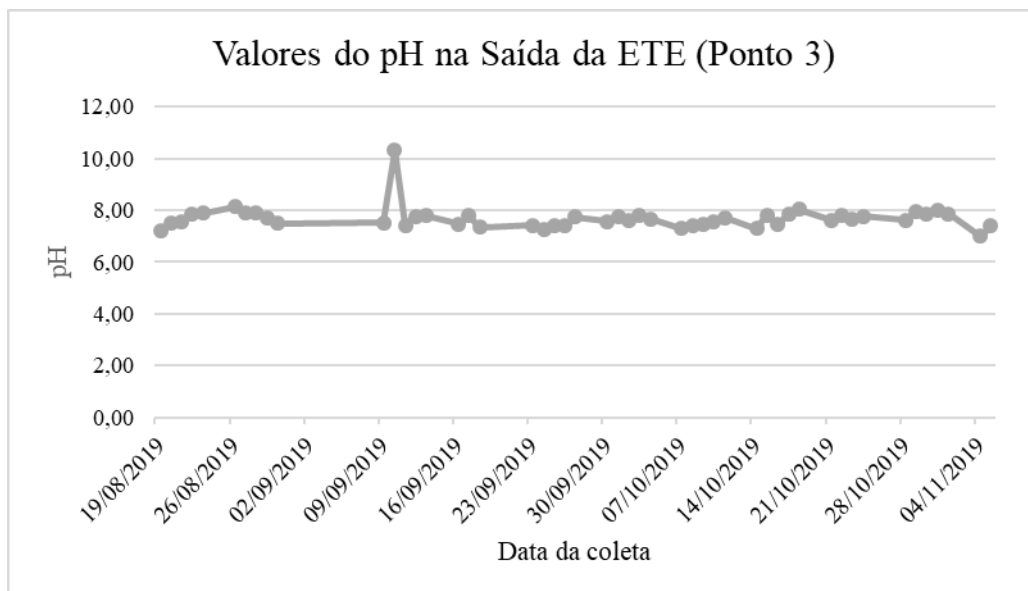
próximos a 11,0. Nas Figuras 9 e 10, verifica-se a conformidade do efluente na entrada e na saída da ETE. Na Figura 10, é possível perceber o maior valor de pH atingido durante o monitoramento e a constância dos resultados.

Figura 9 – Resultados médios obtidos com as análises de monitoramento da ETE para o parâmetro pH no ponto de coleta 1.



Fonte: Própria.

Figura 10 – Resultados médios obtidos com as análises de monitoramento da ETE para o parâmetro pH no ponto de coleta 3.



Fonte: Própria.

Sales, Pelegrini e Pelegrini (2006), ao realizarem um estudo sobre tratamento de efluente industrial contendo corantes na indústria têxtil, encontraram resultados de pH iguais a

8,95. Já Toni, Imamura e Lima (2014), ao caracterizarem os efluentes provenientes de uma indústria alimentícia do segmento de doces, obtiveram valores de pH entre 4,12 e 4,78.

4.2 ANÁLISES DE TEMPERATURA

A temperatura média obtida no ponto de coleta 3 foi de 30,6°C, este fato pode ser justificado devido a dois fatores: a temperatura ambiente na cidade de Manaus nos meses de agosto a novembro ser em média de 28°C e a temperatura do efluente na entrada da ETE ser maior que 40°C.

A Tabela 5 apresenta o resultado médio, o desvio padrão, a variância, o maior e o menor valor obtidos no ponto de coleta 3 para o parâmetro temperatura.

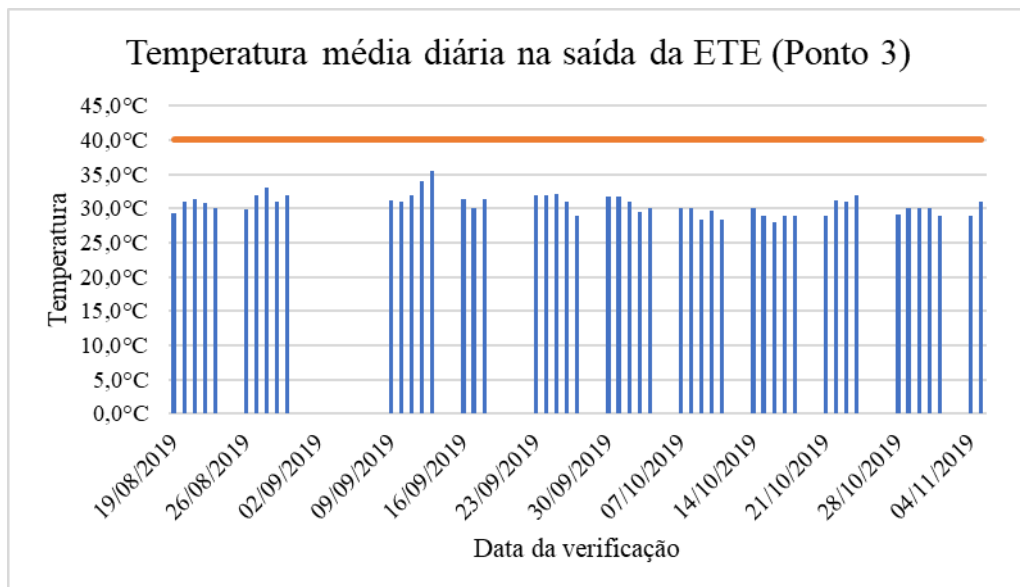
Tabela 5 – Resultado médio de temperatura encontrado no ponto de coleta 3 no período de agosto a novembro de 2019 na ETE estudada.

Parâmetro	Valor médio (°C)	Variância (°C ²)	Maior valor (°C)	Menor valor (°C)
Temperatura	30,6 ± 1,5	2,2	35,5	28,0

Fonte: Própria.

Na Figura 11, verifica-se a concordância dos resultados médios diários da temperatura no ponto de coleta localizado na saída da ETE com a legislação vigente.

Figura 11 – Temperatura média encontrada com as análises de monitoramento no ponto de coleta 3 da ETE estudada.



Fonte: Própria.

Segundo a Resolução do CONAMA n°430 de 13 de maio de 2011, a temperatura máxima permitida para o lançamento do efluente tratado é de 40°C, temperatura esta que pode auxiliar na diminuição do crescimento microbiano. De acordo com o registro de

lançamento de efluentes mantido pela empresa, a temperatura no ponto de coleta 3 nunca ultrapassou o valor de 40°C.

As temperaturas encontradas durante o monitoramento variaram entre 28,0 e 35,5°C. Esses resultados demonstram a predominância de temperaturas na faixa mesofílica.

A temperatura exerce influência direta na realização das reações bioquímicas e solubilidade de oxigênio (O₂), reduzindo a solubilidade do O₂ e aumentando as reações bioquímicas com o seu aumento. Para os processos biológicos, as temperaturas ótimas estão situadas na faixa entre 25 e 35°C. Temperaturas demasiadamente elevadas são indesejáveis, provocando o crescimento de plantas e fungos aquáticos. (METCALF; EDDY, 2015)

Noriega e España (2005), ao realizarem a caracterização física, química e microbiológica dos efluentes de fábricas processadoras de pescado e matadouros, encontraram baixos valores de temperatura (<14°C e <13°C), justificando estes valores devido à temperatura utilizada na elaboração do pescado ser, geralmente, em torno de 4°C. Mostrando, assim, que o tipo de processo tem influência significativa no parâmetro avaliado.

4.3 ANÁLISES DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO

Na Tabela 6, estão demonstrados os resultados obtidos para os parâmetros de oxigênio dissolvido durante o estudo.

Tabela 6 – Resultados médios obtidos para o parâmetro oxigênio dissolvido nos pontos de coleta localizados na entrada (Ponto 1), tanque de aeração (Ponto 2) e saída (Ponto 3) no período de agosto a novembro de 2019 na ETE estudada.

Data da análise	Ponto 1 (mg.L⁻¹)	Ponto 2 (mg.L⁻¹)	Ponto 3 (mg.L⁻¹)
19/08/2019	0,99 ± 0,02	1,22 ± 0,08	2,05 ± 0,03
27/08/2019	0,81 ± 0,09	0,12 ± 0,01	0,29 ± 0,07
09/09/2019	0,56 ± 0,05	0,12 ± 0,02	0,11 ± 0,01
16/09/2019	1,47 ± 0,21	0,11 ± 0,01	0,14 ± 0,02
23/09/2019	0,75 ± 0,06	0,13 ± 0,02	0,10 ± 0,01
30/09/2019	0,98 ± 0,01	0,14 ± 0,01	1,38 ± 0,07
07/10/2019	4,03 ± 0,02	1,72 ± 0,14	3,11 ± 0,05
14/10/2019	0,80 ± 0,01	0,21 ± 0,01	0,26 ± 0,02
21/10/2019	3,14 ± 0,19	0,59 ± 0,02	0,42 ± 0,04
29/10/2019	0,71 ± 0,01	0,30 ± 0,03	0,98 ± 0,01
05/11/2019	4,99 ± 0,23	0,20 ± 0,02	1,42 ± 0,01

Fonte: Própria.

Analisando a Tabela 6, verifica-se que houve um aumento na concentração de OD em relação à concentração de entrada recebida nos dias 19/08/2019 e 30/09/2019, enquanto nos demais dias houve uma redução na concentração de OD. Isso mostra uma deficiência no processo de aeração, o que não permite uma melhora considerável da quantidade de OD nas águas que retornarão ao meio ambiente.

Segundo Von Sperling (1996), em termos dos corpos d'água, a solubilidade do OD varia com a altitude e temperatura. Ao nível do mar, na temperatura de 20°C, a concentração de saturação é igual a 9,2 mg.L⁻¹. Assim, valores de OD superiores à saturação são indicativos da presença de algas, valores de OD bem inferiores à saturação são indicativos da presença de matéria orgânica. Dessa forma, corpos d'água com valores de OD em torno de 4-5 mg.L⁻¹ os peixes mais exigentes morrem, quando esse valor cai para 2 mg.L⁻¹, todos os peixes morrem e quando o valor de OD iguala-se a 0 mg.L⁻¹ tem-se condições de anaerobiose.

Von Sperling (1996) também afirma que é necessário um teor mínimo de oxigênio dissolvido igual a 1 mg.L⁻¹ nos reatores dos sistemas aeróbios. Assim, ao comparar os resultados obtidos no ponto de coleta 2, que se referem ao tanque de aeração, nota-se que este valor mínimo só foi alcançado nos dias 19/08/2019 e 07/10/2019.

Palhares e Calijuri (2007), ao estudarem amostras de efluente provenientes de suinícolas, obtiveram resultados de oxigênio dissolvido de 1,8 mg.L⁻¹ e 4,7 mg.L⁻¹. Ambos os resultados se encontraram maiores que a média de 0,93 mg.L⁻¹, para o ponto de coleta 3, no atual estudo. Vários fatores podem ter ocasionado esta diferença, mas, principalmente, as características do efluente. O efluente pesquisado neste trabalho é proveniente de uma indústria alimentícia.

Não é possível comparar os resultados obtidos para este ensaio com a Resolução do CONAMA n°430 de 13 de maio de 2011, pois esta legislação não especifica a quantidade mínima ou máxima de OD permitida no lançamento a um corpo hídrico.

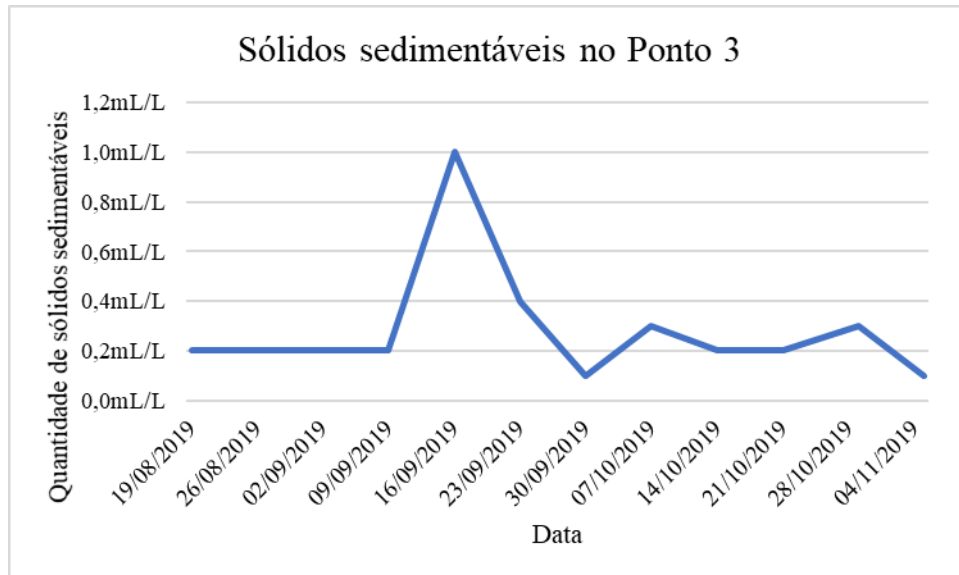
Nos registros de monitoramento da empresa, o parâmetro OD é monitorado unicamente no ponto de coleta 2 e os resultados obtidos não foram superiores a 2 mg.L⁻¹.

4.4 ANÁLISES DE SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS

Todos os valores obtidos para os sólidos sedimentáveis no monitoramento do efluente tratado apresentaram valores menores que o limite máximo de lançamento preconizado pela Resolução do CONAMA n°430 de 13 de maio de 2011, que diz que deve ser de no máximo 1,0 mL.L⁻¹. De acordo com o registro de lançamento de efluentes mantido pela empresa, a quantidade de sólidos sedimentáveis no ponto de coleta 3 nunca ultrapassou o valor

estabelecido pela legislação. Os valores obtidos de sólidos sedimentáveis para o efluente tratado estão exibidos na Figura 12.

Figura 12 – Quantidade de sólidos sedimentáveis encontrada com as análises de monitoramento no ponto de coleta 3 no período de agosto a novembro de 2019 na ETE estudada.



Fonte: Própria.

Na análise do dia 16/09/2019, foi obtido um resultado de $1,0 \text{ mL.L}^{-1}$ que pode ter sido uma situação pontual, visto que em todos os outros monitoramentos o valor ficou muito próximo ao valor médio. A quantidade de sólidos sedimentáveis média durante o monitoramento da ETE estudada foi de $0,3 \text{ mL.L}^{-1}$.

Martins (2015), ao avaliar a eficiência da estação de tratamento de efluentes de uma indústria de beneficiamento de arroz, obteve resultados de $0,1 \text{ mL.L}^{-1}$. Já Silva (2018), ao monitorar a ETE e avaliar a tratabilidade anaeróbia do efluente de uma indústria de bebidas, alcançou resultado médio de $0,38 \text{ mL.L}^{-1}$.

4.5 ANÁLISES DA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO

A análise dos dados do monitoramento da ETE mostrou valores médios de DQO de 671 mg.L^{-1} , para as análises realizadas com as amostras coletadas no ponto 1, e $127,3 \text{ mg.L}^{-1}$, para as análises realizadas com as amostras coletadas no ponto 3, com uma eficiência média de remoção de 81,0%.

Apesar de as legislações brasileiras vigentes não estabelecerem uma remoção mínima da carga orgânica em DQO para o lançamento de efluente de qualquer fonte poluidora em corpos receptores, a ETE estudada apresenta desempenho satisfatório com alta redução de

matéria orgânica. Os valores obtidos nas análises do efluente bruto (Ponto 1) e do efluente tratado (Ponto 3) podem ser observados na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados médios obtidos para o parâmetro DQO nos pontos de coleta localizados na entrada (Ponto 1) e saída (Ponto 3) no período de agosto a novembro de 2019 na ETE estudada.

Data da análise	Ponto 1 (mg.L ⁻¹)	Ponto 3 (mg.L ⁻¹)	Eficiência
09/09/2019	590,7 ± 24,3	119,4 ± 5,8	79,8%
14/10/2019	593,3 ± 24,0	44,6 ± 11,2	92,5%
05/11/2019	829,0 ± 18,9	218,0 ± 35,4	73,7%

Fonte: Própria.

Na Figura 13, apresentada abaixo, observa-se uma célula para análise de DQO sem amostra, localizada mais à esquerda; uma célula, localizada ao meio, com a reação referente a uma amostra coletada no ponto 1; e, a última célula, localizada mais à direita, com a reação referente a uma amostra coletada no ponto 3.

Figura 13 – Células de análise de DQO: a primeira, mais a esquerda, sem amostra; a segunda, ao meio, com a reação referente a uma amostra coletada no início do tratamento e a terceira, mais a direita, com a reação referente a uma amostra coletada no final do tratamento.



Fonte: Própria.

Comparando os resultados obtidos com o histórico da empresa, o parâmetro de DQO mostrou uma não homogeneidade quanto a distribuição dos seus dados. Esse tipo de

comportamento reflete a variação da carga orgânica aplicada ao sistema, em razão da produção intermitente da fábrica. A variabilidade de produção no decorrer do ano, pode ter contribuído para um maior ou menor volume do efluente do processo produtivo dos aditivos produzidos pela indústria estudada.

Rocha et al (2016), ao estudar uma estação de tratamento de efluentes com sistema de lodos ativados em uma agroindústria, obteve resultados de DQO na entrada da ETE entre 470 mg.L⁻¹ a 891 mg.L⁻¹ e na saída final entre 19 mg.L⁻¹ a 74 mg.L⁻¹. E a eficiência geral de remoção de DQO ficou em torno de 95,56%.

Salles, Pelegrini e Pelegrini (2006), ao desenvolverem um trabalho sobre a eficiência do processo eletroquímico no tratamento de efluentes têxteis após este efluente passar por tratamento biológico por lodo ativado, alcançaram resultados de 169 mg.L⁻¹ do efluente *in natura* (tratado por lodo ativado) e 53 mg.L⁻¹ para o efluente pós-tratamento eletroquímico com a taxa de decaimento da matéria orgânica de 67%.

4.6 ANÁLISES DE COR APARENTE

Ao realizar a comparação visual com os padrões de cor, os resultados obtidos, para o parâmetro cor aparente nas amostras, estão descritos na Tabela 8.

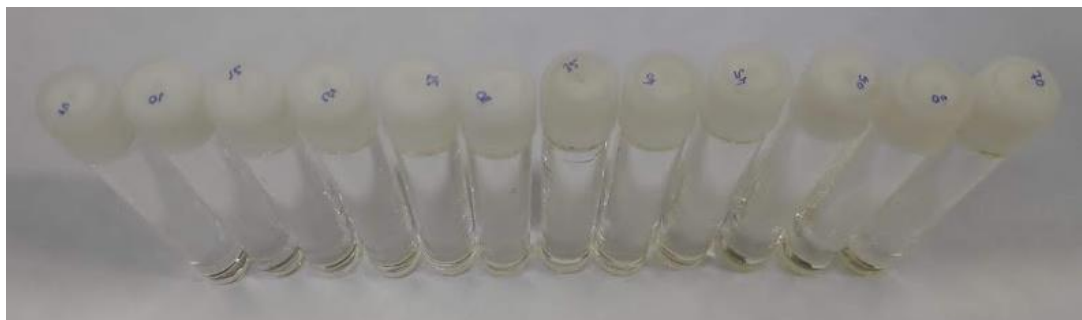
Tabela 8 – Resultados obtidos para o parâmetro cor aparente no ponto de coleta localizado na saída da ETE estudada (ponto 3) no período de agosto a novembro de 2019.

Data da análise	Cor aparente (uH)
09/09/2019	50
14/10/2019	100
05/11/2019	25

Fonte: Própria.

Os padrões de cor utilizados podem ser visualizados na Figura 14.

Figura 14 – Padrões de unidades de cor (uH) 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60 e 70.



Fonte: Própria.

A cor aparente é composta de substâncias dissolvidas (corantes naturais ou artificiais), assim, sugere-se que o maior valor obtido, no mês de outubro, seja devido a produção de um dos tipos de coloríficos alimentares produzidos pela empresa a época da análise. Em contrapartida, a análise realizada no mês de novembro obteve o menor valor em relação ao parâmetro. Este fato pode ser justificado, pois, até o dia da análise, não houve produção de compostos contendo corantes.

De acordo com a Resolução do CONAMA nº357 de 17 de março de 2005, a cor verdadeira para o padrão de águas classe 2 é de, no máximo, 75 uH. Entretanto, nesse estudo o ensaio realizado foi o de cor aparente. Assim, não é possível afirmar se as águas residuárias desta ETE estão fora do padrão permitido pela legislação.

A empresa não realiza análises de cor periodicamente, impossibilitando, assim, comparações com os resultados obtidos.

Toni, Imamura e Lima (2014), ao caracterizarem os efluentes gerados em uma indústria alimentícia, encontraram valores de iguais a 250 uH, 1105 uH, 1125 uH e 2452 uH, sendo estes resultados bem maiores que os obtidos neste estudo. Os autores justificam esses resultados às características do efluente – alta carga orgânica contendo quantidades elevadas de corantes, aromas naturais e artificiais e aos subprodutos de degradação.

Já Salles, Pelegrini e Pelegrini (2006), ao desenvolverem um trabalho sobre a eficiência do processo eletroquímico no tratamento de efluentes têxteis após este efluente passar por tratamento biológico por lodo ativado, encontraram um valor de cor igual a 700 uH para o efluente tratado por lodo ativado e 156 uH para o efluente pós-tratamento eletroquímico, que também são bem maiores do que os resultados obtidos neste monitoramento.

4.7 FATORES QUE PODEM INFLUENCIAR A EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO

Com base em estudos e nos resultados obtidos, sugerem-se as seguintes alternativas para a redução da carga orgânica do efluente da indústria em questão, com o objetivo de melhorar a eficiência no seu processo de tratamento de efluentes. Sendo elas:

- Implantação de tanques ou bombas dosadoras com solução ácida e básica para corrigir o pH durante o tratamento;
- Reativar as bombas de recirculação de lodo entre o decantador localizado na ETE secundária e o tanque de aeração, visto que esta é etapa essencial no tratamento biológico por lodos ativados;
- Implantação de tratamento terciário para polimento do efluente.

No caso de matrizes aquosas, como o efluente da indústria de alimentos, os tratamentos terciários podem e devem ser utilizados juntamente com tecnologias de tratamento primário e tratamento secundário, e abrangem técnicas como adsorção com carvão ativado, flotação por ar dissolvido (FAD), membranas, entre outras técnicas, sendo utilizados como tecnologia complementar na remoção de poluentes. (VON SPERLING, 1996)

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi estudada a eficiência da estação de tratamento de efluentes de uma indústria de extratos naturais, que fabrica substâncias que geram águas residuárias com a presença de colorantes do segmento de aditivos alimentares do Polo Industrial de Manaus, visando verificar a conformidade dos efluentes para o lançamento nos corpos hídricos.

O objetivo geral deste trabalho – estudar a eficiência da ETE de uma indústria de extratos naturais – foi alcançado, visto que, com os resultados obtidos, pode-se afirmar que a unidade opera a níveis satisfatórios, conseguindo uma boa redução da carga orgânica, produzindo efluentes dentro das legislações brasileiras vigentes.

Realizou-se o monitoramento e avaliação dos parâmetros DQO, cor aparente, pH, sólidos sedimentáveis, oxigênio dissolvido e temperatura durante o período de agosto a novembro de 2019, comparou-se os dados obtidos com a Resolução nº430 de 13 de maio de 2011 do CONAMA, e verificou-se a similaridade dos valores alcançados neste estudo ao compará-los com o histórico mantido pela empresa.

A eficiência média de redução para o parâmetro demanda química de oxigênio foi de 81%; alcançando o valor máximo de 92,5% no mês de outubro. Ao verificarmos os resultados obtidos com o ensaio de cor aparente, nota-se que apenas em um dos meses o valor atingido ficou acima de 75 uH, mas não é possível atestar se esse resultado está fora da legislação vigente, visto que a Resolução nº357/2005 do CONAMA determina limites apenas para o ensaio de cor verdadeira.

Nos ensaios de pH, temperatura e sólidos sedimentáveis todos os resultados foram extremamente satisfatórios e conforme as normas ambientais. As análises de oxigênio dissolvido indicaram uma deficiência no processo de aeração ao comparar os valores obtidos com as literaturas, todavia os resultados para esse parâmetro não impactaram na eficiência global do tratamento dos efluentes. Verificou-se que o efluente desta empresa é de fácil tratamento, dispensa a neutralização do efluente bruto e consegue-se atingir altos valores de eficiência de remoção dos parâmetros físico-químicos. Todas as análises realizadas estão em conformidade com as legislações brasileiras e não foram identificados problemas nas etapas de tratamento, porém existem algumas melhorias que podem ser feitas visando aumentar a eficiência do processo.

Com o estudo do sistema de tratamento, tornou-se possível afirmar que a hipótese de que a planta de tratamento de águas residuárias, tratamento primário com floculação/coagulação e tratamento secundário com lodo ativado, não funciona de forma

eficiente não é verdadeira, visto que o sistema de tratamento utilizado pela empresa está sendo eficaz para os parâmetros estudados.

6 PERSPECTIVAS

Dentre as sugestões para trabalhos futuros pode-se citar:

- Estudar a eficiência da estação de tratamento de efluentes durante um período maior a fim de verificar a influência da sazonalidade;
- Avaliar uma quantidade maior de parâmetros, tais como turbidez, demanda bioquímica de oxigênio, sólidos totais, sólidos suspensos, cloro livre, cloro total, vazão, carbono orgânico total;
- Realizar a caracterização das águas residuárias objetivando identificar compostos que possam causar impacto negativo no desempenho da ETE;
- Verificar a aplicação de técnicas de tratamento terciário de efluentes;
- Desenvolver estudos de viabilidade técnica e econômica;
- Efetuar uma análise de impacto ambiental do efluente no corpo receptor;
- Otimizar a estação de tratamento de efluente.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20 ed. Washington: American Water Works Association, Water Environment Federation, 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9800**: Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.
- BANAT, M. I. et al. Microbial decolorization of textile-dye-containing effluents: a review. **Bioresource Technology**, London, v. 58, p.217-227, 1996.
- BARRETO, Luciano Vieira; BARROS, Flávia Mariani; BONOMO, Paulo; ROCHA, Felizardo Adenilson; AMORIM, Jhones da Silva. Eutrofização em rios brasileiros. **Enciclopédia Biosfera: Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 9, n. 16, p. 2165, 2013.
- BELOTE, Juliana Gisele. **Utilização de basidiomicetos ligninolíticos na degradação de corantes industriais e no tratamento do efluente de uma indústria de alimentos**. 2000. Tese (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.
- BENINCA, Cristina. **Degradação do corante alimentício Ponceau 4R e tratamento de efluente de uma indústria de alimentos utilizando processos oxidativos avançados**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- BOBBIO, F.A. **Introdução à química de alimentos**. 2.ed. São Paulo: Varela, 1992. 234 p.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF: CONAMA, 17 março, 2005.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores. Brasília, DF: CONAMA, 13 maio, 2011
- CONSTANT, P. B. L.; STRINGHETA, P. C.; SANDI, D. Corantes alimentícios. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 20, n. 2, p. 203-220, jul./dez. 2002.
- CRESPILHO, Frank Nelson; SANTANA, Claudemir Gomes; REZENDE, Maria Olímpia Oliveira. Tratamento de efluente da indústria de processamento de coco utilizando eletroflotação. **Química Nova**, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 387-392, 2004.
- DOTTO, Guilherme Luiz; VIEIRA, Mery Luiza Garcia; GONÇALVES, Janaína Oliveira; PINTO, Luiz Antônio de Almeida. Remoção dos corantes azul brilhantes, amarelo crepúsculo

e amarelo Tartrazina de soluções aquosas utilizando carvão ativado, terra ativada, terra diatomácea, quitina e quitosana: estudos de equilíbrio e termodinâmica. **Química Nova**, São Paulo, v. 34, n. 7, p.1193-1199, 2011.

FERNÁNDEZ, C.; LARRECHI, M. S.; CALLAO, M. P. An analytical overview of processes for removing organic dyes from wastewater effluents. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 29, n. 10, p. 1202-1211, 2010.

FREIRE, Renato Sanches; PELEGRINI, Ronaldo; KUBOTA, Lauro; DURÁN, Nelson. Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 504-511, 2000.

GARCIA, Carlos Eduardo Rocha; BOLOGNESI, Vinícius José; DIAS, Josiane de Fátima Gaspari; MIGUEL, Obdúlio Gomes; COSTA, Camila Klocker. Carotenoides bixina e norbixina extraídos do urucum (*Bixa orellana L.*) como antioxidantes em produtos cárneos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 8, p. 1510-1517, 2012.

KAPADIA, G. J. *et al.* Cancer chemopreventive activity of synthetic colorants used in foods, pharmaceuticals and cosmetic preparations. **Cancer Letters**, v. 129, p.87-95, 1998.

KUNZ, Airton; PERALTA-ZAMORA, Patrício; MORAES, Sandra Gomes de; DURÁN, Nelson. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 78-82, 2002.

IERVOLINO, L. F. O que é um estudo de autodepuração? 2019. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/estudo-autodepuracao/>>. Acesso em: 27 de março de 2019.

JANZEN, Johannes; SCHULZ, Harry Edmar; LAMON, Antônio Wagner. Medidas da concentração de oxigênio dissolvido na superfície da água. **Revista Engenharia Sanitária**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 3, p. 278-283, 2008.

MARCHINI, Andréia Eliane; MACHADO, Verônica Radaelli; STÜLP, Simone. Avaliação preliminar do potencial de reuso de efluente gerado em indústria de alimentos degradado por via fotoquímica. **Tecno-Lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 15, n. 2, p. 67-72, 2011.

MARTINS, Giovane Scardueli. **Avaliação da eficiência da estação de tratamento de efluentes de uma indústria de beneficiamento de arroz da cidade de Meleiro no sul de Santa Catarina**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2015.

MELO JÚNIOR, Ariston Silva; SANTOS, Gabriel Reginaldo; SILVA, Gustavo Santos; MELO, Robson Camilo Costa; JESUS, Thais Almeida. Monitoramento da concentração de oxigênio dissolvido (OD) em lagões de estabilização. **Revista Inovae**, São Paulo, v. 7, p. 128-146, 2019.

MERCADO COMUM DO SUL. **Resolução nº52, de 8 de dezembro de 1998**. Dispõe sobre os critérios para determinar funções de aditivos, aditivos e seus limites máximos para todas as categorias de alimentos. Rio de Janeiro, RJ: MERCOSUL, 8 dezembro, 2011.

MERCK. **Spectroquant® NOVA 60**: General Information. Billerica: EMD Millipore Corporation, 2014.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. 5ªed. Porto Alegre: McGraw Hill Brasil, 2015.

NORIEGA, Carlos Delgado; ESPAÑA, Maria Soledad Astorga. Caracterização física, química e microbiológica dos efluentes industriais da Baía Catalina – Magallanes, Chile. **Tropical Oceanography**, Recife, v. 33, n. 2, p. 147-157, 2005.

OLIVEIRA, Juarez Souza de. **Caracterização, extração e purificação por cromatografia de compostos de urucum (*Bixa orellana L.*)**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

PALHARES, Julio Cesar Pascale; CALIJURI, Maria do Carmo. Caracterização dos afluentes e efluentes suínícolas em sistemas de crescimento/terminação e qualificação de seu impacto ambiental. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 502-509, 2007.

PRADO, M. A.; GODOY, H. T. Corantes artificiais em alimentos. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 14, n. 2, p. 237-250, 2003.

QING, S.; ROWLEY, K. G.; BALAZS, N. D. H. Carotenoids: Separation Methods applicable to biological samples. **Journal of Chromatography B**, v. 781, p.861-864, 2002.

REYES, F. G. R.; VALIM, M. F. C. F. A.; VERCESI, A. E. Effect of organic synthetic food colours on mitochondrial respiration. **Food additives and Contaminants**, London, v. 13, n. 1, p. 5-11, 1997.

RIEDEL, G. **Controle sanitário dos alimentos**, São Paulo: Loyola, 1987. 445 p.

ROCHA, Danielly Santos; REED, Elaine. Pigmentos naturais em alimentos e sua importância para a saúde. **Estudos**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 76-85, 2014.

ROCHA, Katia Macário da; SALAMONI, Sabrina Pinto; SANTOS, Rafael Hoppen dos; GOLDBACH, Andrei. Monitoramento e avaliação de parâmetros físico-químicos e microbiológicos de uma estação de tratamento de efluentes com sistema de lodos ativados em uma agroindústria no meio oeste de Santa Catarina. **Revista de Engenharia Civil IMED**, Passo Fundo, v. 3, n. 1, p. 35-36, 2016.

SALLES, Paulo de Tarso Ferreira; PELEGRINI, Núbia Natália Brito; PELEGRINI, Ronaldo Teixeira. Tratamento eletroquímico de efluente industrial contendo corantes reativos. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 3, n. 2, p. 25-40, 2006.

SANTOS, Maressa Maria de Melo. **Degradação dos corantes alimentícios Eritrosina e Azul brilhante por processos oxidativos avançados fotoquímico e fotocatalítico**. 2016. Tese (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

SCHWARTZ, S. H. Apocarotenoids and carotenoid cleavage dioxygenases. 2003. Disponível em: <<http://www.msu.edu/~schwartz1/apocarotenoids.htm>>. Acesso em: 08 de março de 2019.

SCOTTER, M. J. Characterisation of the coloured thermal degradation products of bixin from annatto and a revised mechanism for their formation. **Food Chemistry**, Norwich, v. 53, n. 2, p. 177-185, 1995.

SCOTTER, M. J. The chemistry and analysis of annatto food colouring: a review. **Food Additives & Contaminants: Part A**, London, v. 26, n. 8, p.1123-1145, 2009.

SERPA, Léo; PRIAMO, Wagner Luiz; REGINATTO, Valéria. The correct fate of the wastes of a cheese manufacture - an analysis of economic viability. *In: International Workshop Advances in Cleaner Production*, 2., 2009, São Paulo. **Proceedings of the 2nd WACP**. São Paulo: UNIP, 2009. p. 74.

SILVA, Marília Lordêlo Cardoso; COSTA, Renata Silva; SANTANA, Andréa dos Santos; KOBLITZ, Maria Gabriela Bello. Compostos fenólicos, carotenoides e atividade antioxidante em produtos vegetais. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 3, p. 669-682, 2010.

SILVA, Lucas Romeiro da. **Monitoramento de ETE e avaliação da tratabilidade anaeróbia de efluente de uma indústria de bebidas**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns, 2018.

SILVA, Lilian Danielli da; DANTAS, Paulo Ricardo; PEREIRA NETO, Luiz Martins; ARRUDA, Valmir Cristiano Marques de; TAVARES, Rosangela Gomes; SILVA, Vicente de Paulo. Eficiência da coagulação, floculação e decantação como tratamento primário de efluente têxtil. **Revista GEAMA: Ciências Ambientais e Biotecnologia**, Recife, v. 5, n. 1, p. 36-40, 2019.

SMITH, V. H; SCHINDLER, D. W. Eutrophication science: where do we go from here? **Trends in Ecology and Evolution**, v. 244, n. 4, p. 201-207, 2009.

SOUZA, Danilo Rodrigues de; MIRANDA, Jacques Antônio de; RIBEIRO, Karla Renata; MAPELI, Ana Maria; SANTOS, David de Jesus. Degradação fotocatalítica de corante alimentício Azorrubina e monitoramento de redução de toxicidade. **Orbital: Electron. J. Chem**, Campo Grande, v. 8, n. 1, p. 50-56, 2016.

TOCCHINI, Luciane; MERCADANTE, Adriana Zerlotti. Extração e Determinação, por CLAE, de bixina e norbixina em coloríficos. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 21, n. 3, p. 310-313, 2001.

TONI, Jufner Celestino Vaz; IMAMURA, Kely Braga; LIMA, Thiago Hernandes de Souza. Caracterização física e química dos efluentes líquidos gerados na indústria alimentícia da região de Marília, SP. **Revista Analytica**, São Paulo, v.69, p. 58-66, 2014.

UENOJO, Mariana; MARÓSTICA JÚNIOR, Mário Roberto; PASTORE, Gláucia Maria. Carotenoides: Propriedades, aplicações e biotransformação para formação de compostos de aroma. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 616-622, 2007.

VALENTE, J. P. S.; PADILHA, P. M.; SILVA, A. M. M. Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu – SP. **Eclética Química**, São Paulo, v. 22, p.49-66, 1997.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.