

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS E ENGENHARIA**

**Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento**

**MAIARA APARECIDA PESSOA FRIGULIO**

**APLICAÇÃO DE PRÉ-TRATAMENTO PARA REDUÇÃO DE POLUENTES  
ORGÂNICOS EM EFLUENTES DE UMA AGROINDÚSTRIA**

**TUPÃ – SP**

**2023**

**MAIARA APARECIDA PESSOA FRIGULIO**

**APLICAÇÃO DE PRÉ-TRATAMENTO PARA REDUÇÃO DE POLUENTES  
ORGÂNICOS EM EFLUENTES DE UMA AGROINDÚSTRIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Tupã, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Agronegócio e Desenvolvimento.

**Área de concentração:** Agronegócio e Desenvolvimento

**Linha de pesquisa:** Desenvolvimento e Meio Ambiente

**Orientador:** Profa. Dra. Juliane Cristina Forti

**Coorientadores:** Profa. Dra. Angélica Gois Morales e Prof. Dr. Felipe André dos Santos.

**TUPÃ – SP**

**2023**

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Biblioteca e Documentação da FCE – Unesp, Câmpus Tupã:

F912a Frigulio, Maiara Aparecida Pessoa.  
Aplicação de pré-tratamento para redução de poluentes orgânicos em efluentes de uma agroindústria. / Maiara Aparecida Pessoa Frigulio. – Tupã: [s.n.], 2023.  
74 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento) –Universidade Estadual Paulista UNESP – Faculdade de Ciências e Engenharia, 2023.

Orientadora: Juliane Cristina Forti  
Coorientadora: Angélica Gois Morales  
Coorientador: Felipe André dos Santos

1. Indústrias de alimentos. 2. Reagente Fenton. 3. Tratamento de efluentes. I. Título. II. Autor.

Fonte: Eliana Kátia Pupim, bibliotecária CRB 8 – 6202. Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Tupã



### CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: APLICAÇÃO DE PRÉ-TRATAMENTO PARA REDUÇÃO DE POLUENTES ORGÂNICOS EM EFLUENTES DE UMA AGROINDÚSTRIA

AUTORA: MAIARA APARECIDA PESSOA FRIGULIO

ORIENTADORA: JULIANE CRISTINA FORTI

COORIENTADORA: ANGELICA GOIS MORALES

COORIENTADOR: FELIPE ANDRÉ DOS SANTOS

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Agronegócio e Desenvolvimento, pela Comissão Examinadora:

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> JULIANE CRISTINA FORTI (Participação Presencial)

Departamento de Engenharia de Biossistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia de Tupã UNESP

Prof. Dr. EDUARDO FESTOZO VICENTE (Participação Presencial)

Departamento de Engenharia de Biossistemas / FCE / UNESP - Tupã

Prof. Dr. RODRIGO LILLA MANZIONE (Participação Virtual)

FCTE / UNESP/Ourinhos (SP)

Rodrigo Lilla  
Manzione:26712770831  
2023.04.10 16:06:14  
-03'00'

Tupã, 10 de abril de 2023

## **Impacto na sociedade**

Esta pesquisa apresenta impactos sociais e econômicos. O estudo e aprofundamento utilizando um dos Processos Oxidativos Avançados, aplicando o reagente Fenton para pré-tratamento, para redução de carga poluente de efluentes industriais de uma linha de goma, possui baixo custo e contribui com o desenvolvimento ambiental, estando intimamente interligados com os ODS 6 Água limpa e saneamento, indicadores 6.3 e 6.6 (a) que visa reduzir o despejo de águas residuárias não tratadas e ampliar a capacitação para tratamento de efluentes, e o ODS 9 Indústria, Inovação e Infraestrutura, indicador 9.5 que visa fortalecer e melhorar a pesquisa científica e suas capacidades tecnológicas.

## **Impact on society**

This research presents social and psychological impacts. The study and deepening using one of the Advanced Oxidative Processes, applying the Fenton reagent for pre-treatment, to reduce the pollutant load of industrial effluents from a gum line, has a low cost and contributes to environmental development, being closely interconnected with the SDGs 6 Clean and sanitary water, indicators 6.3 and 6.6 (a) which aims to reduce the discharge of untreated wastewater and expand training in effluent treatment, and SDG 9 Industry, Innovation and Infrastructure, indicator 9.5 which aims to strengthen and improve the scientific research and its technological resources.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Deus pela minha vida e por todas as oportunidades proporcionadas.

Agradeço imensamente à minha família pelo otimismo e palavras de apoio.

Aos meus pais Júlio César Frigulio e Fátima Aparecida Pessoa Frigulio, que sempre se dedicaram na criação dos filhos, nos proporcionando um ambiente cheio de amor, cobrança e incentivo para trilhar nossos caminhos, tendo em mente que quem busca um dia alcança.

Ao meu esposo Guilherme Demori pela paciência e incentivo diário.

A minha orientadora Professora Doutora Juliane Cristina Forti, pelo estímulo, conhecimento e instruções ao longo desses anos, sempre disposta em todos os momentos.

Aos Docentes do Programa de Pós-graduação em Agronegócio e Desenvolvimento por todo conhecimento compartilhado, em especial aos meus coorientadores Angélica Gois Morales e Felipe André dos Santos pelo acompanhamento e instrução.

À Yasmin Tadayozzi, do laboratório de química da unidade que muito me ajudou.

À Universidade Estadual Paulista pela presente oportunidade de desenvolver esta pesquisa acadêmica.

Ao meu amigo Ronnie Shida pelo incentivo e motivação para ingressar nessa jornada.

À empresa local pela liberação e incentivo.

Por fim, agradeço a todos que direta ou indiretamente ajudaram na elaboração desta pesquisa.

FRIGULIO, M. A. P. Aplicação de pré-tratamento para redução de poluentes orgânicos em efluentes de uma agroindústria. 2023. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento) – Faculdade de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Tupã, 2023.

## RESUMO

Efluentes gerados por agroindústrias, especificamente no ramo de balas de gomas são ricos em matéria orgânica e possuem uma alta carga poluidora. O descarte de forma incorreta é altamente prejudicial ao meio ambiente. Para tanto, sistemas compactos para tratamentos são utilizados, mas são altamente custosos na implantação e geralmente possuem elevados custos na operação principalmente se a carga poluidora de demanda química de oxigênio (DQO) inicial for elevada, devido à alta concentração de compostos orgânicos. O objetivo deste trabalho pautou-se em aplicar uma alternativa de pré-tratamento para efluentes industriais com alta carga orgânica, provenientes da linha de uma agroindústria que produz balas de gomas a base de amido, reduzindo inicialmente sua carga poluidora para prosseguir com os tratamentos convencionais. As amostras do efluente industrial foram coletadas em diferentes dias (DIA 1; DIA 2; DIA 3) para caracterização e realização do experimento. Posteriormente, o método químico usando o reagente de Fenton em diferentes concentrações (F1; F2; F3; [concentrações de 25%, 50% e 100% de efluente bruto]) foi aplicado para oxidação dos compostos orgânicos e os parâmetros de DQO, sólidos suspensos totais (SST), temperatura, pH, condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD) e Brix foram analisados após duas e quatro horas de reação. Verificou-se uma redução de DQO de 63,81%, 43,30% e 25,72% para as concentrações F1, F2 e F3, respectivamente, aplicados no efluente bruto no DIA 1. Já o DIA 2 apresentou uma redução de carga orgânica de F1 (26,63%); F2 (31,63%); F3 (13,77%) e o DIA 3, F1 (9,42%); F2 (5,74%); F3 (9,60%). Sendo assim, conclui-se que o experimento de pré-tratamento aplicado contribui com a redução de carga orgânica reduzindo custos e facilitando seu tratamento posterior.

**Palavras-chave:** Indústrias de alimentos. Reagente Fenton. Tratamento de efluentes.

FRIGULIO, M. A. P. Application of pre-treatment to reduce pollutants in effluents from an agribusiness. 2023. 74 f. Dissertation (Master's Degree Agribusiness and Development) – Scholl of Sciences and Engineering, São Paulo State University “Júlio de Mesquita Filho”, Tupã, 2023.

## **ABSTRACT**

Effluents generated by agroindustries, specifically in the field of gum candies, are rich in organic matter and have a high pollutant load. Incorrect disposal is highly harmful to the environment. For this purpose, compact treatment systems are used, but they are highly expensive to implement and generally have high operating costs, especially if the initial chemical oxygen demand (COD) pollutant load is high, due to the high concentration of organic compounds. The objective of this work was based on applying a pre-treatment alternative for industrial effluents with a high organic load, coming from the line of an agroindustry that produces starch-based gum candies, initially reducing its polluting load to proceed with conventional treatments. The industrial effluent samples were collected on different days (DAY 1; DAY 2; DAY 3) for characterization and carrying out the experiment. Subsequently, the chemical method using Fenton's reagent at different concentrations (F1; F2; F3; [concentrations of 25%, 50% and 100% of raw effluent]) was applied for oxidation of organic compounds and COD parameters, solids total suspended matter (TSS), temperature, pH, electrical conductivity (EC), dissolved oxygen (DO) and Brix were analyzed after two and four hours of reaction. There was a COD reduction of 63.81%, 43.30% and 25.72% for concentrations F1, F2 and F3, respectively, applied to the raw effluent on DAY 1. On the other hand, DAY 2 showed a load reduction F1 organic (26.63%); F2 (31.63%); F3 (13.77%) and DAY 3, F1 (9.42%); F2 (5.74%); F3 (9.60%). Therefore, it is concluded that the applied pre-treatment experiment contributes to the reduction of organic load, reducing costs and facilitating its subsequent treatment.

**Keywords:** Food industries. Fenton reagent. Wastewater treatment.

## LISTA DE GRÁFICOS

|                                                                                                                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Gráfico 1</b> - Análises físico-químicas do efluente em diferentes concentrações após 2 horas de aplicação do pré-tratamento com reagente de Fenton em diferentes dias de coleta – Parâmetro DQO. ....         | 50 |
| <b>Gráfico 2</b> - Análises físico-químicas do efluente em diferentes concentrações após 2 horas de aplicação do pré-tratamento com reagente de Fenton em diferentes dias de coleta – Parâmetro STD. ....         | 50 |
| <b>Gráfico 3</b> - Análises físico-químicas do efluente em diferentes concentrações após 2 horas de aplicação do pré-tratamento com reagente de Fenton em diferentes dias de coleta – Parâmetro Temperatura. .... | 51 |
| <b>Gráfico 4</b> - Análises físico-químicas do efluente em diferentes concentrações após 2 horas de aplicação do pré-tratamento com reagente de Fenton em diferentes dias de coleta – Parâmetro CE. ....          | 51 |
| <b>Gráfico 5</b> - Análises físico-químicas do efluente em diferentes concentrações após 2 horas de aplicação do pré-tratamento com reagente de Fenton em diferentes dias de coleta – Parâmetro pH. ....          | 52 |
| <b>Gráfico 6</b> - Análises físico-químicas do efluente em diferentes concentrações após 2 horas de aplicação do pré-tratamento com reagente de Fenton em diferentes dias de coleta – Parâmetro OD. ....          | 52 |
| <b>Gráfico 7</b> - Análises físico-químicas do efluente em diferentes concentrações após 4 horas de aplicação do pré-tratamento com reagente de Fenton em diferentes dias de coleta – Parâmetro DQO. ....         | 55 |
| <b>Gráfico 8</b> - Análises físico-químicas do efluente em diferentes concentrações após 4 horas de aplicação do pré-tratamento com reagente de Fenton em diferentes dias de coleta – Parâmetro STD. ....         | 55 |
| <b>Gráfico 9</b> - Análises físico-químicas do efluente em diferentes concentrações após 4 horas de aplicação do pré-tratamento com reagente de Fenton em diferentes dias de coleta – Parâmetro T. ....           | 56 |
| <b>Gráfico 10</b> - Análises físico-químicas do efluente em diferentes concentrações após 4 horas de aplicação do pré-tratamento com reagente de Fenton em diferentes dias de coleta – Parâmetro CE. ....         | 56 |
| <b>Gráfico 11</b> - Análises físico-químicas do efluente em diferentes concentrações após 4 horas de aplicação do pré-tratamento com reagente de Fenton em diferentes dias de coleta – Parâmetro pH. ....         | 57 |
| <b>Gráfico 12</b> - Análises físico-químicas do efluente em diferentes concentrações após 4 horas de aplicação do pré-tratamento com reagente de Fenton em diferentes dias de coleta – Parâmetro OD. ....         | 57 |
| <b>Gráfico 13</b> – Remoção da DQO em função do tempo de aplicação do processo Fenton em diferentes concentrações do efluente coletado no DIA 1 .....                                                             | 59 |
| <b>Gráfico 14</b> – Remoção da DQO em função do tempo de aplicação do processo Fenton em diferentes concentrações do efluente coletado no DIA 2 .....                                                             | 60 |
| <b>Gráfico 15</b> – Remoção da DQO em função do tempo de aplicação do processo Fenton em diferentes concentrações do efluente coletado no DIA 3 .....                                                             | 60 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1</b> – Processo de reação química avançada (sistemas típicos). .....                                   | 28 |
| <b>Tabela 2</b> – Reações do Processo Fenton.....                                                                 | 29 |
| <b>Tabela 3</b> – Concentrações do efluente e dos reagentes de Fenton analisadas.....                             | 43 |
| <b>Tabela 4</b> – Análises físico-químicas do efluente bruto coletado em diferentes dias.....                     | 45 |
| <b>Tabela 5</b> – Fator $k_1$ calculado para o efluente bruto em diferentes dias de coleta.....                   | 46 |
| <b>Tabela 6</b> – Fator calculado de $k_1$ para as melhores reduções de DQO nas primeiras 2 horas de reação. .... | 54 |
| <b>Tabela 7</b> – Fator calculado de $k_1$ para as melhores reduções de DQO após 4 horas de reação. ....          | 61 |

## **LISTAS DE SIGLAS E ABREVIACÕES**

POAs – Processos Oxidativos Avançados.

ODSs – Objetivos de Desenvolvidimentos Sustentável.

ONU – Organizações das Nações Unidas.

PNMA – Política Nacional do Meio Ambiente.

LA – Licenciamento Ambiental.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente.

EIA – Estudos de Impacto Ambiental.

RIMA – Relatório de Impacto Ambiental.

PNSB – Política Nacional de Saneamento Básico.

SINISA – Sistema Nacional de Informações em Saneamento.

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos.

ONGs – Organizações Não Governamentais.

ANA – Agência Nacional das Águas.

ABIA – Associação Brasileira da Indústria de Alimentos.

ABICAB - Associação Brasileira da Indústria de Chocolates, Amendoins e Balas.

KPMG - Peat Marwick International e Kynveld Main Goerdeler.

CETESB – Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico e de Defesa do Meio Ambiente.

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

OD – Oxigênio Dissolvido.

DQO – Demanda Química de Oxigênio.

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio.

pH – Potencial Hidrogeniônico.

SST – Sólidos Suspensos Totais.

STD – Sólidos Suspensos dissolvidos.

T – Temperatura.

CE – Condutividade elétrica.

## SUMÁRIO

|            |                                                  |           |
|------------|--------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO</b>                                | <b>11</b> |
| <b>1.1</b> | <b>OBJETIVOS</b>                                 | <b>13</b> |
| <b>2</b>   | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>                     | <b>14</b> |
| 2.1        | Gestão ambiental                                 | 14        |
| 2.2        | Água e agroindústria alimentícia                 | 20        |
| 2.3        | Lançamentos de efluentes – parâmetros permitidos | 22        |
| 2.4        | Tratamento de efluentes industriais              | 25        |
| 2.5        | Processos oxidativos avançados – Reagente Fenton | 28        |
| 2.6        | Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)   | 32        |
| <b>3</b>   | <b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>                       | <b>40</b> |
| 3.1.1      | DQO                                              | 41        |
| 3.1.2      | SST                                              | 41        |
| 3.1.3      | STD, °C, CE                                      | 42        |
| 3.1.4      | pH                                               | 42        |
| 3.1.5      | Oxigênio dissolvido                              | 42        |
| 3.1.6      | Brix                                             | 42        |
| 3.2        | Processo Fenton                                  | 42        |
| <b>4</b>   | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>                    | <b>44</b> |
| 4.1        | Resultados da caracterização do efluente bruto   | 44        |
| 4.2        | Processo Fenton                                  | 48        |
| 4.2.1      | Experimentos com o reagente Fenton               | 48        |
| <b>5</b>   | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>                      | <b>62</b> |
|            | <b>REFERÊNCIAS</b>                               | <b>63</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

No ramo empresarial, diversas empresas estão tentando consolidar sua marca nas questões de sustentabilidade socioambiental. Nesse sentido, é constante o investimento e o estudo de novas tecnologias e alternativas para tratamento de efluentes e de recuperação de resíduos gerados (KALLEL *et al.*, 2009; ALMEIDA *et al.*, 2015; ZHANG *et al.*, 2019).

Há uma ampla diversidade de efluentes industriais proveniente de seus inúmeros processos, das quais podem ser de origem orgânica, inorgânica ou combinadas, podendo ser recalcitrantes e tóxicas necessitando de tratamento adequado antes de seu descarte final. O descarte inapropriado de efluentes industriais causa a destruição de seus corpos receptores e sérios danos ao meio ambiente (FRAGOSO, 2018).

Diante das dificuldades enfrentadas pelas indústrias, especificamente na área de alimentos, que geram efluentes industriais ricos em matéria orgânica, novos estudos e a descoberta de novas tecnologias para o tratamento de efluentes são necessários para torná-los mais acessíveis, econômicos e competitivos, visando sempre a preservação do meio ambiente.

Em relação ao tratamento de efluentes industriais, existem alguns métodos e processos que podem ser utilizados para garantir o tratamento adequado e a destinação correta dos resíduos produzidos. Os processos de tratamento são classificados como: físicos, químicos e biológicos (METCALF; EDDY, 2008).

O processo de Fenton, classificado como método de tratamento químico, também conhecido como um dos processos oxidativos avançados (POAs), baseia-se na produção de radicais hidroxila ( $\text{HO}^\bullet$ ), que são altamente oxidantes e não seletivos, podendo auxiliar na redução e mineralização de compostos orgânicos recalcitrantes e tóxicos (BRILLAS, 2021; RIBEIRO *et al.*, 2020; WANG; ZHUAN, 2020). Esse processo é considerado um método promissor devido à sua fácil aplicabilidade de operação e boa relação custo-benefício (TEKIN *et al.*, 2006). No entanto, a eficiência da degradação de poluentes orgânicos durante a aplicação de Fenton depende de alguns fatores operacionais, tais como: concentração de reagentes aplicados, pH operacional, temperatura e concentração de contaminantes em águas residuais (ZHANG *et al.*, 2019).

A aplicação do processo de Fenton em diversos tipos de efluentes industriais é generalizada, e assim o estudo e aprofundamento do processo de Fenton tornou-se objeto de constante aprimoramento e investigação, uma vez que sua fácil aplicabilidade e baixo custo, podem tornar as indústrias mais competitivas, além de melhorar a biodegradabilidade dos efluentes de difícil tratamento. Assim, a presente pesquisa aborda a seguinte problematização: como aplicar o reagente de Fenton como pré-tratamento de efluentes de uma indústria alimentícia para reduzir sua carga orgânica?

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi aplicar uma alternativa de pré-tratamento para efluentes industriais com alta carga orgânica, provenientes de uma agroindústria que produz balas de gomas a base de amido, reduzindo inicialmente sua carga poluidora para prosseguir com os tratamentos convencionais.

Este trabalho está relacionado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS): 6 (Água limpa e saneamento) e 9 (Indústria, inovação e infraestrutura), tendo como foco as metas 6.3 que busca melhorar a qualidade da água reduzindo pela metade o lançamento de efluentes não tratados, reduzindo assim a poluição e o descarte de substâncias perigosas até 2030, e a meta 9.5 que busca fortalecer a pesquisa científica e melhorar as capacidades tecnológicas e inovação até 2030, nos temas socioeconômicos e socioambiental.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **Objetivo Geral**

O trabalho teve como objetivo geral: propor uma alternativa de pré-tratamento para efluentes industriais com alta carga orgânica, provenientes de uma agroindústria que produz balas de gomas a base de amido, reduzindo inicialmente sua carga poluidora para prosseguir com os tratamentos convencionais.

### **Objetivos Específicos**

Como objetivos específicos, o trabalho buscou:

- Caracterizar o efluente industrial de uma agroindústria da linha de balas de goma (sem tratamento) em escala laboratorial; e
- Realizar o processo químico de tratamento a partir do processo oxidativo Fenton no efluente bruto em diferentes concentrações em escala laboratorial.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Gestão ambiental

Práticas ambientais inadequadas, uso e ocupação do solo de maneira irregular, rejeitos e descartes provenientes das atividades industriais em uma velocidade crescente colocam em risco a capacidade regenerativa do ecossistema e colocam em evidência as questões ambientais (FERNANDES *et al.*, 2012).

Desde 1962, o livro *a Primavera Silenciosa* de autoria da ecologista, bióloga marinha norte-americana Rachel Carson, já levantava o alerta inadequado das interconexões entre a economia e o meio ambiente relacionadas ao bem-estar social. Esta obra tem sido considerada como um marco na gestão ambiental e do movimento ambientalista moderno (BONZI, 2013; NASCIMENTO, 2016).

De acordo com Barbieri (2007), para a solução dos problemas ambientais, ou sua minimização, novas atitudes de empresários e administradores em suas tomadas de decisões, devem incluir e considerar o meio ambiente, medidas e fundamentos tecnológicos e administrativos que contribuam para ampliar a capacidade de suporte do planeta.

Tais decisões no âmbito empresarial intensificam-se baseadas nas influências e pressões que três grandes forças exercem nas empresas, tais como sociedade, governos e mercados. Conjunto cíclico que interagem entre si (BARBIERI, 2007). Sendo assim, Barbieri (2007), cita novas abordagens que os empreendimentos adotam para sua gestão ambiental empresarial, denominadas em três frentes, tais como controle da poluição, prevenção da poluição, e estratégias voltadas as questões ambientais do empreendimento.

A definição da gestão ambiental é ampla e compreendida por Phillippi Jr, Roméro e Bruna (2004), na junção de instrumentos capazes de equilibrar a relação sociedade e natureza, no qual poderá apresentar resultados diversos dependendo de quem o aplica, ou da forma como é aplicada. Barbieri (2007) define a gestão ambiental como um procedimento administrativo, planejado, com ações que visam proteger, reduzir ou eliminar os impactos ao meio ambiente causados pela atividade humana. Os autores Fernandes *et. al.*, (2012), também compreendem a gestão ambiental como o conjunto de procedimentos e recursos necessários para viabilizar a gestão local,

envolvendo a comunidade civil nas ações decisórias como forma de cidadania, além do estudo de caracterização de regeneração do ecossistema.

Para o avanço nas questões ambientais, sua abordagem necessita ser discutida mais especificamente por políticas públicas, contemplando a interconexão entre os aspectos sociais e econômicos (FERNANDES *et al.*, 2012).

Segundo Câmara (2013), a formação de políticas voltadas à proteção e utilização do meio ambiente no Brasil teve um longo processo. A adaptação do modelo burocrático e autoritário que se iniciara visando apenas o lucro imediatista, sem compromisso com as causas ambientais, focando apenas no avanço econômico e social ao longo da história do país, foi se transformando em processos descentralizados, democráticos e participativos.

Costa Filho, Rosa (2017), enfatiza que, se todos os países atingissem o desenvolvimento econômicos dos países ricos, o sistema entraria em colapso, visto que atualmente o consumo de bens e serviços ocorre de maneira insustentável nos países desenvolvidos.

De modo geral, grande é a preocupação voltada ao meio ambiente, a racionalização dos recursos naturais e controle da poluição, sobretudo o planejamento industrial e urbano, viraram pautas de grandes discussões e regulamentações mundialmente (BRASIL, 1972).

Mundialmente a “Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano” que ocorreu em Estocolmo, organizada pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 1972, foi a primeira grande reunião a tratar sobre o Meio Ambiente. Vinte e sete países, entre eles o Brasil, participaram deste encontro na Suécia que teve como pauta os problemas ambientais, além das fronteiras de cada país, necessitando da ação conjunta dos países para diminuir ou conter a degradação ambiental (BRASIL, 1972; LAGO, 2006; DIAS, 2017).

Segundo Dias (2017), durante a Conferência de Estocolmo, assuntos que tratavam de medidas ambientais por alguns países, dentre eles o Brasil, foram interpretadas como ingerência externa, barreira ou restrição para o crescimento econômico, impostas por países já desenvolvidos para limitar o desenvolvimento de países de terceiro mundo.

O Relatório emitido pela delegação Brasileira pós Conferência das Nações Unidas sobre o Meio ambiente, aconselhou manter o assunto com cautela e atenção. Cautela a fim de evitar que fatores externos dificultem o crescimento econômico do

país, e atenção na incorporação no processo de desenvolvimento “na medida do possível” sobre os novos conhecimentos científicos adquiridos, revelados pelas pesquisas ambientais (BRASIL, 1972). Ainda assim, nas décadas de 1960 e 1970 no Brasil, com o avanço industrial no país, o engajamento nas questões ambientais também ganharam força (NASCIMENTO, 2016).

A década de 1970 ficou conhecida como a década da regulamentação ambiental, e a partir da conferência em Estocolmo, vários países implementaram legislações pertinentes ao meio ambiente, tendo o exemplo do ato de poluir, que a partir desta década passou a ser considerado crime em diversos países (LAGO, 2006). No Brasil, em 1973, foi criada a Secretaria Especial do Meio Ambiente (SEMA).

Desde então, práticas e novas ações sobre a responsabilidade ambiental ganharam destaque e o atentamento da comunidade científica, governo, clientes e sociedade como um todo passam a exigir uma postura concerne das empresas e indústrias para a utilização de energias mais limpas (WEBER, 1999).

Para o ramo empresarial, o levantamento de possíveis danos ao meio ambiente e a utilização insustentável dos recursos disponíveis, tornaram-se um desafio para a gestão ambiental (COSTA FILHO; ROSA, 2017).

Sabe-se que o meio ambiente, dentro do contexto empresarial, é avaliado como meio possível de retirada de matérias primas, energia, utilização do solo, entre outros, e o processo produtivo empresarial após a utilização destes recursos, possui como resultado de transformação os bens e serviços pretendidos, além dos resíduos e poluição indesejadas proveniente de seus processos (BÁNKUTI; BÁNKUTI, 2014).

Os autores Bánkuti e Bánkuti (2014), ressaltam que o ramo empresarial deve discutir e tratar não somente da competitividade do ramo econômico, mas também de práticas sustentáveis e de competitividade do ramo ambiental.

Weber (1999) relata que para atender a nova percepção ambiental, as empresas acabaram sendo obrigadas a implementar novas práticas de gestão de seus processos, relacionadas ao meio ambiente para atender as legislações vigentes.

Por outro lado, muitas empresas acabam utilizando a gestão ambiental como “marketing verde” para consolidar sua marca e promover a responsabilidade socioambiental (UEHARA *et al.*, 2010).

A partir desta nova percepção, a Alemanha em 1978, criou o primeiro selo ecológico, destinado a rotular os produtos ambientalmente corretos. Já no Brasil a

partir da década de 1980, implementações de novas legislações passaram a vigorar (LAGO, 2006).

A Lei Federal Brasileira nº 6.938 de 1981 dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), criou o Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA), integrando o âmbito federal, estadual e municipal, com o objetivo voltado para a preservação, recuperação e melhoria da qualidade ambiental, visando a dignidade da vida humana, destacando a necessidade em nível nacional de licenciamento ambiental de empreendimentos utilizadores de recursos naturais ou potencialmente poluidores (BRASIL, 1981; FERNANDES *et. al.*, 2012; CÂMARA, 2013; ).

O licenciamento ambiental (LA) é um instrumento da PNMA que pode ser compreendido como um processo administrativo podendo ocorrer no âmbito, federal, estadual ou municipal de acordo com a extensão do empreendimento, no entanto são licenciados por um único órgão, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA) (IBAMA, 2021). A PNMA é um marco histórico legislativo para o país.

A licença concedida pelo órgão responsável possui validade e de acordo com o empreendimento poderá ser emitida a licença prévia, de instalação, e operação, e, não obstante, a qualquer momento e sem aviso prévio, o estabelecimento poderá ser fiscalizado (FARIAS, 2018; GROTTTO; COSTA; GOMES, 2021).

A lei complementar nº 140/11 e o Decreto nº 8.437/15, estabelecem critérios e tipos de atividades sujeitas ao licenciamento prévio ambiental pelo IBAMA (IBAMA, 2021).

As etapas para o licenciamento ambiental federal são apresentadas no quadro 1, compreendendo as seguintes etapas para o licenciamento:

**Quadro 1** – Etapas do Licenciamento ambiental Federal.

| Descrição |                                |
|-----------|--------------------------------|
| 1         | Abertura de processo           |
| 2         | Triagem e enquadramento        |
| 3         | Definição do escopo            |
| 4         | Elaboração do estudo ambiental |
| 5         | Requerimento de licença        |
| 6         | Análise técnica                |
| 7         | Decisão                        |
| 8         | Pagamento                      |
| 9         | Acompanhamento                 |

Fonte: IBAMA, 2021

O Licenciamento ambiental também está subsidiado pelo estudo de impacto ambiental.

De acordo com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº1 de 1986, considera-se:

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, segurança e o bem-estar da população (BRASIL, 1986, p.1).

É obrigatório o estudo de impacto ambiental para empreendimentos cuja atividade possa causar danos ou impactos ambientais, item previsto na Constituição Federal, Art. 225 §1. Inciso IV 1999 (COELHO; PEREIRA, 2010).

Ao empreendimento potencialmente causadores de impactos ou danos ambientais, serão submetidos ao Estudo de Impactos ambientais (EIA), seguido pelo relatório de Impacto Ambiental (RIMA), antes de seu licenciamento (GROTTO; COSTA; GOMES, 2021).

De acordo com Hendges (2014) ao longo dos anos, várias legislações foram implementadas no país voltadas a gestão do meio ambiente. Destacam-se:

Lei 7.797/1989 – Cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente e dá outras providências (BRASIL, 1989).

Decreto 99.274/1990 – Regulamenta a Política Nacional de Meio Ambiente (BRASIL, 1990).

Lei 9.433/1997 – Política Nacional de Recursos Hídricos: regulamenta o artigo 21, inciso XIX da Constituição Federal (BRASIL, 1997).

Lei 9.605/1998 – Lei dos Crimes Ambientais (BRASIL, 1998).

Lei 9.795/1999 – Política Nacional de Educação Ambiental – PNEA (BRASIL, 1999).  
 Decreto 4.281/2002 – Regulamenta a Política Nacional de Educação Ambiental (BRASIL, 2002).  
 Lei 9.666/2000 – Sobre a prevenção, controle e fiscalização dos lançamentos de óleos e substâncias perigosas ou nocivas nas águas nacionais (BRASIL, 2000).  
 Lei 9.985/2000 – Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (BRASIL, 2000).  
 Lei 11.445/2007 – Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB) e estabelece o Sistema Nacional de Informações em Saneamento (SINISA) (BRASIL, 2007).  
 Decreto 6.514/2008 - Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providências (BRASIL, 2008).  
 Lei 12.305/2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010).  
 Decreto 7.217/2010 – Regulamenta a lei 11.445/2007 Política Nacional de Saneamento Básico (BRASIL, 2010).  
 Lei 12.651/2012 – Código Florestal ou Código Ambiental (BRASIL, 2012).  
 Decreto 7.830/2012 – Regulamenta o Código Florestal. Instrução Normativa 02/2014 do Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2012).  
 Decreto 10.000/2019 – Dispõe sobre o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 2019).  
 Lei 14.026/2020 – Atualiza o marco legal do saneamento e dá outras providências (BRASIL, 2020).  
 Decreto 10.936/2022 – Regulamenta a Lei 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2022).

Com o avanço das políticas ambientais, observa-se um envolvimento maior do país no sentido de dispor de um “(...) conjunto de objetos, diretrizes e instrumentos de ação que o Poder Público dispõe para produzir efeitos desejáveis no meio ambiente” (BARBIERI, 2011, p.65). Sendo assim, surge um novo capítulo de responsabilidade, a postura reativa que marcava o então relacionamento entre empresas, órgãos públicos e Organizações não governamentais (ONGs) atuantes nas questões ambientais, dá lugar à uma nova postura de responsabilidade (NASCIMENTO, 2016).

A gestão ambiental é ampla e envolve a interação entre a gestão ambiental industrial, municipal e urbana. Sua integração dispõe de diversos instrumentos adequados para a obtenção de um desenvolvimento com sustentabilidade, controlando e prevenindo a poluição e discutindo as questões que a envolvem baseadas em políticas ambientais e instrumentos de comando de controle, econômicos, de informação à educação, planejamento e fortalecimento institucional (PHILLIPPI JÚNIOR; ROMÉRO; BRUNA, 2004; BARBIERI, 2007; FERNANDES *et al.*, 2012).

Portanto, são imprescindíveis práticas ambientais corretas para o controle e tratamento de resíduos sólidos, gasosos e líquidos. Assim, os princípios da gestão ambiental e dos recursos hídricos asseguradas na Constituição Federal, em seu artigo 225, assegura-se direito do povo ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, necessitando sua preservação para a atual e futuras gerações (CETESB, 2022).

## **2.2 Água e agroindústria alimentícia**

De acordo com a Agência Nacional das Águas (ANA), apenas 2,5% dos recursos hídricos no planeta são de água própria para consumo e grande parte é encontrada nas geleiras e mananciais. O Brasil possui a maior reserva de água doce do mundo, em torno de 12%. Entretanto, o país enfrenta dificuldades na gestão dos recursos hídricos, tornando-se necessária a adoção de uma estratégia nacional para disponibilizar não apenas o acesso à água potável de qualidade para as pessoas, mas também para as indústrias (LIMA, 2018; ANA, 2019).

Em um informe anual de 2019 da ANA denominado Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil, foi discutido que, no ano de 2018, 2.048 m<sup>3</sup>/s de água foram retiradas e distribuídas nos seguintes setores: Irrigação 49,8%, abastecimento urbano 24,4%, indústria 9,6%, animal 8,3%, termelétricas 4,5%, abastecimento rural 1,7%, e mineração 1,7%. Nas últimas décadas houve um aumento de 80% de retirada de água e estima-se que até 2030 aumente mais 26%. Este histórico está relacionado à expansão urbana e econômica do país (ANA, 2019).

Dentre a expansão industrial os setores mais expressivos, representando 60% da produção industrial total são: alimentos e bebidas: (21%), derivados de petróleo e biocombustíveis (11%), químicos (10%), veículos automotores (9%) e metalurgia (6%). Estes setores mencionados são responsáveis por 85% de retirada de água. Na estimativa nacional do uso de água, o setor industrial representa o terceiro lugar, atrás do abastecimento urbano e da agricultura irrigada (ANA, 2017).

Até a década de 1990, a água consumida pelo setor industrial constituía um insumo irrelevante, tanto em relação ao aspecto econômico quanto no que se refere à disponibilidade. O uso de recursos hídricos, efetuava-se sem parcimônia e sem mecanismos adequados de controle, seja para o atendimento da demanda como para a disposição final de efluentes. Em reflexo, surgiram indústrias preocupadas em

práticas de redução de consumo de água e na geração de efluentes, em especial, podemos citar a indústria do setor alimentício (MIERZWA, 2005).

O papel desempenhado pelo Brasil no setor alimentício é de extrema importância para os outros países, visto que o país está classificado como o segundo maior exportador de alimentos industrializados do mundo (ABIA, 2021).

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Alimentos (ABIA), em 2021 a indústria alimentícia representou 10,6% do Produto Interno Bruto (PIB) do país e processou 58% de toda produção agropecuária produzida no campo (ABIA, 2022). Esses dados também mostraram que o segmento de alimentos e bebidas contribuiu com 63,7% do saldo total da balança comercial brasileira, além de destacar o país como um dos maiores produtores e exportadores mundiais de diversos alimentos e bebidas (ABIA, 2022).

O segmento alimentício é o maior gerador de empregos contando com 37,7 mil indústrias, grandes, pequenas, médias, artesanais e de agricultura familiar, atingindo 1,68 milhões de postos de empregos formais e diretos, produzindo mais de 225 milhões de toneladas de alimentos por ano (ABIA, 2021).

Um dos ramos deste segmento que vem se destacando ao longo dos últimos anos são as indústrias de balas de gomas. Segundo a Resolução nº 12 de 1978, a bala de goma é um produto fabricado à base de açúcares, gomas naturais com adição de óleos essenciais ou extratos vegetais. As balas de goma tipo americana ou de amido é um produto preparado à base de amido de milho, com adição de aromatizantes e açúcares.

Em 2020, o setor de balas e gomas, no geral, ocupou o oitavo lugar no ranking mundial de vendas de confeitos à base de açúcar e goma de mascar no varejo e faturou 10,3 bilhões de reais, produzindo 213 mil toneladas de doces, registrando 83 mil toneladas de exportação (ABICAB, 2021). O volume de produção, exportação e importação aumentou em 2021, relacionado ao ano anterior, apresentando os seguintes dados: aumento de 12,9% na produção, 28,3% na exportação e 19,6% na importação, segundo dados levantados pela Peat Marwick International e Kynveld Main Goerdeler (KPMG), juntamente com a Associação Brasileira da Indústria de Chocolates, Amendoins e Balas (ABICAB). Em relação a balança comercial brasileira, houve um crescimento de 35,59%, atingindo 134,1 milhões de dólares (ABICAB, 2021).

A busca por melhorias contínuas pelas indústrias, como: otimização de processos, redução de custos, melhoria da qualidade e satisfação de clientes e consumidores são pontos de extrema importância para o seu crescimento, visto que as exigências impostas pelo mercado consumidor são crescentes a cada dia.

A preocupação com o meio ambiente também é uma das buscas, tema tão discutido nas últimas décadas, e pauta dos meios governamentais, comunidade científica e populacional. A produção de forma sustentável sem a degradação do meio ambiente com a utilização consciente dos recursos naturais limitados, dentre eles a água, são os desafios vivenciados pelas indústrias.

De modo geral, a água na indústria de alimentos é utilizada de diferentes maneiras, dentre elas destacam-se: incorporação a formulação dos alimentos preparados, na geração de vapor, no sistema de resfriamento, na lavagem de peças, utensílios e maquinários, esgoto dos próprios funcionários e consumo (GIORDANO, 2004). Sendo assim, a mesma deve apresentar padrões adequados de qualidade microbiológica e características físico-químicas. É extremamente importante que a água não altere a qualidade dos alimentos elaborados e não ofereça riscos à saúde do consumidor (SIMENSATO; BUENO, 2019). Com exceção da água incorporada ao produto e na geração de vapor, nos demais casos ela pode se tornar contaminada por carregar resíduos de processos ou de lavagem, tornando assim um efluente industrial (GIORDANO, 2004).

### **2.3 Lançamentos de efluentes – parâmetros permitidos**

Os resíduos líquidos e sólidos gerados pelas indústrias de transformação, precisam necessariamente, antes de seu descarte final, serem classificados e identificados de acordo com suas especificidades levando em consideração as leis vigentes do país.

Tratando-se de efluentes industriais líquidos, em âmbito nacional, a Resolução federal CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011, estabelece as condições e padrões de lançamentos de efluentes em corpos receptores de água. Adicionalmente, cada estado tem seu próprio decreto que normalmente são mais restritivos que os da legislação federal.

No estado de São Paulo, o decreto 8468/76 da Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo, atualizado pelo decreto 54.487/09, dispõe parâmetros para o

lançamento de efluentes tratados a serem despejados nos rios ou redes de esgoto. Os artigos 18 e 19A deste decreto abordam especificadamente cada caso. O decreto também define que, onde houver sistema público de esgotos em condições de atendimento, os efluentes de qualquer fonte poluidora deverão ser lançados nele (SÃO PAULO, 1976).

Os parâmetros para lançamentos de efluentes, direta ou indiretamente lançadas nas coleções de água, devem seguir os seguintes parâmetros estipulados pelo decreto 8468/76 de acordo com o artigo 18:

- I - pH entre 5,0 e 9,0;
- II - temperatura inferior a 40°C;
- III - materiais sedimentáveis até 1,0 mL/L.
- IV - substâncias solúveis em hexano até 100 mg/L;
- V - DBO 5 dias, 20°C no máximo de 60 mg/L. Este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento de águas residuárias que reduza a carga poluidora em termos de DBO 5 dias, 20°C do despejo em no mínimo 80% (oitenta por cento);
- VI - concentrações máximas dos seguintes parâmetros:
  - Arsênico - 0,2 mg/L;
  - Bário - 5,0 mg/L;
  - Boro - 5,0 mg/L;
  - Cádmio - 0,2 mg/L;
  - Chumbo - 0,5 mg/L;
  - Cianeto - 0,2 mg/L;
  - Cobre - 1,0 mg/L;
  - Cromo hexavalente - 0,1 mg/L;
  - Cromo total - 5,0 mg/L;
  - Estanho - 4,0 mg/L;
  - Fenol - 0,5 mg/L;
  - Ferro Solúvel - ( $\text{Fe}^{2+}$ ) - 15,0 mg/L
  - Fluoretos - 10,0 mg/L;
  - Manganês solúvel - ( $\text{Mn}^{2+}$ ) - 1,0 mg/L;
  - Mercúrio - 0,01 mg/L;
  - Níquel - 2,0 mg/L;
  - Prata - 0,02 mg/L;
  - Selênio - 0,02 mg/L;
  - Zinco - 5,0 mg/L.
- VII - outras substâncias, potencialmente prejudiciais, em concentrações máximas são fixadas para cada caso, a critério da CETESB;
- VIII - regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vezes a vazão média diária (SÃO PAULO, 1976).

Os parâmetros definidos para lançamentos de efluentes de empreendimentos ligados à rede coletora de esgoto obedecem aos seguintes parâmetros, definidos pelo artigo 19-A.

- I - pH entre 6,0 (seis inteiros) e 10,0 (dez inteiros);
- II - temperatura inferior a 40° C (quarenta graus Celsius);

- III - materiais sedimentáveis até 20 mL/L (vinte mililitros por litro) em teste de 1 (uma) hora em "cone Imhoff";
- IV - ausência de óleo e graxas visíveis e concentração máxima de 150 mg/L (cento e cinquenta miligramas por litro) de substâncias solúveis em hexano;
- V - ausência de solventes, gasolina, óleos leves e substâncias explosivas ou inflamáveis em geral;
- VI - ausência de despejos que causem ou possam causar obstrução das canalizações ou qualquer interferência na operação do sistema de esgotos;
- VII - ausência de qualquer substância em concentração potencialmente tóxicas a processos biológicos de tratamento de esgotos;
- VIII - concentrações máximas dos seguintes elementos, conjuntos de elementos ou substâncias:
  - a) arsênico, cádmio, chumbo, cobre, cromo hexavalente, mercúrio, prata e selênio - 1,5 mg/L (um e meio miligrama por litro) de cada elemento sujeitas à restrição da alínea e deste inciso;
  - b) cromo total e zinco 5,0 mg/L (cinco miligramas por litro) de cada elemento, sujeitas ainda à restrição da alínea e deste inciso;
  - c) estanho - 4,0 mg/L (quatro miligramas por litro) sujeita ainda à restrição da alínea e deste inciso;
  - d) níquel - 2,0 mg/L (dois miligramas por litro), sujeita ainda à restrição da alínea e deste inciso;
  - e) todos os elementos constantes das alíneas "a" a "d" deste inciso, excetuando o cromo hexavalente - total de 5,0 mg/L (cinco miligramas por litro);
  - f) cianeto - 0,2 mg/L (dois décimos de miligramas por litro);
  - g) fenol - 5,0 mg/L (cinco miligramas por litro);
  - h) ferro solúvel - ( $\text{Fe}^{2+}$ ) - 15,0 mg/L (quinze miligramas por litro)
  - i) fluoreto - 10,0 mg/L (dez miligramas por litro)
  - j) sulfeto - 1,0 mg/L (um miligrama por litro);
  - l) sulfato - 1.000 mg/L (mil miligrama por litro);
- IX - Regime de lançamento contínuo de 24 (vinte e quatro) horas por dia, com vazão máxima de até 1,5 (uma vez e meia) a vazão diária;
- X - Ausência de águas pluviais em qualquer quantidade (SÃO PAULO, 1976).

O decreto 8468/76 também estabelece que a Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico e de Defesa do Meio Ambiente (CETESB), fiscalizará e definirá quando for o caso, o artigo no qual o empreendimento deverá seguir para lançamento de seu efluente (SÃO PAULO, 1976).

Na cidade de Tupã, onde foi coletado o efluente da agroindústria produtora de balas de gomas, o sistema público de atendimento é a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), que exige dos empreendimentos o atendimento ao artigo 19 A do decreto 8468/76, complementado pelo Comunicado 03/19, que estima o fator k, "Fator de carga poluidora para lançamentos", calculados pelas seguintes equações, de acordo com a característica do empreendimento (SABESP, 2019).

Equação 1: Para empreendimentos ligados a rede pública de esgotos.

$$k_1 = [0,63 + 0,19 \times (\text{DQO}/450) + 0,18 \times (\text{SST}/300)] \quad \text{eq. (1)}$$

Sendo:  $k_1$  = Fator de Carga Poluidora para lançamentos na rede pública de esgotos.

Equação 2: para empreendimentos que não provém de ligação direta com a rede pública de esgotos e que necessitam lançar em postos de recebimento.

$$k_2 = 0,26 + 0,38 \times (DQO/450) + 0,36 \times (RNF/300)] \quad \text{eq. (2)}$$

Sendo: DQO = Demanda Química de Oxigênio, obtida pela análise do esgoto lançado, nunca inferior a 450 mg/L para as duas equações.

SST = Sólidos em Suspensão Totais, obtido pela análise do esgoto lançado, nunca inferior a 300 mg/L para as duas equações.

O comunicado 03/19 também apresenta a “Tabela I – Fator  $k_1$  aplicado aos ramos de atividades”, no qual é utilizada quando os resultados analíticos dos fatores mencionados corresponderem abaixo de 450 mg/L para DQO e 300 mg/L para SST. Para fabricação de produtos alimentícios, ramos de atividade da empresa local, o fator  $k_1$  é de 1,55 desde que atenda os parâmetros citados.

## 2.4 Tratamento de efluentes industriais

Após a utilização da água pelo homem, tem-se águas residuárias, variando em quantidade de acordo com a atividade que as gerou (ARAÚJO *et. al.*, 2016). Os efluentes industriais gerados por diferentes tipos de fabricação têm ampla diversidade, pois possuem características próprias em função de seu processo fabril e devem ser considerados isoladamente para tratamento. Portanto, é indispensável o tratamento deste efluente para preservação do meio ambiente, antes de sua destinação final (ARCHELA *et. al.*, 2003).

Os diversos componentes presentes nas águas residuárias que alteram seu grau de pureza são definidos e quantificados através de parâmetros que avaliam sua qualidade. Estes são compreendidos como: características físicas, características químicas e características biológicas (SPERLING, 2005).

Segundo Sperling (2005), os principais parâmetros a serem analisados em águas residuárias brutas e tratadas estão apresentadas no quadro 2.

**Quadro 2** – Principais parâmetros/análises a serem avaliados em águas residuárias.

| Características | Parâmetros                   | Águas residuárias |         |
|-----------------|------------------------------|-------------------|---------|
|                 |                              | Bruta             | Tratada |
| Físicos         | Temperatura (°C)             | x                 |         |
| Químicos        | pH                           | x                 | x**     |
|                 | Alcalinidade                 | x                 |         |
|                 | Nitrogênio                   | x                 | x       |
|                 | Fósforo                      | x                 | x       |
|                 | Oxigênio dissolvido (OD)     |                   | x**     |
|                 | Matéria orgânica (DQO e DBO) | x                 | x       |
| Biológicos      | Organismos indicadores       | x                 | x       |
|                 | Algas (diversas)             |                   | x**     |
|                 | Bactérias decomp. (diversas) |                   | x**     |

Notas: \*\*controle de processo, durante o tratamento.

**Fonte:** SPERLING, 2005. Adaptado pela autora.

Em relação ao parâmetro físico, temperaturas elevadas aceleram as reações químicas e diminuem a solubilidade dos gases, afetando, assim, diretamente na concentração de oxigênio dissolvido (SPERLING, 2005).

Em relação aos parâmetros químicos, o controle de operação da faixa de pH interfere nas etapas de coagulação, taxa de crescimento dos micro-organismos, incrustação e corrosividade (SPERLING, 2005).

A alcalinidade é medida da capacidade que a água tem de neutralizar ácidos, isto é, a quantidade de substâncias na água que atuam como tampão, capacidade de resistir às mudanças de pH, sendo os principais constituintes são os íons de bicarbonatos, carbonatos e os hidróxidos. A alcalinidade auxilia no controle de operação durante a fase de coagulação (SPERLING, 2005).

Os parâmetros de nitrogênio e fósforo balanceados são necessários para o desenvolvimento de micro-organismos durante o processo de tratamento (SPERLING, 2005) e o excesso pode causar eutrofização da água.

O oxigênio dissolvido (OD) é de essencial importância para os micro-organismos que vivem na presença de oxigênio e é considerado como um parâmetro de caracterização poluidora de águas, pois durante a estabilização da matéria orgânica as bactérias, no seu processo respiratório, fazem o uso do oxigênio

dissolvido no meio causando sua redução. Essa redução pode causar a mortandade de seres aquáticos (SPERLING, 2005).

A matéria orgânica é a principal causadora de poluição das águas e é responsável pelo consumo de oxigênio dissolvido pelos microrganismos decompositores. Os principais componentes orgânicos são gorduras, proteínas, carboidratos, surfactantes, fenóis, pesticidas e outros compostos em menores quantidades. São classificadas em matérias carbonáceas, divididas em compostos não biodegradáveis e biodegradáveis, podendo estar em suspensão ou dissolvidos. De maneira indireta duas análises são realizadas para a quantificação da matéria orgânica, sendo elas: Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e a Demanda química de oxigênio (DQO) que medem o consumo de oxigênio necessário para a oxidação da matéria orgânica por meio bioquímico ou químico (SPERLING, 2005).

Em relação ao parâmetro biológico, estes desempenham funções importantíssimas, no qual são responsáveis pelas reações de conversão de matéria orgânica e inorgânica (SPERLING, 2005). Todos os parâmetros apresentados são importantes para o controle de operação durante o processo de tratamento de efluentes.

Segundo Viterbo Júnior (1998), a remoção dos constituintes presentes no efluentes é realizada por processos unitários. De maneira geral, o processo primário é realizado através de processos físicos, os secundários através de processos unitários biológicos e químicos, e terciário a combinação de todos.

As operações de tratamento, correspondem as seguintes etapas segundo Viterbo Júnior (1998):

Tratamento preliminar: remoção de constituintes grosseiros como, folhas, areia, graxas, galhos que possam causar danos no sistema de tratamento.

Primário: remoção de sólidos em suspensão e parte de matéria orgânica.

Primário avançado: remoção de sólidos em suspensão melhora e matéria orgânica pela adição de compostos químicos ou filtração. Constitui-se normalmente os processos de flotação, decantação e neutralização.

Secundário: remoção de matéria orgânica biodegradável e sólidos suspensos. A desinfecção é incluída nesta etapa secundária.

Secundário com remoção de nutrientes: remoção de nutrientes (fósforo, nitrogênio ou ambas), remoção de compostos orgânicos biodegradáveis e sólidos em suspensão.

Terciário: remoção residual dos sólidos suspensos (após o tratamento secundário), e remoção dos demais nutrientes. Pode ser realizado por filtração.

Avançado: remoção de nutrientes dissolvidos ou em suspensão, que permanecem após o tratamento biológico.

No geral, a depender das características de cada efluente, podem ocorrer combinações diferenciadas.

## 2.5 Processos oxidativos avançados – Reagente Fenton

Os processos oxidativos avançados (POAs) vêm sendo amplamente utilizados como uma alternativa no tratamento de águas contaminadas por compostos orgânicos. Os POAs são tecnologias limpas com altíssimo poder oxidativo, capazes de oxidar numerosos compostos orgânicos em água e gás carbônico (SANTOS; ALVES; MADEIRA, 2011). Estes processos são baseados na geração do radical hidroxila ( $\text{HO}^\bullet$ ), um oxidante forte e não seletivo, que reage com a maioria dos compostos orgânicos de forma muito rápida, garantindo a eficácia dos POAs tanto na capacidade de oxidação quanto do ponto de vista cinético (ZHANG *et al.*, 2019).

Os POAs dividem-se em sistemas homogêneos e heterogêneos, onde os  $\text{HO}^\bullet$  são gerados com ou sem radiação UV e podem usar ozônio, peróxido de hidrogênio e/ou reagente de Fenton, como mostra a tabela 1.

**Tabela 1** – Processo de reação química avançada (sistemas típicos).

|                | Processos                                                                                                                   |                                                                     |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
|                | Homogêneo                                                                                                                   | Heterogêneo                                                         |
| Sem Irradiação | $\text{O}_3/\text{HO}^\bullet$<br>$\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$<br>$\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2(\text{Fenton})$ | $\text{O}_3/\text{Catalisador}$                                     |
| Com Irradiação | $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$<br>$\text{O}_3/\text{UV}$<br>Foto-Fenton<br>$\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$    | Fotocatálise Heterogênea<br>( $\text{TiO}_2/\text{O}_2/\text{UV}$ ) |

Fonte: FIOREZE *et al.* (2014)

A oxidação usando o Reagente Fenton foi descoberta em 1894 por Fenton, quando descreveu que na presença de íons de ferro e peróxido de hidrogênio, houve a oxidação do ácido tartárico (FENTON, 1894). O processo catalítico da reação de Fenton se baseia na decomposição do peróxido de hidrogênio em meio ácido, na presença de íons ferrosos, gerando radicais hidroxilas (GAMA, 2012). Com o avanço

nas pesquisas e entendimento sobre o assunto, o processo de oxidação Fenton foi então dividido em sistemas homogêneos e heterogêneos. Os sistemas heterogêneos ocorrem na presença de catalisadores sólidos em sistemas polifásicos, já o sistema homogêneo apenas em uma fase. A principal vantagem de utilizar o sistema heterogêneo se dá pela recuperação de seu catalisador, pois no sistema homogêneo pode ocorrer geração de lodo proveniente da precipitação do ferro (FLORES, 2008).

A primeira aplicação do processo Fenton foi em sistema homogêneo, necessitando apenas da mistura de reagentes, uma vez que a adição de peróxido de hidrogênio, para a produção de radicais hidroxila, por meio da ativação de sais ferrosos, em meio ácido, não necessita de equipamentos sofisticados e temperatura e pressão extremas, mas apenas de um simples reator a temperatura ambiente (LI; ZHOU; HUA, 2010). A aplicação do processo usando o reagente Fenton é considerada segura para manuseio e tem baixo impacto para o meio ambiente (KALLEL *et. al.*, 2009).

As reações do processo Fenton (1, 2, 3 e 4), de forma simplificada são mostradas na tabela 2 (MORAVIA; LANGE; AMARAL, 2011).

**Tabela 2** – Reações do Processo Fenton.

| Reação                                                                                               | Etapa |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| $\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{OH}^- + \text{HO}^\bullet$ | (1)   |
| $\text{RH} + \text{HO}^\bullet \rightarrow \text{R}^\bullet + \text{H}_2\text{O}$                    | (2)   |
| $\text{R}^\bullet + \text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{R}^+ + \text{Fe}^{2+}$                          | (3)   |
| $\text{Fe}^{2+} + \text{HO}^\bullet \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{OH}^-$                        | (4)   |

Onde:  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Fe}^{3+}$  representam moléculas hidratadas.

**Fonte:** MORAVIA; LANGE; AMARAL, 2011

O mecanismo de oxidação de Fenton é bastante complexo e de acordo com Duesterberg, Waite, Mylon (2008) e Pliego *et al.*, (2015) inclui mais de vinte reações químicas. As reações catalíticas de Fenton consistem basicamente na oxidação de  $\text{Fe}^{2+}$  a  $\text{Fe}^{3+}$ , podendo se decompor em peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), a água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) e oxigênio ( $\text{O}_2$ ) (GAMA, 2012), também pode ocorrer a redução de  $\text{Fe}^{3+}$  a  $\text{Fe}^{2+}$ , mas em uma taxa 6000 vezes menor que a primeira reação (ZHANG *et al.*, 2019). Como já descrito, a reação produz radicais hidroxilas altamente reativos ( $E^\circ$  2,8 V) e também podem produzir outros radicais com menor poder oxidativo, o que pode levar ao consumo indesejado de peróxido de hidrogênio (SANTOS; ALVES; MADEIRA, 2011).

A eficiência da degradação dos poluentes orgânicos durante a aplicação do processo Fenton irá depender de alguns fatores de operação, como: concentração dos reagentes, pH de operação, temperatura e concentração de contaminantes da água residual (ZHANG *et al.*, 2019).

A concentração molar da relação entre  $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$  é extremamente importante, pois a eficiência da degradação dos compostos orgânicos dependerá desta razão. Se as concentrações de  $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$  forem excessivas, haverá baixas concentrações de radicais hidroxilas para oxidar a matéria orgânica, pois reações indesejadas poderão ocorrer com excesso de um dos reagentes causando sua eliminação (ALATON; TEKSOY, 2007; KALLEL *et al.*, 2009).

Apesar de inúmeras pesquisas, não existe um consenso da razão molar adequada para oxidação entre  $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ , pois a depender do tipo de efluente/composto a ser tratado esta razão pode variar. Alaton e Teksoy, (2007) relatam que para remoção da cor em efluentes de indústrias têxteis contendo corantes apontam que a razão 1:3 foram eficientes, já Lange *et al.*, (2006) relata que a faixa de concentração de  $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$  pode variar de 1:5 a 1:25, Araújo (2008), salienta que esta razão varia de acordo com o tipo de efluente a ser tratado.

Em relação a faixa ótima de pH para aplicação desta técnica, estudos relatam valores de 2 a 4, pois com o aumento do pH o  $\text{H}_2\text{O}_2$  se decompõe rapidamente em água e oxigênio e também pode ocorrer a precipitação do ferro, fatos esses que diminuem a produção dos  $\text{HO}^\bullet$  e, conseqüentemente, diminuem a eficiência do processo de oxidação (ZHANG *et al.*, 2019; ZIEBOWICZ; KIDA, 2022).

Bello, Raman e Asghar (2019) também relatam que o pH acima de 3,5 proporciona a precipitação de Fe (III) na forma de hidróxido de ferro, no qual diminui sua interação com o peróxido de hidrogênio e, conseqüentemente, na formação de radicais hidroxilas.

A temperatura utilizada para aplicação do método também interfere na taxa de oxidação do experimento. Apesar de comumente aplicada em temperatura ambiente, o aumento da temperatura pode causar a instabilidade térmica do peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), provocando sua decomposição em oxigênio ( $\text{O}_2$ ) e água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), (JONES, 1999 apud ZAZO *et al.* 2011).

Apesar da literatura apontar uma decomposição do peróxido de hidrogênio em temperaturas mais elevadas, pesquisas avaliaram a intensificação do processo Fenton por meio do aumento da temperatura. Alaton, Teksoy (2007) relataram em sua

pesquisa que a melhor remoção de cor do efluente têxtil foi obtida a 50°C, utilizando o reagente Fenton. Zazo *et al.*, (2011) também comparou as taxas de oxidação e o grau de mineralização do fenol pela oxidação de Fenton entre 25° e 130°C, e os resultados mostraram que neste caso uma temperatura mais elevada implicou na conversão mais rápida em radicais hidroxilas, aumentando a mineralização.

Várias estudos foram realizados com a aplicação do processo Fenton à diversos tipos de efluentes, como: de curtumes (KALYANARAMAN *et al.*, 2012) de moinho de azeite (LUCAS, PERES, 2009; KALLEL *et al.*, 2009) de papel (JAMIL *et al.*, 2011) e celulose (CATALKAYA; KARGI, 2007), da indústria de fermento (PALA; ERDEN, 2005), de frigorífico (ALMEIDA *et al.*, 2015), de águas com substâncias húmicas (JÚLIO *et al.*, 2006), de coque (JIANG *et al.*, 2011), de efluentes de Centros de estações de tratamento de apoio à pequenas e médias empresas (CETP) (GHUMRA; AGARKOTI; GOGATE, 2021), de lixiviado de aterro sanitário (MORAVIA; LANGE; AMARAL, 2011) e de pesticidas (FORTI *et al.*, 2020; TADAYOZZI *et al.*, 2021; DA SILVA *et al.*, 2022). Em todas essas variedades o método aplicado em escala laboratorial foi eficiente.

Os estudos citados apresentaram redução de fitotoxicidade e redução de DQO chegando até a 90% de remoção, de acordo com o artigo de Pala e Erden (2005) em efluentes provenientes de uma indústria de fermento. A redução também garantiu melhora em outros parâmetros como cor e DBO em todas as pesquisas.

A combinação do processo Fenton com o tratamento biológico foi aplicada e avaliada por Kalyanaraman *et al.*, (2012). O reagente Fenton foi aplicado como pré-tratamento de efluentes de curtumes antes do processo biológico e mostraram resultados satisfatórios após a tratabilidade desta combinação de métodos. O pré-tratamento melhorou a biodegradabilidade do efluente de curtumes, resultando na formação de hidrocarbonetos de cadeia curta, reduzindo também sua carga de DQO e DBO.

Almeida *et al.*, (2015) relata que o residual de peróxido de hidrogênio é extremamente importante, pois em excesso, interfere na análise de demanda química de oxigênio, DQO, por reagir com o dicromato de potássio. Esses autores realizaram experiências para encontrar o pH ideal de coagulação após a reação Fenton, para a remoção do ferro precipitado através de microfiltros sintéticos, pois o lodo gerado neste tipo de tratamento precisa atender os parâmetros estabelecidos por lei antes de seu descarte.

É grande a aplicação do processo Fenton em diversos tipos de efluentes industriais; sendo assim, o estudo e aprofundamento do POA pelo processo Fenton tem se tornado um tema de constante aperfeiçoamento e investigação, visto que sua fácil aplicabilidade, baixo custo e alto benefício, podem tornar as indústrias mais competitivas, além melhorar a biodegradabilidade dos efluentes de difícil tratabilidade.

## **2.6 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)**

Perante a dura realidade vivenciada que afetam toda a população mundial, líderes mundiais reuniram-se em setembro de 2000 na sede das Nações Unidas e criaram os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) no qual se comprometeram até o ano de 2015 a: reduzir a pobreza extrema, oferecer educação de qualidade para todos, promovendo a igualdade entre os sexos, reduzindo a mortalidade infantil, melhorando a saúde das gestantes, combatendo a Aids e outras doenças, além de garantir qualidade de vida e respeito ao Meio Ambiente e estabelecer parcerias para o desenvolvimento, por meio de oito ODMs, 21 metas e 60 indicadores (ROMA, 2019).

Os dados de cada ODM foram monitorados, entre os anos de 1990 e 2015, e foram considerados pela ONU um marco importante para o desenvolvimento (ROMA, 2019). Finalizando este período, observou-se uma evolução de melhoria para cada ODM implantado e percebendo a necessidade e continuidade deste trabalho, durante a Cúpula sobre o desenvolvimento Sustentável, os países membros da ONU no ano de 2015, se reuniram e adotaram um plano de ação para as pessoas denominado: “Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento sustentável” (ONU, 2016), que engloba os aspectos sociais, econômicos e ambientais (ONU, 2016).

Os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODSs), integram a agenda 2030 possuindo 17 objetivos com 169 metas que busca alcançar a todos de maneira igualitária, possuindo o envolvimento do governo, organizações e empresas. Esses objetivos baseiam-se em cinco áreas de grande importância que são: Pessoas, Prosperidade, Paz, Parcerias e Planeta, com o lema de não deixar ninguém para trás (ONU, 2016).

Especificamente, os ODS 6 e 9 estão intimamente ligados a este trabalho, salientando que os ODSs são considerados integrados e indivisíveis.

O ODS 6 busca assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos e está intimamente ligado aos demais ODS, por se tratar de um tema transversal. O uso indevido deste recurso, sua má gestão e a contaminação de corpos receptores nas últimas décadas intensificaram o estresse hídrico e degradaram os ecossistemas relacionados à água (ONU, 2023).

As metas e os indicadores do ODS 6 são apresentados a seguir. Ao todo apresenta 6 metas e 11 indicadores.

A primeira meta do ODS 6, meta 6.1 da ONU corresponde a: “Até 2030, alcançar o acesso universal e equitativo a água potável e segura para todos” (ONU, 2016 pág. 21). No Brasil de acordo com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) o texto desta meta precisou ser adequado para: “Até 2030, alcançar o acesso universal e equitativo à água para consumo humano, segura e acessível para todas e todos” (IPEA, 2019) esta adequação foi justificada pelo Instituto para atender uma necessidade de maior precisão dos termos. O termo “água potável” foi substituído por “água para consumo humano” em razão de haver norma específica vigente no país, Portaria MS nº 2.914/2011, consolidada pela Portaria MS nº 5, anexo 20.

A meta 6.1 conta apenas com um indicador, denominado 6.1.1 que verifica a “proporção da população que utiliza serviços de água potável gerenciados de forma segura (%) no Brasil” (IPEA, 2019). De acordo com a publicação da 2ª edição intitulado ODS 6 no Brasil: Visão da ANA sobre os indicadores lançado no ano de 2022, em 2006 a avaliação era de 89,5%, já em 2019 de 97,4%, um avanço de 7,09% neste período. Entre as grades regiões, no ano de 2019, região Norte possuía o menor índice 91,9%, já a região Sul apresentava o melhor índice de 99,9% (ANA, 2022).

A segunda meta do ODS 6, meta 6.2 da ONU aborda:

Até 2030, alcançar o acesso a saneamento e higiene adequados e equitativos para todos, e acabar com a defecação a céu aberto, com especial atenção para as necessidades das mulheres e meninas e daqueles em situação de vulnerabilidade” (ONU, 2016, pág. 21).

Esta meta manteve-se sem alteração no Brasil e é monitorada pelo indicador 6.2.1 “Proporção da população que utiliza (a) serviços de saneamento gerenciados de forma segura e (b) instalações para lavagem das mãos com água e sabão” (IPEA, 2019). No Brasil este indicador é monitorado por dois subindicadores: 6.2.1a: “Proporção da população que utiliza serviços de esgotamento sanitário geridos de forma segura” (ANA, 2022) e pelo subindicador 6.2.1b: “Proporção da população com instalações para lavar as mãos com água e sabão” (ANA, 2019).

De acordo com os dados apresentados pela ANA, no Brasil, em 2019, 72,22% da população possuía acesso ao esgotamento sanitário seguro. Entre os anos de 2009 e 2019 houve uma evolução de 19,2 pontos percentuais de pessoas que utilizam este serviço (6.2.1a), esse aumento corresponde a 47,8 milhões de brasileiros, mas ainda assim, 58,4 milhões de pessoas permanecem sem o devido acesso. Já o subindicador 6.2.1b no Brasil, contabilizou a população que possuía banheiros no seu domicílio de uso exclusivo, considerando que os banheiros são instalações básicas para manutenção de hábitos de higiene. Em 2019, 97,4% da população possuía acesso de uso exclusivo, mas ainda assim, 5,5 milhões de pessoas ainda não dispunham de acesso a essas instalações (ANA, 2022).

A terceira meta do ODS 6, meta 6.3 da ONU aborda:

Até 2030, melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente (ONU, 2016, pág. 21).

No Brasil a meta foi adequada para:

Até 2030, melhorar a qualidade da água nos corpos hídricos, reduzindo a poluição, eliminando despejos e minimizando o lançamento de materiais e substâncias perigosas, reduzindo pela metade a proporção do lançamento de efluentes não tratados e aumentando substancialmente o reciclo e reuso seguro localmente (IPEA, 2019).

De acordo com o instituto IPEA, o termo “corpos hídricos” foi acrescido para identificar que a meta não trata apenas do uso da água e sim da gestão de recursos hídricos. Os termos “liberação de produtos químicos e materiais perigosos”, “água residuais não tratadas” e “globalmente” para respectivamente “lançamento de materiais e substâncias perigosas”, “efluentes não tratados” e “localmente”, foram alterados pois atendem de maneira específica os termos utilizados nas legislações brasileiras. Esta meta possui como avaliação dois indicadores, 6.3.1 “Proporção de águas residuárias tratadas de forma segura” (IPEA, 2019) e 6.3.2 “Proporção de corpos hídricos com boa qualidade ambiental” (IPEA, 2019).

O indicador 6.3.1 de acordo com a ANA (2022), ainda não possui dados sistematizados em âmbito nacional e regional de tratamento de efluentes industriais, visto que para quantificação, este indicador abrange os dados de efluentes industriais, domésticos e totais. No entanto, no Brasil, os dados utilizados para cálculo deste indicador são provenientes da pesquisa nacional realizada com prestadores de serviços de cada município, que trata efluentes urbanos, de atividades econômicas

(serviços e comércios), e de uma pequena parcela de indústrias localizadas no perímetro urbano. Estes dados, juntamente com dados de fossas sépticas não conectadas à rede pública de esgotos são agregados e utilizados para cálculo de acordo com a ANA. Sendo assim, no ano de 2019 apenas 58,3% de efluentes eram tratados de forma segura no país, com uma evolução de 15,5% desde o ano de 2019 (ANA, 2022).

Ainda, de acordo com a ANA (2022), melhorias são necessárias para o monitoramento de tratamento de efluentes do país. Ressalta-se que no país, as atividades agropecuárias e industriais possuem descartes pontuais de lançamentos de efluentes, porém os dados são de difícil obtenção. Assim, os dados apresentados do indicador 6.3.1 tratou apenas de esgotos domésticos (domiciliares e serviços). A presente pesquisa que possui como foco o pré-tratamento de efluentes industriais, está intimamente ligada com esta meta 6.3, avaliada pelo indicador 6.3.1 no qual contribui com melhoria do tratamento de águas residuárias tratadas de forma segura no país.

O segundo indicador da meta 6.3, o 6.3.2 possui uma estreita relação com o indicador anterior 6.3.1, visto que o indicador monitora a qualidade da água, no qual havendo descartes inadequados de efluentes sem o devido tratamento adequado, leva à contaminação e degradação de seus corpos receptores.

No Brasil, de acordo com a ANA (2022), os dados do indicador 6.3.2 demonstram que no ano de 2018, 77,45% dos corpos hídricos possuía uma boa qualidade ambiental da água. O acompanhamento realizado entre os anos de 2010 e 2018, apontou uma melhora de 12,11% neste período.

A quarta meta do ODS 6, meta 6.4 da ONU corresponde:

Até 2030, aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores e assegurar retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para enfrentar a escassez de água, e reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez de água (ONU, 2016, pág. 21).

No Brasil o texto da meta foi readequado apenas para simplificação e maior clareza, sem alterar seu significado, retirou-se um dos termos escassez de água que estava repetido, sendo definido como: meta 6.4 “Até 2030, aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores, assegurando retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez” (IPEA, 2019). Os indicadores

responsáveis pelo levantamento de dados desta meta são: 6.4.1 “Alteração da eficiência no uso da água ao longo do tempo” (IPEA, 2019) e 6.4.2 “Nível de stress hídrico: proporção das retiradas de água doce em relação ao total dos recursos de água doce disponíveis”(IPEA, 2019).

O indicador 6.4.1 visa avaliar a eficiência do uso da água dos seguintes setores usuários: serviços, agropecuária e indústria. Tratando-se de um indicador econômico, uma maior eficiência reflete em reduções ou aumento do valor agregado bruto (VAB), esta avaliação reflete até que ponto o crescimento de um país depende da utilização dos recursos hídricos. De acordo com a ANA (2022), entre 2010 e 2018, observou-se uma redução na eficiência do uso da água, com recuperação nos anos mais recentes, variando de 80,93 R\$/m<sup>3</sup> em 2010 a 78,02 R\$/m<sup>3</sup> em 2018.

O segundo indicador da meta 6.4, o 6.4.2 aponta uma estimativa da pressão de consumo pelos recursos hídricos do país, além de considerar a necessidade ambiental de água para conservação dos ecossistemas aquáticos. Entre os anos de 2006 a 2019 a evolução do nível de stress hídrico no Brasil, variou de 1,33% a 1,72% respectivamente de acordo com a ANA (2022), resultados estes considerados como satisfatórios segundo a ONU que considera como tal, abaixo de 10%. Mas torna-se muito importante o acompanhamento, pois mudanças na intensidade das demandas ou balanços desfavoráveis podem gerar escassez e conflitos pelo uso em determinadas regiões.

A quinta meta do ODS 6, 6.5, da ONU corresponde a: “Até 2030, implementar a gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis, inclusive via cooperação transfronteiriça, conforme apropriado” (IPEA, 2019). Segundo o IPEA esta meta foi adequada para o Brasil para: “Até 2030, implementar a gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis de governo, inclusive via cooperação transfronteiriça” (IPEA, 2019), as expressões “conforme apropriado” foi retirada pois entende-se que esta meta se aplica ao Brasil, e a expressão “em todos os níveis” para em “ todos os níveis de governo”, pois trata-se de integrar ações governamentais por ser uma meta de implementação.

Os indicadores 6.5.1 no qual avalia o “Grau de Implementação da Gestão Integrada de Recursos hídricos (GIRH)” (IPEA, 2019) e 6.5.2 “Proporção das áreas de bacias hidrográficas transfronteiriças abrangidas por um acordo operacional para cooperação hídrica” (IPEA, 2019) monitoram a quinta meta.

O primeiro indicador 6.5.1 monitora dados que são coletados a cada três anos, onde sua avaliação é feita pela ONU. Espera-se um nível de pontuação entre 91 e 100 até 2030 para ser considerado adequado. O Brasil respondeu o questionário do indicador de forma participativa e no ano de 2019 atingiu o score de 63,1, uma evolução de 18,9 desde 2010 (ANA, 2022).

O segundo indicador 6.5.2 monitora dados da gestão compartilhada dos recursos hídricos transfronteiriços, onde países que possuem recursos hídricos compartilhados firmam acordos de monitoramento. Este monitoramento abrange as bacias hidrográficas e os aquíferos transfronteiriços e são importantes instrumentos para o fortalecimento da gestão destes recursos hídricos em cada país. O Brasil possui a maior bacia hidrográfica do mundo, a bacia Amazonas, e no ano de 2019, 99,76% das bacias de águas superficiais estavam cobertas por acordos internacionais. Com relação ao aquífero, o Brasil não possui acordos operacionais para cooperação na gestão destes recursos hídricos. No ano de 2019, no geral o monitoramento dos recursos hídricos compartilhados no Brasil correspondia então a 62% (ANA, 2022).

A sexta meta 6.6, da ONU corresponde: “Até 2020, proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água, incluindo montanhas, florestas, zonas úmidas, rios, aquíferos e lagos” (IPEA, 2019). Esta meta manteve-se sem alteração para o Brasil. O indicador 6.6.1 monitora esta meta.

O indicador 6.6.1 monitora a: “Alteração na extensão dos ecossistemas relacionados a água ao longo do tempo” (IPEA, 2019) contemplando águas superficiais, qualidade da água e área úmidas, nos ecossistemas aquáticos (lagos, reservatórios, mangues, rios e bacias hidrográficas, verificando mudança em sua área, quantidade de qualidade da água. Em relação ao país, nos últimos 5 anos, verificou-se que 21% das bacias hidrográficas sofreram alterações intensas nos últimos anos, destacando-se perdas na extensão de rios e lagos e o aumento de reservatórios superficiais (ANA, 2022).

A sexta meta também aborda outras duas metas que se relacionam com o mesmo tema, no qual são estabelecidas pela meta 6.a e meta 6.b. A meta 6.a compreende a:

Até 2030, ampliar a cooperação internacional e o apoio à capacitação para os países em desenvolvimento em atividades e programas relacionados à água e saneamento, incluindo a coleta de água, a dessalinização, a eficiência

no uso da água, o tratamento de efluentes, a reciclagem e as tecnologias de reuso (ONU, 2016, pág. 22).

No Brasil, esta meta foi adequada para:

Até 2030, ampliar a cooperação internacional e o apoio ao desenvolvimento de capacidades para os países em desenvolvimento em atividades e programas relacionados à água e ao saneamento, incluindo, entre outros, a gestão de recursos hídricos, a coleta de água, a dessalinização, a eficiência no uso da água, o tratamento de efluentes, a reciclagem e as tecnologias de reuso (IPEA, 2019).

Foi incluída a frase "entre outros, a gestão de recursos hídricos" para reforçar um dos aspectos centrais a cooperação internacional e apoio técnico (IPEA, 2019). O indicador 6.a.1 que aborda o "Montante de ajuda oficial ao desenvolvimento na área da água e saneamento, inserida num plano governamental de despesa" monitora a meta 6.a. Em 2019 a ajuda oficial ao desenvolvimento chegou a 42,1 milhões de dólares, percebe-se que este montante vem diminuindo desde 2011, enquanto a nível mundial para este setor o montante tem crescido 3% (2015-2019) (ANA, 2022).

A ANA também enfatiza que a participação de instituições e comunidades na gestão de recursos hídricos e do saneamento é fundamental para criação de políticas públicas e iniciativas que objetivam o desenvolvimento sustentável (ANA, 2022).

Sendo assim, a meta 6.b da ONU aborda "Apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais, para melhorar a gestão da água e do saneamento" (ONU, 2016). Adequada para o Brasil: "Apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais, priorizando o controle social para melhorar a gestão da água e do saneamento" (IPEA, 2019). Esta meta é avaliada pelo indicador 6.b.1 "Proporção das unidades administrativas locais com políticas e procedimentos estabelecidos e operacionais para a participação das comunidades locais na gestão de água e saneamento" (IPEA, 2019). Os dados deste indicador avalia seis subsetores: saneamento (rural e urbano), água potável (rural e urbano), promoção da higiene e planejamento e gestão de recursos hídricos. O Brasil informou atendimento de 5 dos seis critérios avaliados pelo indicador, apenas promoção da higiene a nível nacional não foi atendida em 2019 (ANA, 2022).

Já em relação ao objetivo 9, que aborda “Construir infraestruturas resilientes, promovendo a industrialização inclusiva e sustentável, e fomentar a inovação” (ONU, 2016), possui relação com este trabalho em sua meta 9.5 que visa:

Fortalecer a pesquisa científica, melhorar as capacidades tecnológicas de setores industriais em todos os países, particularmente nos países em desenvolvimento, inclusive, até 2030, incentivando a inovação e aumentando substancialmente o número de trabalhadores de pesquisa e desenvolvimento por milhão de pessoas e os gastos público e privado em pesquisa e desenvolvimento (ONU, 2016, pág. 24)

Adaptada para o Brasil para:

Fortalecer a pesquisa científica e melhorar as capacidades tecnológicas das empresas, incentivando, até 2030, a inovação, visando aumentar o emprego do conhecimento científico e tecnológico nos desafios socioeconômicos nacionais e nas tecnologias socioambientalmente inclusivas; aumentar a produtividade agregada da economia.

- a) Aumentar para 3 mil o número de trabalhadores de pesquisa e desenvolvimento por milhão de habitantes;
- b) Aumentar para 120 mil o número de técnicos e pesquisadores ocupados em P&D nas empresas; e
- c) Aumentar para 2% os gastos públicos e privados em pesquisa e desenvolvimento em relação ao PIB (IPEA, 2019).

De acordo com o IPEA (2019), a devida adequação levou em consideração os números de trabalhadores por habitante destinados a pesquisa e desenvolvimento. Sendo assim, mediante a realidade brasileira a meta foi adequada.

Para avaliação desta meta, dois indicadores são monitorados, 9.5.1 “Dispêndio em P&D em proporção do PIB” (IPEA, 2019) e 9.5.2 “Pesquisadores (em equivalência de tempo integral) por milhão de habitantes” (IPEA, 2019).

O indicador 9.5.1 refere-se ao montante de recursos monetários gastos em P&D, no ano de 2018 este montante foi 1,17, para 1,21 em 2019. Já o indicador 9.5.2 passou de 838 no ano de 2013, para 888 em 2019.

O avanço envolvendo estes temas, contribui com o desenvolvimento do país e com a qualidade e segurança dos recursos hídricos.

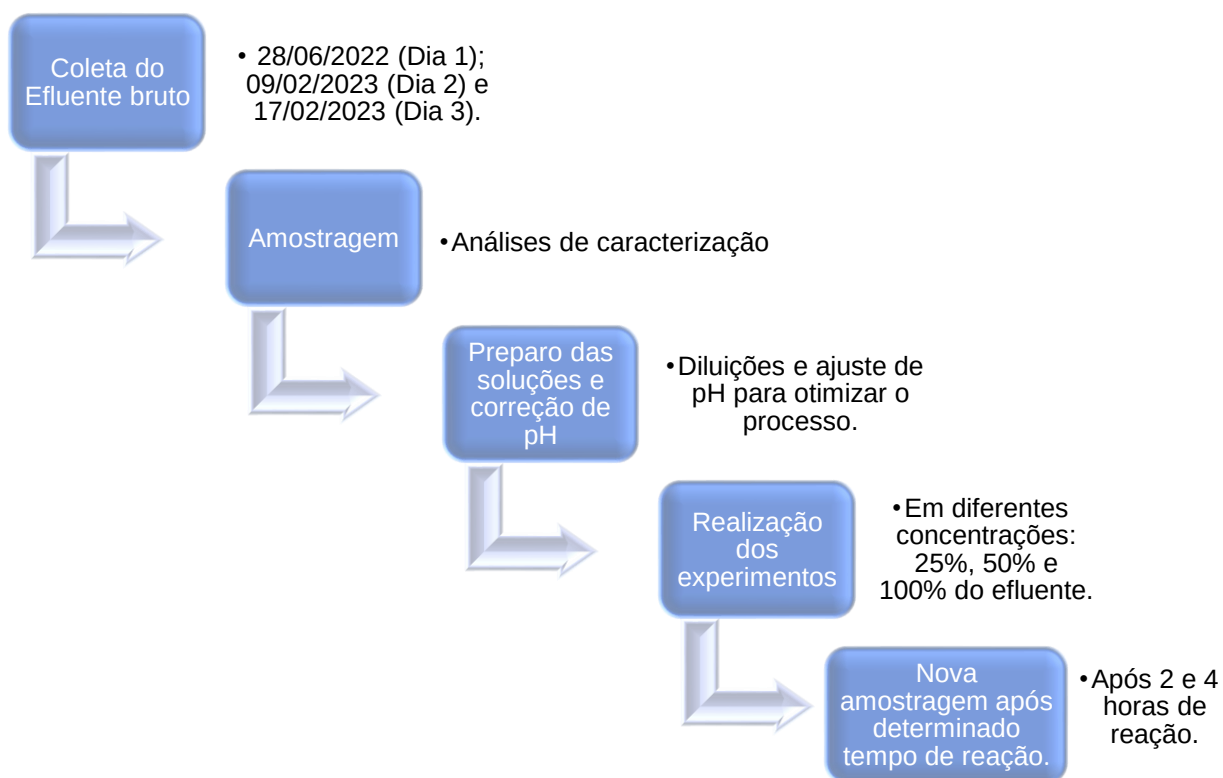
### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A base metodológica de natureza quantitativa, aborda uma pesquisa experimental, realizada em laboratório.

A coleta do efluente bruto e as análises para caracterização inicial e após cada pré-tratamento foram realizadas no laboratório da agroindústria geradora do efluente de balas de gomas.

O Fluxograma 1 mostra as etapas realizadas.

**Fluxograma 1-** Etapas realizadas.



**Fonte:** Elaboração própria.

As amostras de efluentes, foram coletadas em diferentes dias para avaliar a carga orgânica da agroindústria: nos DIAS 1 (28/06/22) e 3 (17/02/23) a linha produzia o núcleo da bala de goma conhecida como “jelly beans”, e no DIA 2 (09/02/23) produzia balas de goma de sabor menta.

### 3.1 Análises químicas

Após a coleta, foram amostradas e realizadas análises para caracterização físico-química dos efluentes, como mostra o quadro 3. As mesmas análises foram realizadas após cada experimento. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

**Quadro 3** – Análises para caracterização do efluente bruto e após os pré-tratamentos aplicados.

| <b>Parâmetros</b>           | <b>Siglas - unidade de medida</b> |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| Demanda química de oxigênio | (DQO) - mg/L                      |
| Sólidos Suspensos totais    | (SST) - mg/L                      |
| Sólidos totais dissolvidos  | (STD) – mg/L                      |
| Temperatura                 | (T) - °C                          |
| Condutividade               | (CE) - $\mu$ S                    |
| pH                          | Unidade arbitrária                |
| Oxigênio dissolvido         | (OD) - mg/L                       |
| Brix                        | %                                 |

**Fonte:** Elaboração própria.

#### 3.1.1 DQO

A DQO quantifica a quantidade de  $O_2$  necessária para a oxidação da matéria orgânica por meio de um agente químico. A análise da DQO foi realizada pelo método colorimétrico (ASTM, 1995). A amostra foi adicionada à solução de digestão ( $K_2Cr_2O_7$ ,  $H_2SO_4$  e  $HgSO_4$ ) e mantida em um bloco digestor (Quimis) a  $150^\circ C$  por 2 h. A amostra foi resfriada e sedimentada, após foi feita uma leitura em 600 nm usando um espectrofotômetro UV-Vis (Quimis). Os frascos usados para análise de DQO foram Hanna instruments, em conformidade com o método Stand Methods 5220D, método ISO 15705:2022 e EPA 410.4.

#### 3.1.2 SST

A metodologia 2540 D - Standard Methods for the Examination of water and Wastewater (APHA, 1998) foi utilizada para determinação dos sólidos suspensos totais. Foram utilizados filtros de fibra de vidro de  $1,2 \mu m$  com 47 mm de diâmetro. O cálculo utilizado para determinação da quantidade de SST, consta na metodologia citada e está demonstrado na equação 3:

$$\text{mg total de sólidos suspensos/L} = \frac{(A - B) \times 1000}{\text{Volume da amostra (mL)}} \quad \text{eq.(3)}$$

**Onde:**

A = peso do filtro + resíduo seco, mg, e

B = peso do filtro, mg.

### 3.1.3 STD, °C, CE

As análises de sólidos dissolvidos totais, temperatura e condutividade elétrica foram realizadas pelo aparelho digital multiparâmetro Ak 50 da marca Akso com eletrodos específicos.

### 3.1.4 pH

O pH foi medido usando o aparelho Ak 86504, da marca Akso.

### 3.1.5 Oxigênio dissolvido

O OD foi medido usando o aparelho Ak 87, da marca Akso.

### 3.1.6 Brix

O Brix foi medido usando o aparelho refratômetro Abbe de bancada da marca Quimis.

## 3.2 Processo Fenton

Para realização dos experimentos aplicando o processo oxidativo Fenton, as concentrações de  $\text{Fe}^{2+}$  ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) e de ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) 29%(v/v) foram fixadas em 10 mg/L e 100 mg/L, respectivamente (1:10) (FORTI *et al.*, 2020).

Como ilustrado no fluxograma 1, o método consistiu nas seguintes etapas: coleta do efluente bruto (em diferentes dias); amostragem para realização das análises de caracterização; preparo das soluções e correção de pH; realização dos experimentos do processo Fenton denominado F1, F2 e F3 nas concentrações de 25%, 50% e 100% de efluente respectivamente; coleta de amostras para análise após

2 horas de experimento; coleta de amostras para análise após 4 horas de experimento.

A tabela 3, apresenta as diferentes concentrações do efluente (F1, F2 e F3) que foram utilizadas nos experimentos.

**Tabela 3** – Concentrações do efluente e dos reagentes de Fenton analisadas.

| Identificação | Descrição                                                                                                                                 | Concentração     |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| <b>F1</b>     | 60 mL de água destilada<br>20 mL de efluente industrial<br>600 µl de sol. Sulfato de ferro 8,3 g/L<br>31 µl de peróxido de hidrogênio 29% | 25% de efluente  |
| <b>F2</b>     | 40 mL de água destilada<br>40 mL de efluente industrial<br>600 µl de sol. Sulfato de ferro 8,3 g/L<br>31 µl de peróxido de hidrogênio 29% | 50% de efluente  |
| <b>F3</b>     | 80 mL de efluente industrial<br>600 µl de sol. Sulfato de ferro 8,3 g/L<br>31 µl de peróxido de hidrogênio 29%                            | 100% de efluente |

**Fonte:** Elaboração Própria.

O ajuste de pH para 3 do efluente bruto foi realizado com solução de ácido sulfúrico a 0,1 mol/L, antes da adição dos reagentes do processo Fenton. Esta etapa importante, pois, otimiza a reação de Fenton, pois mantém o ferro na forma solúvel, alcançando alta eficácia de degradação (Zhang *et al.*, 2019). Após a aplicação do processo Fenton, as análises físico-químicas foram repetidas.

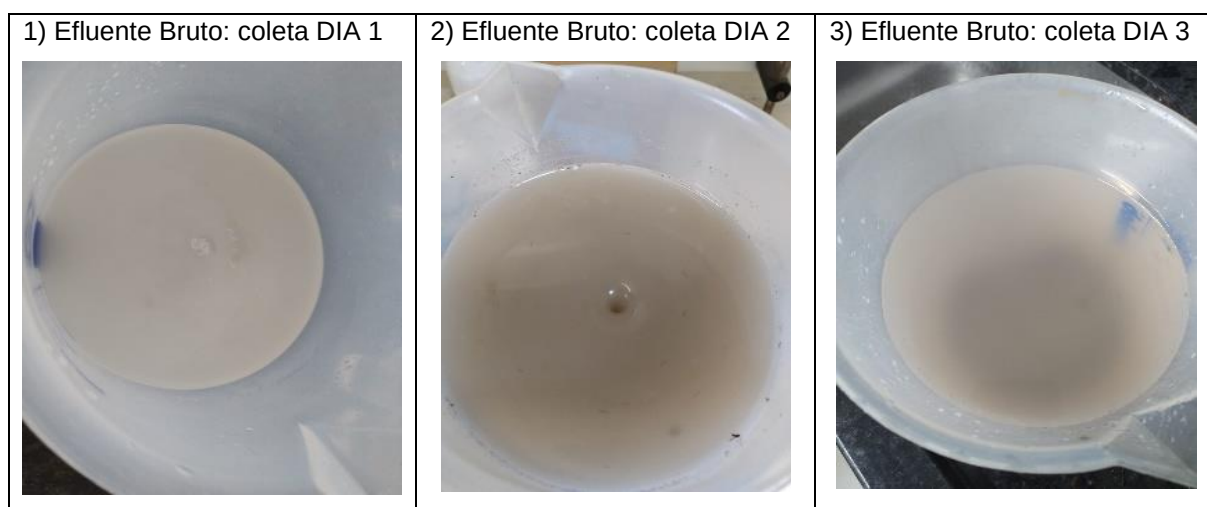
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Resultados da caracterização do efluente bruto

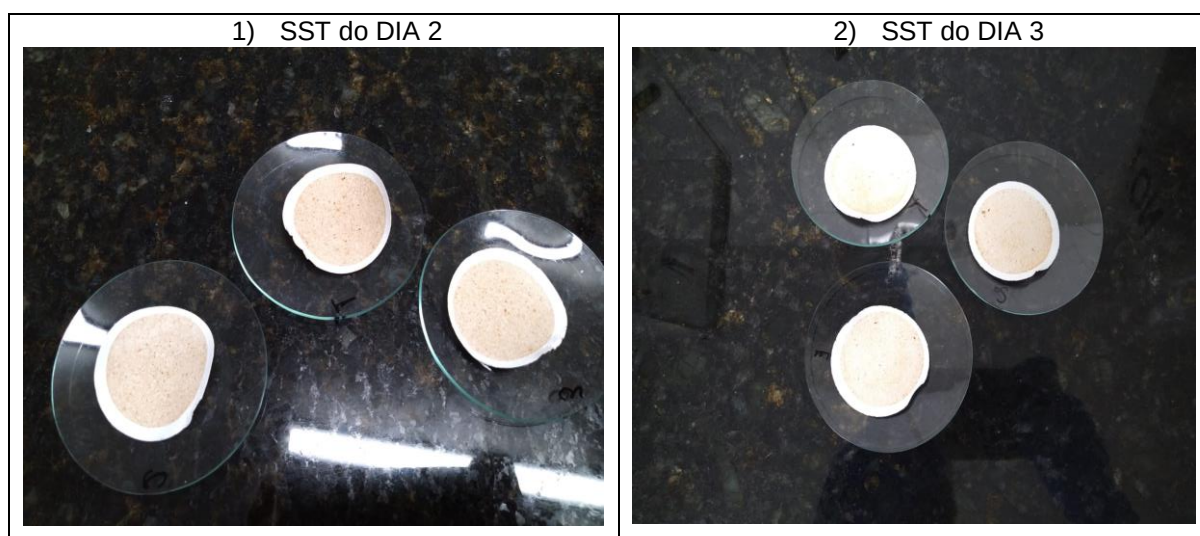
A matéria orgânica do efluente analisado corresponde a resíduos industriais de processo de balas de gomas a base de amido. Como já descrito, no dia 1 e 3, a linha produzia o núcleo da bala “jelly beans” e no dia 2, produzia a bala de goma sabor menta, o que pode mudar a característica do efluente coletado. No geral a composição das balas de goma produzidas mantém como formulação base os seguintes ingredientes: amido de milho modificado de origem transgênica, açúcar e glicose, e especificamente para a bala de goma sabor menta inclui-se aromatizantes e corantes artificiais (amarelo tartrazina e azul brilhante).

A figura 1 corresponde às imagens do efluente bruto coletado nos diferentes dias e a figura 2 ilustra as análises de SST realizadas.

**Figura 1** – Amostras do efluente coletado em diferentes dias da semana.



**Fonte:** Elaboração Própria.

**Figura 2** – Análise de SST do efluente bruto após secagem em estufa 105°C.

Fonte: Elaboração Própria.

A tabela 4 apresenta os resultados proveniente das análises de caracterização do efluente bruto, representados pela média aritmética e desvio padrão de cada dia de coleta.

**Tabela 4** – Análises físico-químicas do efluente bruto coletado em diferentes dias

|                   | DIA 1    |         | DIA 2    |         | DIA 3   |      |
|-------------------|----------|---------|----------|---------|---------|------|
|                   | Méd.     | DP      | Méd.     | DP      | Méd.    | DP   |
| <b>DQO (mg/L)</b> | 22.223,3 | 1.377,4 | 45.280,0 | 2.343,4 | 1.534,0 | 17,7 |
| <b>SST (mg/L)</b> | -*       | -*      | 6.810,0  | 296,9   | 186,6   | 11,5 |
| <b>STD (mg/L)</b> | 333,3    | 1,5     | 1.393,0  | 5,7     | 241,6   | 0,5  |
| <b>T (°C)</b>     | 32,8     | 0,0     | 29,4     | 0,0     | 27,5    | 0,0  |
| <b>CE (µs)</b>    | 499,3    | 3,5     | 2.086,6  | 11,5    | 362,3   | 0,5  |
| <b>pH</b>         | 5,0      | 0,0     | 6,5      | 0,0     | 5,4     | 0,0  |
| <b>OD (mg/L)</b>  | 2,6      | 0,0     | 4,3      | 0,0     | 4,6     | 0,0  |
| <b>BRIX (%)</b>   | 1,1      | 0,0     | 1,2      | 0,0     | 0,0     | 0,0  |

Médias aritméticas (Méd.) e desvio padrão (DP).

**Nota:** \*Nesta data o equipamento ainda não tinha sido adquirido.

Fonte: Elaboração Própria.

A oscilação de carga orgânica entre os dias analisados ocorre devido ao período de lavagem por bateladas e varia de acordo com a pré-limpeza realizada nos tachos antes da lavagem com água corrente, ou seja, se a pré-limpeza não for adequada, o resíduo sobressalente será descartado durante a lavagem seguindo para a estação de tratamento onde aumentará a carga orgânica do efluente.

O resultado encontrado de DQO é alto se comparado a outros efluentes industriais. De acordo com Davies e Stulp (2016) o valor médio de DQO encontrado no efluente da empresa Docile Alimentos Ltda, que na época era a segunda maior produtora de balas de gomas no Brasil, é de 10.700 mg/L, e outros como: de curtumes 1.300 mg/L (KALYANARAMAN *et al.*, 2012), de moinho de azeite 1.990 mg/L (LUCAS, PERES, 2009), de celulose 400 mg/L (CATALKAYA; KARGI, 2007), de lixiviado de aterro sanitário 2.428 mg/L (MORAVIA; LANGE; AMARAL, 2011) e de esgoto sanitário: 427 a 678 mg/L (RUIZ *et al.*, 2022).

No caso específico do efluente desta agroindústria, para o lançamento final é necessário que atenda o padrão para lançamento estipulado pelo decreto 8468/76 artigo 19 A, pois a indústria está situada em local onde possui ligação com o sistema público de coleta de esgotos. Sendo assim, na cidade de Tupã a SABESP fica responsável pelo recebimento, desde que a agroindústria atenda aos requisitos exigidos tendo como complemento o comunicado 03/19 desta companhia.

O comunicado 03/19 complementa e disponibiliza a equação de cálculo para encontrar o fator poluidor do efluente antes de seu recebimento. Esse fator ( $k_1$ ) é utilizado para empreendimentos ligados à rede coletora de esgoto, no qual o efluente da agroindústria avaliada se enquadra. Para avaliar  $k_1$ , análises prévias de DQO e SST são realizadas e seus respectivos resultados são utilizados para cálculo, de acordo com a equação 1, já descrita no item 2.3.

Os resultados do cálculo de  $k_1$  estão apresentados na tabela 5. Nos cálculos foi utilizado o valor de 300 mg/L de SST para os DIAS 1 e 3. No DIA 1 o aparelho para análise de SST ainda não estava disponível, sendo assim o valor adotado para cálculo seguiu como regra o valor estipulado não inferior a 300 mg/L como consta no respectivo comunicado já que os resultados encontrados de DQO estão acima de 450 mg/L. O DIA 3 teve como resultado de SST 186,67 mg/L inferior ao da equação, sendo necessário também adotar o valor de 300 mg/L para cálculo.

**Tabela 5** – Fator  $k_1$  calculado para o efluente bruto em diferentes dias de coleta

|       | DIA 1  | DIA 2 | DIA 3 |
|-------|--------|-------|-------|
| $k_1$ | 10,19* | 23,83 | 1,46* |

**Nota\*:** utilizado SST de 300 mg/L (mínimo permitido pelo comunicado 03/19).

**Fonte:** Elaboração Própria.

Para resultados de DQO e SST abaixo dos respectivos valores estabelecidos, o fator  $k_1$  de poluição para o ramo de indústrias alimentícias estipula o fator de 1,55 como consta na tabela I do respectivo comunicado (SABESP, 2019). Quanto maior o índice poluidor do efluente, maior é a taxa de cobrança para lançamento, pois este fator poluidor também é considerado para cálculo de cobrança mensal.

Perante a avaliação inicial, o índice poluidor do efluente coletado nos DIAS 1 e 2, apresentam um fator poluidor respectivamente de 6,57 e 15,37 vezes maior que o aplicado para as indústrias alimentícias. Somente o DIA 3 apresentou um resultado satisfatório correspondendo ao fator  $k_1$  de 1,46, mas para a companhia o fator corresponderá 1,55 devido ao ramo de atividade exercido.

A faixa de pH encontrada nas amostras dos DIAS 1 e 3, não atendem o parâmetro para lançamento do decreto 8486/76 artigo 19 A, que estipula uma faixa para lançamento de 6 a 10 (SÃO PAULO, 1976). Esta faixa tem como critério a proteção à vida aquática, e sua influência fora desta faixa causam efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies (CETESB, 2014). Mesmo o lançamento do efluente sendo destinado a rede coletadora de esgoto, no qual posteriormente passará por novo tratamento, é necessário o atendimento destes parâmetros.

Os resultados obtidos de temperatura nas três amostras estão de acordo com o decreto, pois o limite estipulado para lançamento se estende até 40°C (SÃO PAULO, 1976). Este parâmetro desempenha um papel crucial no meio aquático, a elevação da temperatura em um corpo d'água geralmente é causada por despejos industriais. Em geral à medida que a temperatura aumenta, de 0 a 30°C, calor específico, constante de ionização, tensão superficial, compressibilidade, viscosidade e calor latente de vaporização diminuem, enquanto a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam. Corpos aquáticos possuem limites de tolerância térmicas, sendo assim o controle e monitoramento é imprescindível (CETESB, 2014).

A condutividade elétrica dos três dias avaliados estão acima de 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . CETESB (2014) aponta que valores acima de 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  indicam ambientes impactados e à medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados ao meio a condutividade aumenta. De acordo com Prosab (2006) a condutividade elétrica é um parâmetro físico-químico que indica quantitativamente a capacidade da água de transmitir corrente elétrica, em função da concentração de cátions e ânions e está associada à concentração de sólidos totais dissolvidos e salinidade.

A análise de sólidos totais dissolvidos e sólidos em suspensão totais correspondem a toda matéria orgânica presente na solução que após sua evaporação em determinadas temperaturas que permanece como resíduo. O limite máximo permitido pela Resolução Conama nº 357/2005, de sólidos dissolvidos totais para águas doces é de 500 mg/L, sendo assim somente o DIA 2 não se enquadrou apresentando STD de 1.390 mg/L. O acompanhamento dos sólidos também pode trazer informações importantes para definir e otimizar o método de tratamento do efluente, a relação entre sólidos suspensos voláteis (SSV) e SST podem mostrar a relação de mineralização de um lodo utilizado para tratamento. Os sólidos em excesso são prejudiciais pois em águas podem sedimentar no leito dos rios, retraindo bactérias e resíduos orgânicos promovendo a decomposição anaeróbia, além de causar danos à vida aquática (CESTESB, 2014).

O parâmetro de OD analisados nas amostras dos DIAS 2 e 3 tiveram resultados próximos, em torno de 4,5. Peixes não resistem a concentrações de OD na água inferiores a 4,0 mg/L. No DIA 1 uma concentração menor foi encontrada 2,63 mg/L, mas ainda sim acima de 2 mg/L. De acordo com Silva *et al.*, (2003) e CETESB (2014) quando a taxa de OD é inferior a 2 mg/L, microrganismos aeróbios não conseguem sobreviver. O acompanhamento deste parâmetro segundo Derisio (2016), destaca-se pelo fato de que o aumento da poluição provoca sua diminuição devido ao seu consumo na decomposição de compostos orgânicos.

A análise de Brix corresponde ao teor de sólidos solúveis em uma solução de sacarose. Neste caso específico como o produto em sua formulação possui um alto teor de sacarose, a análise foi necessária para caracterização do mesmo.

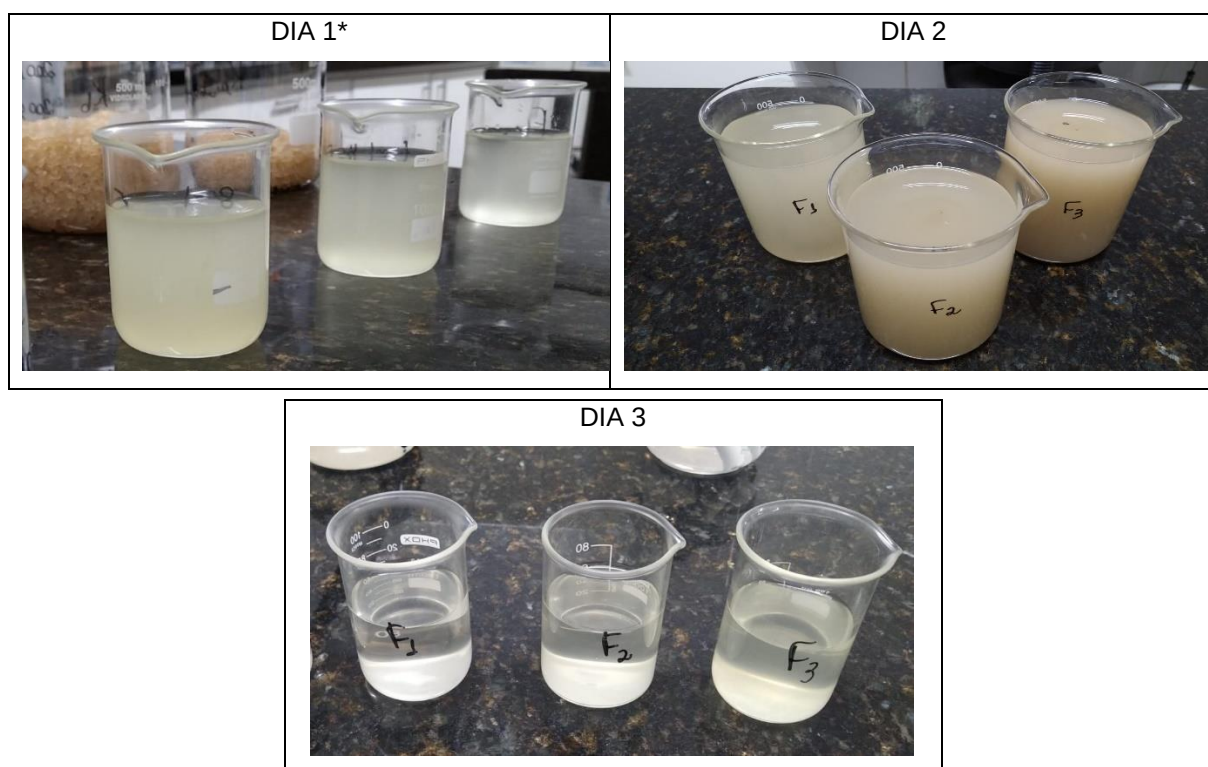
Sendo assim, após realizada as análises de caracterização, os experimentos utilizando o reagente Fenton como pré-tratamento foram aplicados para avaliação.

## **4.2 Processo Fenton**

### **4.2.1 Experimentos com o reagente Fenton**

A figura 3 corresponde as imagens após a realização dos experimentos em diferentes concentrações (F1; F2; F3).

**Figura 3** – Experimentos com o Reagente Fenton em diferentes dias de coleta

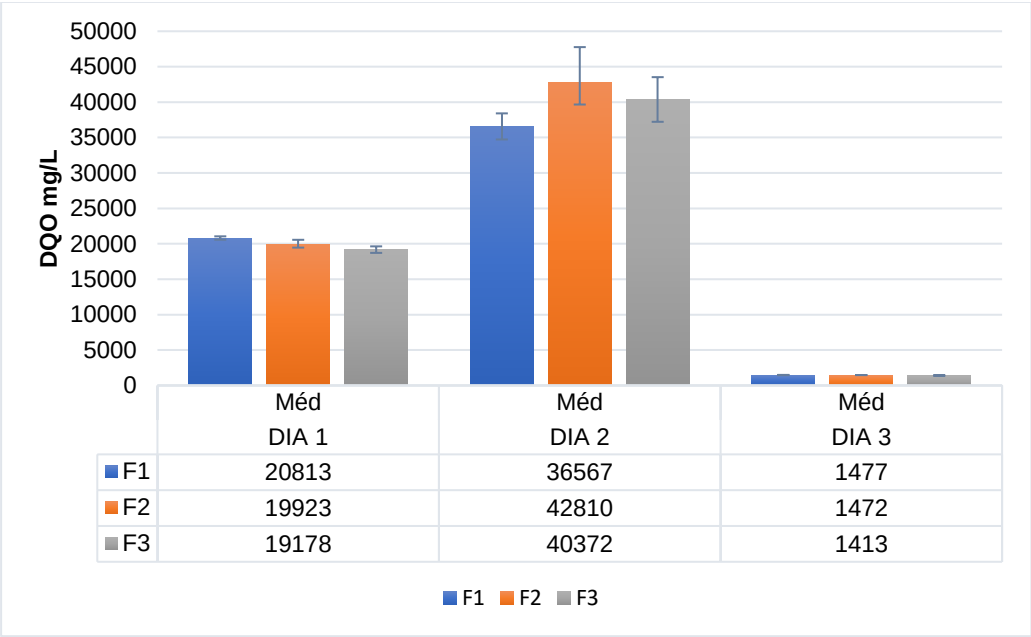


\*Nota: Da direita para esquerda: F1; F2; F3.

**Fonte:** Elaboração Própria.

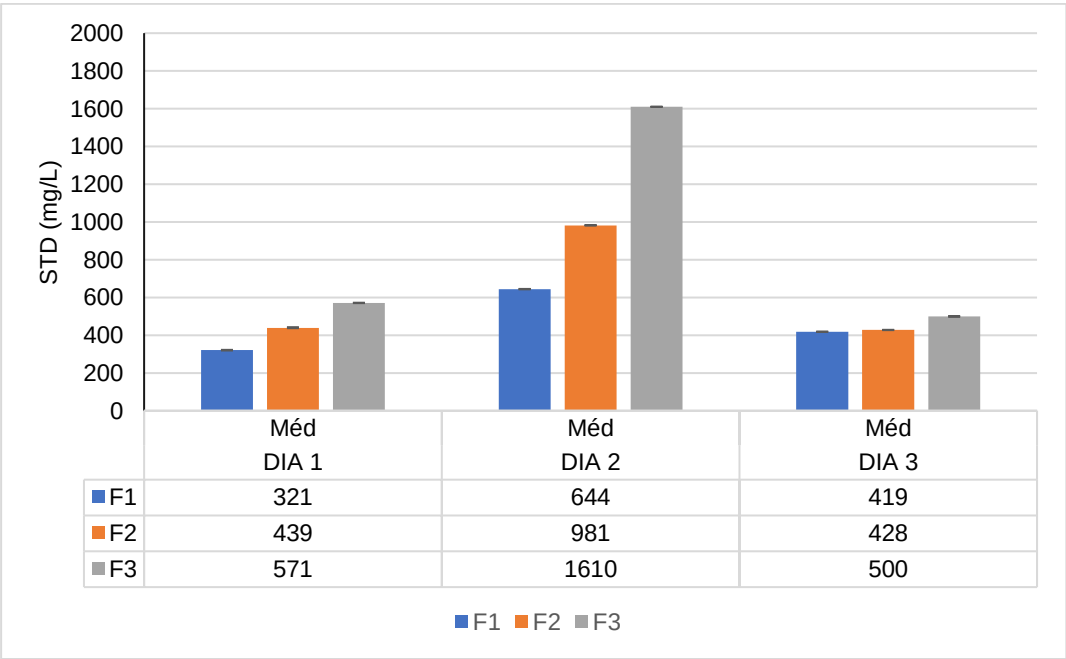
Após duas horas de reação, os experimentos foram amostrados e os seguintes resultados analíticos dos parâmetros analisados, representados pela média aritmética e desvio padrão foram obtidos.

**Gráfico 1** - Análises físico-químicas do efluente em diferentes concentrações após 2 horas de aplicação do pré-tratamento com reagente de Fenton em diferentes dias de coleta – Parâmetro DQO.



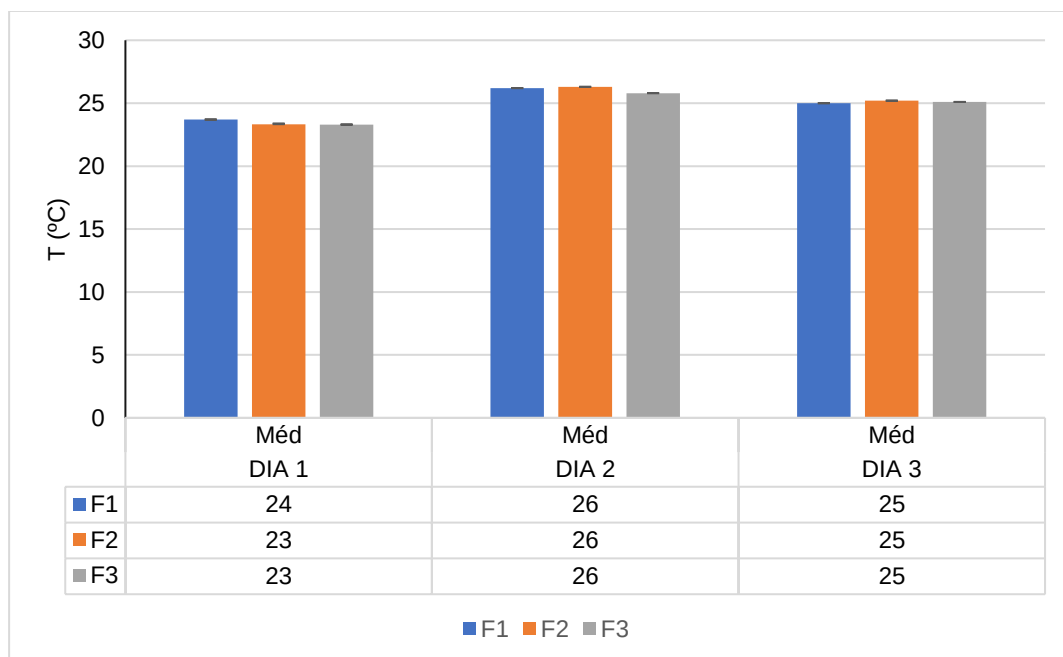
Fonte: Elaboração Própria.

**Gráfico 2** - Análises físico-químicas do efluente em diferentes concentrações após 2 horas de aplicação do pré-tratamento com reagente de Fenton em diferentes dias de coleta – Parâmetro STD.



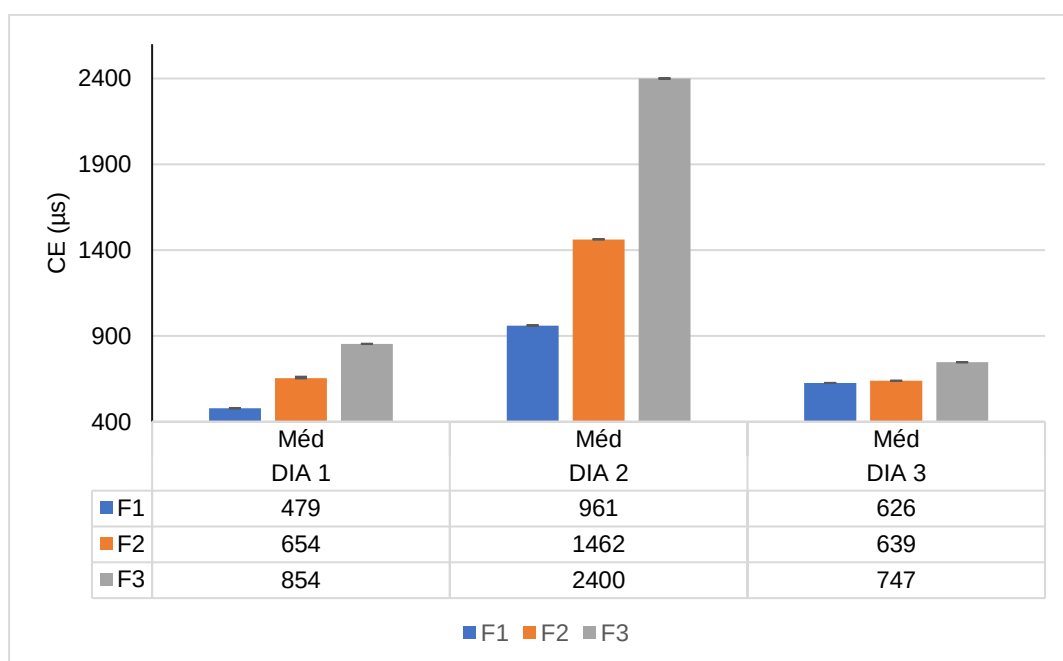
Fonte: Elaboração Própria.

**Gráfico 3** - Análises físico-químicas do efluente em diferentes concentrações após 2 horas de aplicação do pré-tratamento com reagente de Fenton em diferentes dias de coleta – Parâmetro Temperatura.



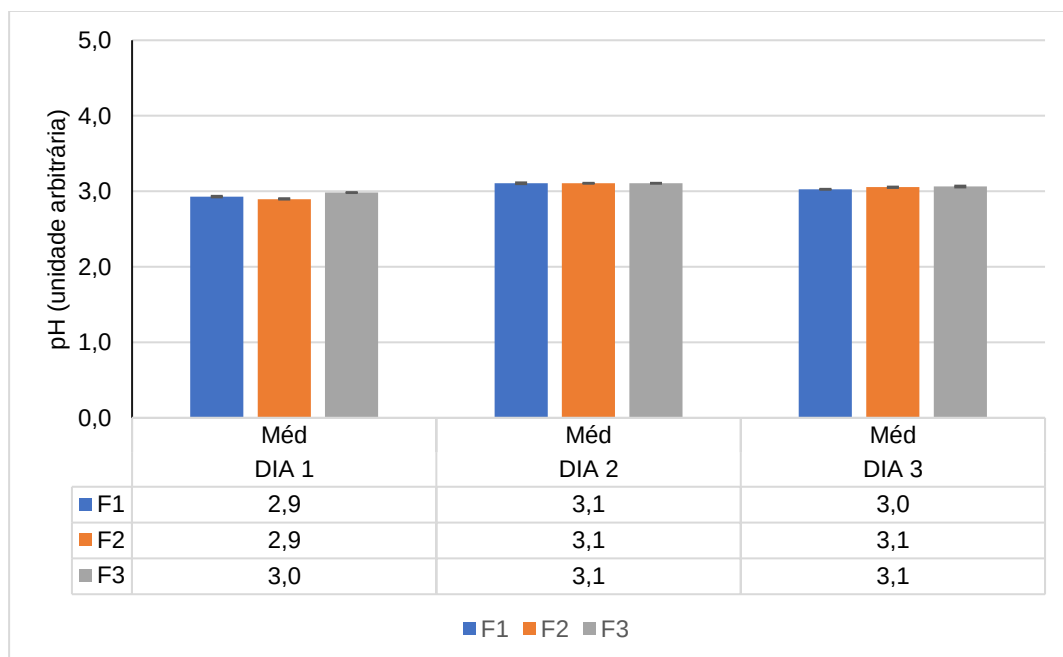
Fonte: Elaboração Própria.

**Gráfico 4** - Análises físico-químicas do efluente em diferentes concentrações após 2 horas de aplicação do pré-tratamento com reagente de Fenton em diferentes dias de coleta – Parâmetro CE.



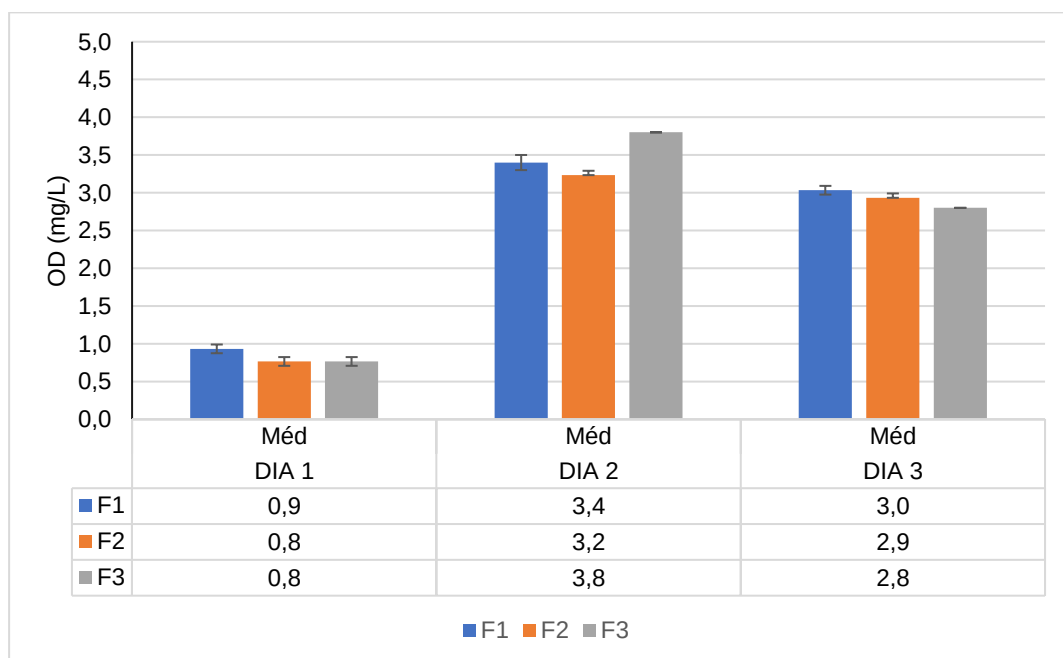
Fonte: Elaboração Própria.

**Gráfico 5** - Análises físico-químicas do efluente em diferentes concentrações após 2 horas de aplicação do pré-tratamento com reagente de Fenton em diferentes dias de coleta – Parâmetro pH.



Fonte: Elaboração Própria.

**Gráfico 6** - Análises físico-químicas do efluente em diferentes concentrações após 2 horas de aplicação do pré-tratamento com reagente de Fenton em diferentes dias de coleta – Parâmetro OD.



Fonte: Elaboração Própria.

Em média, levando em consideração as concentrações aplicadas (F1; F2; F3) para cada dia, houve uma redução de carga orgânica de 5,21% para o DIA 3, 10,13% para DIA 1 e 11,84% para o DIA 2. Quando se trata de efluente “real”, há muitos compostos orgânicos que são oxidados pelo processo, porém formam intermediários de reação que ainda contribuem para valores de DQO. Nesses casos, o tempo é o fator importante. Barbusiński (2004 citado por ZIEMBOWICZ; KIDA, 2022), relata que o tempo necessário de reação depende estritamente do tipo de substrato e dos parâmetros de processo, podendo levar minutos a várias horas para melhor eficiência.

O experimento F1 do DIA 2 resultou em melhor remoção da DQO comparado aos outros experimentos, alcançando uma redução de 19,24% nas primeiras duas horas. Em relação aos outros parâmetros deste dia, houve redução total do BRIX, assim, como em todos os experimentos dos dias avaliados, entretanto, houve aumento de STD e CE devido a adição de sulfato ferroso, como fonte de  $\text{Fe}^{2+}$ , para melhoria do desempenho da reação (MOREIRA et al., 2015).

A amostra do DIA 3 do efluente bruto apresentou a menor concentração de carga orgânica inicial entre as coletas, todavia também apresentou menor remoção de DQO após a realização dos experimentos com Fenton. A concentração F1 que possuía a menor concentração dos experimentos, obteve uma redução de 3,71% e novamente um aumento de STD e CE. De acordo com Ribeiro *et al.*, (2020) e Ribeiro e Nunes (2021), a taxa de degradação de compostos orgânicos pode variar de acordo com a concentração dos reagentes de Fenton. Se o experimento possuir um excesso das concentrações na relação  $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ , pode ocorrer a diminuição da degradação de compostos orgânicos. O excesso de  $\text{Fe}^{2+}$  pode aumentar a quantidade de sólidos solúveis e condutividade elétrica do efluente tratado, já o excesso de  $\text{H}_2\text{O}_2$  de acordo com Ribeiro e Nunes (2021) e Ziembowicz e Kida (2022), pode interferir na análise de DQO aumentando seu valor.

O pH após 2 horas de reação no experimento do DIA 1 apresentou uma pequena oscilação em relação ao valor inicial (3,0), segundo Moravia (2011) e Ziembowicz e Kida (2022), o decréscimo ao longo do tempo de reação pode ser explicado pela presença de íons  $\text{H}_3\text{O}^+$  resultantes da quebra de compostos em ácidos orgânicos e de reações secundárias do processo Fenton. Já em relação aos outros dias, o pH se manteve estável.

Em relação ao OD, o DIA 1 apresentou o maior consumo, que de acordo com Albuquerque *et. al.*, (2016) pode estar relacionado com a mineralização da matéria orgânica em CO<sub>2</sub>.

Aplicando a equação do comunicado 03/19 de cálculo  $k_1$ , para os melhores resultados de redução de DQO para cada dia de experimento, mantendo o SST fixo ao calculado anteriormente, obtém-se os seguintes resultados apresentados na tabela 6.

**Tabela 6** – Fator calculado de  $k_1$  para as melhores reduções de DQO nas primeiras 2 horas de reação.

|                | DIA 1       | DIA 2 | DIA 3 |
|----------------|-------------|-------|-------|
| Conc. efluente | Fator $k_1$ |       |       |
| <b>F3</b>      | 8,90        |       |       |
| <b>F1</b>      |             | 20,15 |       |
| <b>F3</b>      |             |       | 1,40  |

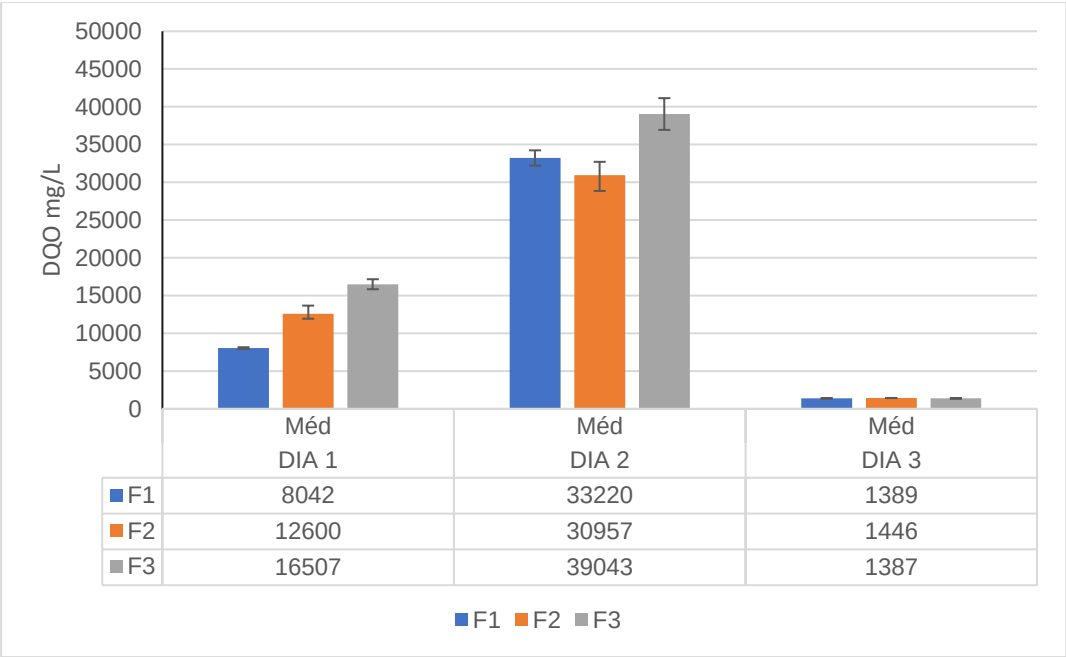
**Fonte:** Elaboração Própria.

O índice poluidor do DIA 1 após a aplicação do pré-tratamento em F3, passou a ser 8,90 com uma redução de 12,65% em comparação ao resultado inicial apresentado na tabela 5. Já para os DIAS 2 e 3, houve uma redução no índice poluidor para as concentrações de F1 e F3 de 15,44% e 4,10% respectivamente.

Em relação a temperatura, todas as concentrações entraram em equilíbrio com a temperatura ambiente de seu respectivo dia, mesmo o processo Fenton sendo exotérmico (LEE; LEE; YOON, 2003). O experimento do DIA 1 sofreu o maior ajuste, média de 32,80 °C para 23,44°C. De acordo com Ziembowicz e Kida (2022), embora tipicamente a aplicação do processo Fenton ocorra em 20-30°C, alguns estudos sobre o efeito de altas temperaturas podem melhorar em certos casos aumentando sua eficiência de oxidação.

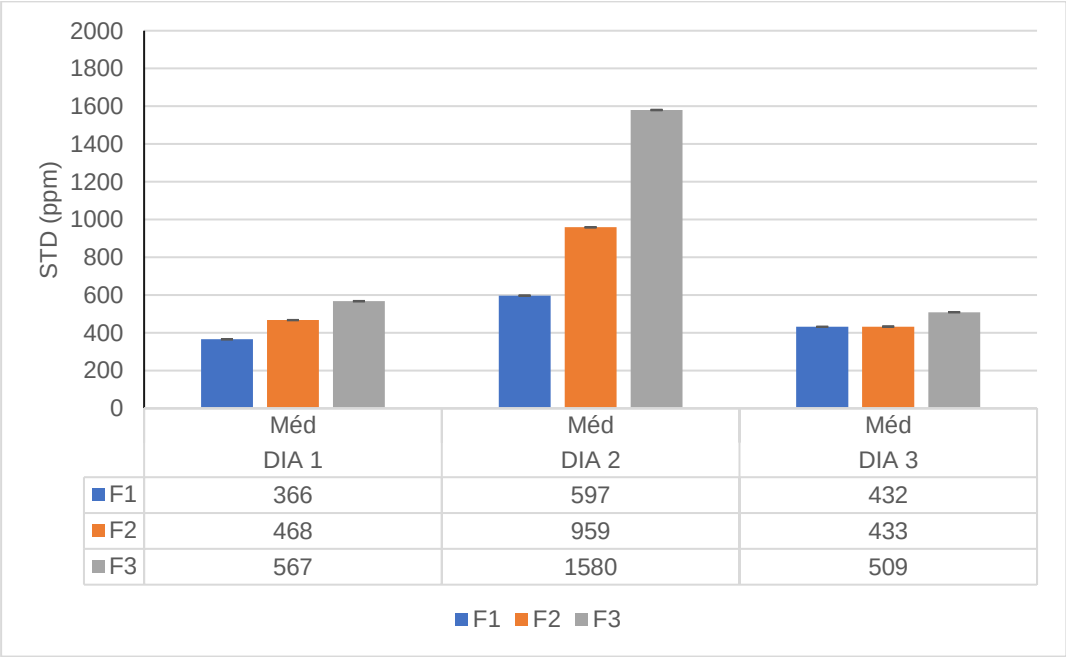
Após 4 horas de reação a temperatura ambiente, novas amostras foram coletadas e os seguintes resultados foram obtidos.

**Gráfico 7** - Análises físico-químicas do efluente em diferentes concentrações após 4 horas de aplicação do pré-tratamento com reagente de Fenton em diferentes dias de coleta – Parâmetro DQO.



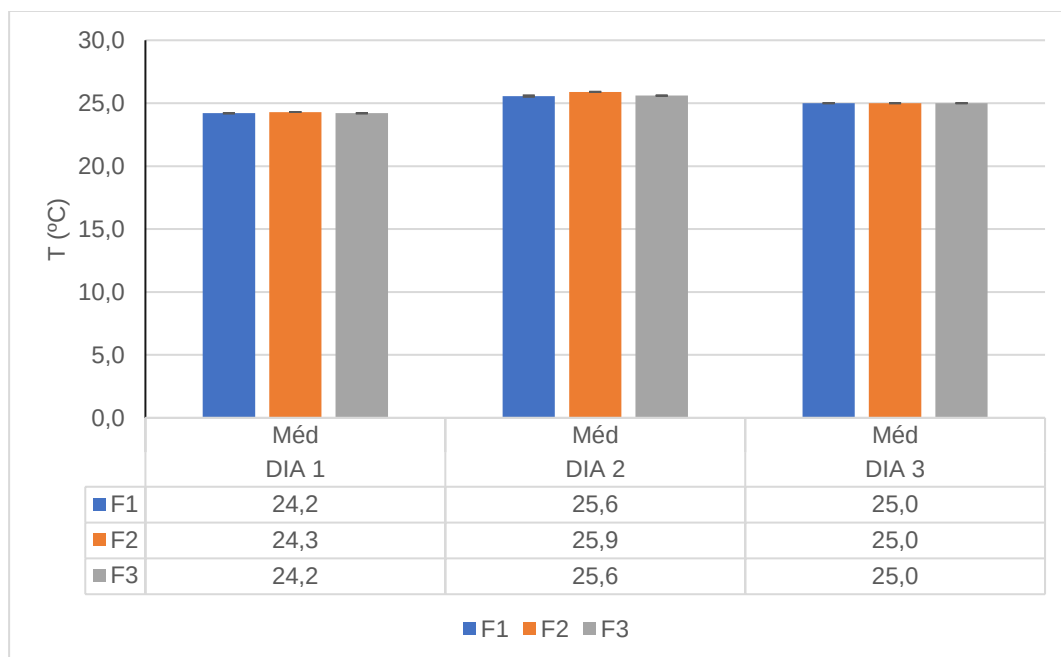
Fonte: Elaboração Própria.

**Gráfico 8** - Análises físico-químicas do efluente em diferentes concentrações após 4 horas de aplicação do pré-tratamento com reagente de Fenton em diferentes dias de coleta – Parâmetro STD.



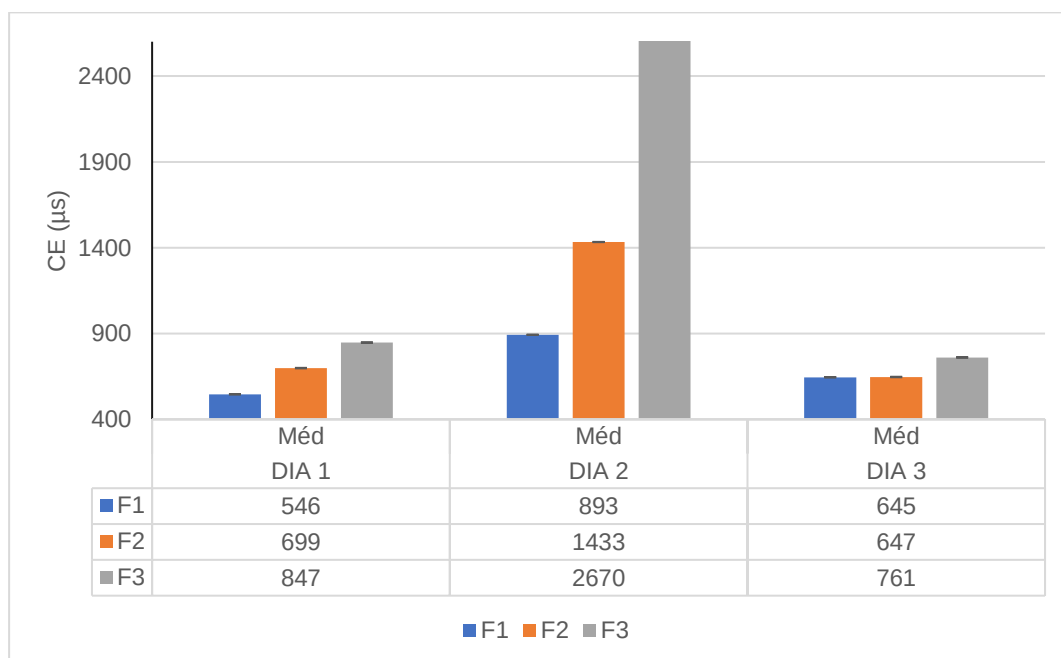
Fonte: Elaboração Própria.

**Gráfico 9** - Análises físico-químicas do efluente em diferentes concentrações após 4 horas de aplicação do pré-tratamento com reagente de Fenton em diferentes dias de coleta – Parâmetro T.



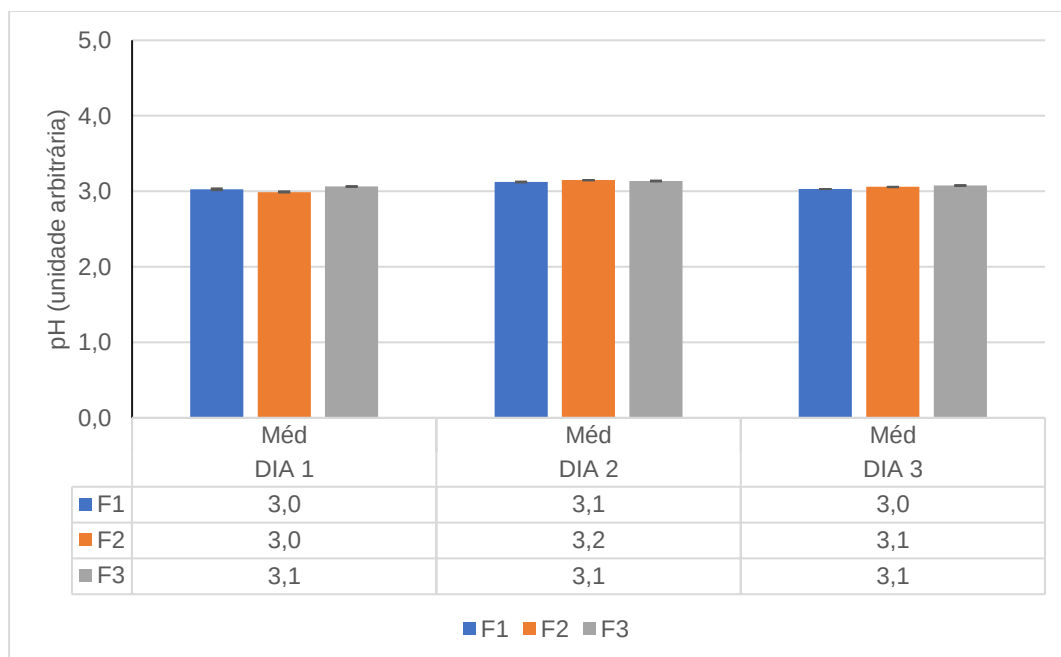
Fonte: Elaboração Própria.

**Gráfico 10** - Análises físico-químicas do efluente em diferentes concentrações após 4 horas de aplicação do pré-tratamento com reagente de Fenton em diferentes dias de coleta – Parâmetro CE.



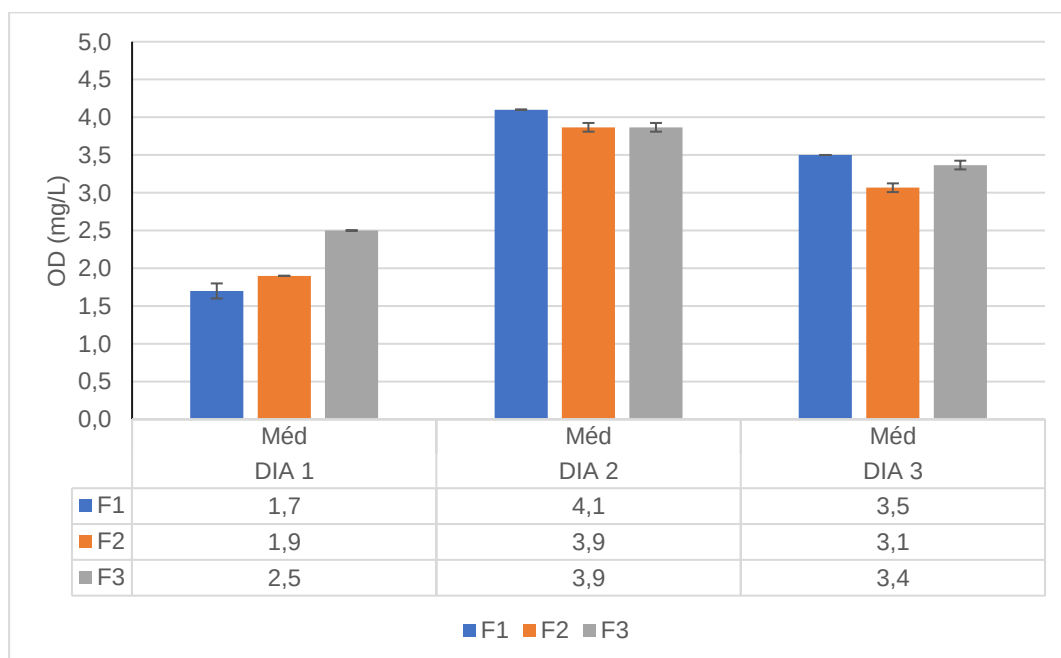
Fonte: Elaboração Própria.

**Gráfico 11** - Análises físico-químicas do efluente em diferentes concentrações após 4 horas de aplicação do pré-tratamento com reagente de Fenton em diferentes dias de coleta – Parâmetro pH.



Fonte: Elaboração Própria.

**Gráfico 12** - Análises físico-químicas do efluente em diferentes concentrações após 4 horas de aplicação do pré-tratamento com reagente de Fenton em diferentes dias de coleta – Parâmetro OD.



Fonte: Elaboração Própria.

De acordo com Moravia (2011), o tempo típico de reação do processo Fenton ocorre entre 30 e 60 min, mas para poluentes mais concentrados, este processo pode durar horas. Foi o que ocorreu neste estudo, após 4 horas de reação melhores remoções de DQO foram obtidas.

Nota-se que a eficiência de remoção de cada experimento além de outros fatores importantes, também se concentra na relação entre  $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$  em razão da concentração inicial de DQO e composição do efluente analisado. Lucena e Rocha (2015) relatam que a razão desta relação e a dosagem de  $\text{H}_2\text{O}_2$  depende da DQO inicial, uma vez que maiores concentrações exigem maiores dosagens de  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Sendo assim, a dosagem utilizada de 1:10 de  $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$  apresentou a melhor eficiência de remoção no experimento F1 do DIA 1, onde o efluente está concentrado a 25% após 4 horas de reação, removendo 63,81% de DQO, as demais concentrações F2 e F3 apresentaram respectivamente uma redução de 43,30 e 25,72%, tendo uma média entre os experimentos de 44,28%. Já para os DIAS 2 e 3 as reduções ocorreram em menor escala, correspondendo a uma média de 24,01% e 8,26% respectivamente.

A relação utilizada no experimento de 1:10 também foi apontada por Moravia (2011) entre outras concentrações analisadas, como uma das faixas em que se obteve melhor a eficiência de remoção de DQO no tratamento de lixiviado de aterro sanitário. A mesma relação 1:10 também foi avaliada por Forti *et al.*, (2020) entre outras concentrações, como a melhor faixa para remoção de DQO no tratamento do herbicida 2,4-D utilizando o reagente Fenton.

O experimento F1 do DIA 2 apresentou uma redução de 26,63% de DQO e um pequeno aumento de OD como apresenta a tabela 8. Levando em consideração que o experimento F2 do DIA 1 apresentava uma carga orgânica semelhante perante a diluição realizada para a realização do experimento, nota-se uma eficiência de redução menor após 4 horas. As taxas de STD e CE de F1 (DIA 2) também diminuíram 7,34 e 7,11% nas últimas 2 horas de reação, já F2 (DIA 1) apresentava um aumento de STD e CE de 6,61 e 6,93%. Provavelmente a variação da composição do efluente influenciou na reação, pois produtos diferentes eram fabricados nestes dias. De acordo com Zhang *et al.*, (2019) a composição do efluente interfere na eficiência do processo Fenton.

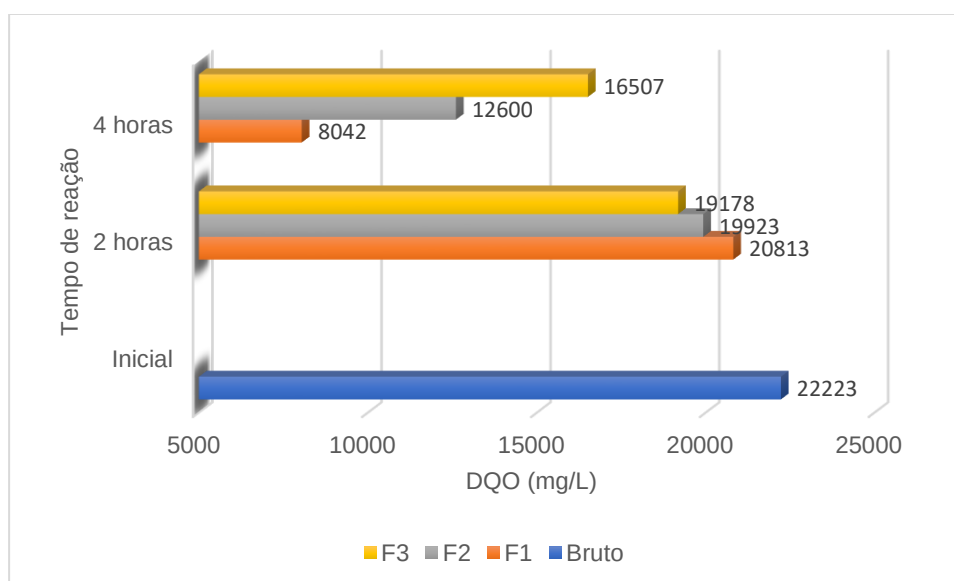
Já F2 e F3 (DIA 2) apresentaram uma redução de 31,63 e 13,77% respectivamente de DQO e assim como F1 apresentaram uma diminuição nos

parâmetros de STD e CE correspondendo a 2,24 e 2,01%. Em relação ao OD houve um aumento de 0,76 mg/L.

Em relação ao DIA 3, apesar da carga orgânica inicial ser menor comparada aos outros dias de coleta, após a aplicação do reagente Fenton, os experimentos F1, F2 e F3 apresentaram as menores remoções de DQO dentre as avaliações. As amostras F1, F2 e F3 apresentaram uma redução de apenas 9,42, 5,74 e 9,60% de DQO, respectivamente. Em relação aos parâmetros de SST e CE de F1; F2; F3, houve um aumento de 3,18 e 2,98%; 1,01 e 1,14%; 1,86 e 1,82% respectivamente. OD aumentou 0,47, 0,14 e 0,57 mg/L para os experimentos F1; F2 e F3.

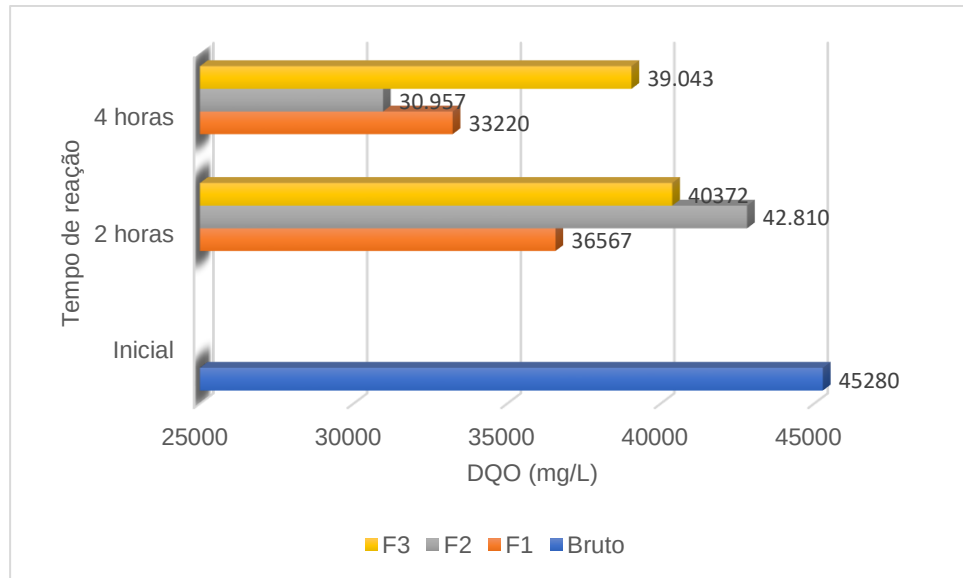
Os resultados da remoção da DQO apresentados nas tabelas 6 e 8 estão mostrados graficamente, a seguir, em função do tempo de aplicação do processo Fenton e das concentrações do efluente coletado em diferentes dias.

**Gráfico 13** – Remoção da DQO em função do tempo de aplicação do processo Fenton em diferentes concentrações do efluente coletado no DIA 1



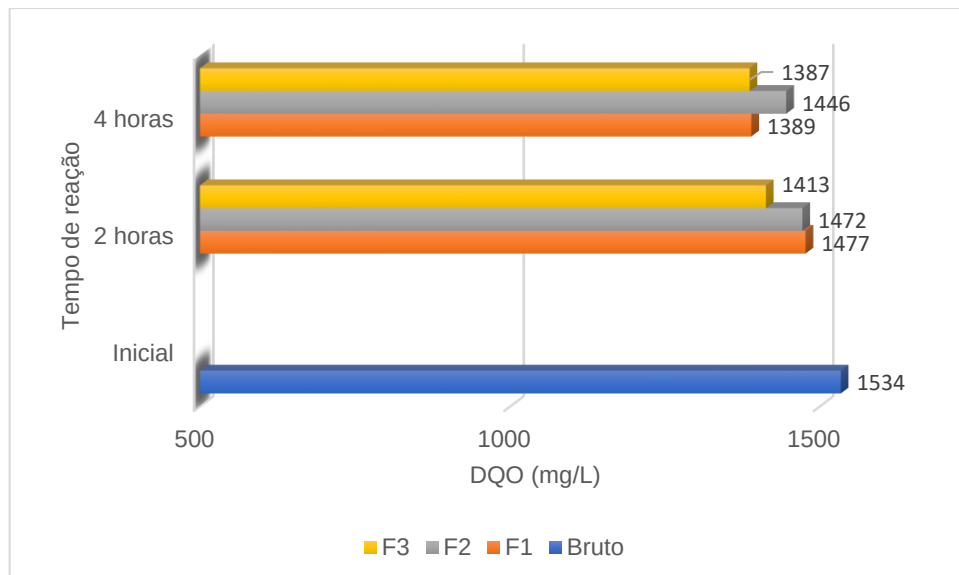
**Fonte:** Elaboração Própria.

**Gráfico 14** – Remoção da DQO em função do tempo de aplicação do processo Fenton em diferentes concentrações do efluente coletado no DIA 2



Fonte: Elaboração Própria.

**Gráfico 15** – Remoção da DQO em função do tempo de aplicação do processo Fenton em diferentes concentrações do efluente coletado no DIA 3



Fonte: Elaboração Própria.

Aplicando a equação do comunicado 03/19 de cálculo  $k_1$ , para os melhores resultados de redução de DQO após 4 horas de reação de cada dia, obtém-se os seguintes fatores apresentados na tabela 9.

**Tabela 7** – Fator calculado de  $k_1$  para as melhores reduções de DQO após 4 horas de reação.

|                   | DIA 1       | DIA 2 | DIA 3 |
|-------------------|-------------|-------|-------|
| Conc. do efluente | Fator $k_1$ |       |       |
| <b>F1</b>         | 4,20        |       |       |
| <b>F2</b>         |             | 17,78 |       |
| <b>F3</b>         |             |       | 1,39  |

**Fonte:** Elaboração Própria.

Após a realização dos experimentos apresentados como alternativa para pré-tratamentos, nota-se uma melhora perante os resultados calculados do fator poluidor  $k_1$  para os 3 experimentos. O índice poluidor que apresentou a maior redução de  $k_1$  foi a concentração F1 do DIA 1, que apresentou melhor desempenho na remoção de DQO, baixando assim seu índice poluidor do efluente pré-tratado em 58,78% após 4 horas de reação, seguido por F2 (DIA 2) 25,38%, e F3 (DIA 3) 4,13%.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que o método proposto para pré-tratamento avaliado foi satisfatório para os DIAS 1 (concentração F1) e 2 (concentração F2), tendo uma redução de carga orgânica DQO acima de 31% nos experimentos realizados, reduzindo assim seu fator poluidor de no mínimo de 25,38%, consequentemente a mesma redução seria aplicado ao cálculo de cobrança para pagamento das tarifas de descarte.

Entre as concentrações e tempo de experimentos utilizados do método químico aplicado utilizando o reagente do processo Fenton, o experimento denominado de F1 (DIA 1), com menor concentração de efluente, apresentou a melhor redução, 63,81% de carga orgânica, mas do ponto de vista empresarial e sustentável não seria vantajoso, visto que seria necessário a diluição do efluente para atingir o resultado obtido, aumentando muito o consumo de água industrial. Por outro lado, o experimento sem diluições com 100% de efluente (F3) apresentou uma remoção menor (25,72%), mas importante, em escala de pré-tratamento industrial.

Novos estudos são pertinentes aprimorar a faixa ideal de STD e CE em razão da redução de DQO neste tipo de efluente.

A aplicação do reagente Fenton em efluentes oriundos do processo produtivo de balas de gomas à base de amido, reduzem sua carga orgânica inicial desde que encontrado a razão adequada entre  $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$  levando em consideração a composição do efluente industrial. Sendo assim, é possível concluir que o objetivo geral deste projeto foi atingido.

## REFERÊNCIAS

- ABIA. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS. **A alimentação no Brasil 2021**. Disponível em: <https://www.abia.org.br/vsn/temp/z2021113Alimentocienciafolder.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2022.
- ABIA. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS. **Infográfico. 2022**. Disponível em: <https://www.abia.org.br/vsn/temp/z2022413Infografico2022frenteeverso.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2022.
- ABICAB. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CHOCOLATES, AMENDOIM E BALAS. **Balas & Gomas: Produção, Exportação e Importação em volume 2021**. Disponível em: <http://clientes.focoimg.com.br/abicab/storage/app/public/editor/162455511760d4be6d23eea.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2022.
- ALATON, A.; TEKSOY, K. S. Effect of Fenton's treatment on the biodegradability of chromium-complex azo dyes. **Water Sci Technol**, v. 55, n. 12, p. 107-112, 2007.
- ALBUQUERQUE, M. V. da C.; RAMOS, R. de O.; SÁTIRO, J. R.; LOPES, W. S. Aplicação de fotocatalise homogênea (foto-fenton) na degradação de azul de metileno presente em efluentes industriais. *In*: CONGRESSO INTERNACIONAL: DA DIVERSIDADE DO SEMIÁRIDO, 1., 2016, Campina Grande. Tema: Diversidade: Aprender o semiárido, no semiárido e com o semiárido. **Anais I CONIDIS [...]**. Campina Grande, 2016 Realize Editora. Disponível em: <https://mail.editorarealize.com.br/artigo/visualizar/23488>>. Acesso em: 29 mar. 2023.
- ALMEIDA, F. S. C.; CAVALLI, A.; LENHARD, D. C.; GENENA, A. K. Determinação das condições operacionais para o tratamento terciário de efluente frigorífico pelo processo integrado Fenton Coagulação. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, p. 565-573, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/DsxKTh6JSTpy5n4Mp83VtwK/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 2 fev. 2022.
- ANA, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (BRASIL). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: Informe anual**. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/static/media/conjuntura-completo.bb39ac07.pdf>. Acesso em 24 out. 2021.
- ANA, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (BRASIL). **Uso e coeficiente técnicos/ Abastecimento de água na indústria 2017**. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/agua-na-industria-uso-e-coeficientes-tecnicos-versao-final.pdf> . Acesso em 29 out. 2021.
- ANA, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (BRASIL). **ODS 6 no Brasil: Visão da ANA sobre os indicadores**. 2. ed. Brasília, 2022. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/c93c5670-f4a7-4de6->

85cf-c295c3a15204/attachments/ODS6\_Brasil\_ANA\_2ed\_digital\_simples.pdf.  
Acesso em: 22 mai. 2023.

APHA, American Public Health Association, **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20. ed. Washington: APHA p. 1220, 1998.

ARAÚJO, K. S.; ANTONELLI, R.; GAYDECZKA, B.; GRANATO, A. C.; MALPASS, G. R. P. Processos oxidativos avançados: uma revisão de fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, p. 387-401, jun. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/XjBbHvfYf4bXbDxYnX3xR3r/?lang=pt>. Acesso em: 28 mar. 2021.

ARCHELA, E.; CARRARO, A.; FERNANDES, F.; BARROS, O. N. F.; ARCHELA, R. S. **Considerações sobre a geração de efluentes líquidos em centros urbanos**. GEOGRAFIA (Londrina), v. 12, n. 1, p. 517-526, 2003.

ASTM, American Society for Testing and Materials, **Annual Book of Standards: D1252-95 Standard test methods for chemical oxygen demand (dichromate oxygen demand) of water**. Philadelphia: American Society Testing & Materials, v. 11.02, p. 1-12, 1995.

BÁNKUTI, S. M.; BÁNKUTI, F. I. Gestão ambiental e estratégia empresarial: um estudo em uma empresa de cosméticos no Brasil. **Gestão & Produção**, v. 21, n. 1, p. 171-184, mar. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/Yxw3nmZqQk4vkvdXBbwtbYr/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 1 abr. 2022.

BARBIERI, J. C. **Gestão Ambiental empresarial: Conceitos, modelos e instrumentos**. 2 ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2007.

BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial: 3 ed.** São Paulo: Editora Saraiva, 2011.

BELLO, M. M.; RAMAN, A. A. A.; ASGHAR, A. A review on approaches for addressing the limitations of Fenton oxidation for recalcitrant wastewater treatment. **Process Safety na Environmental Protection**, v. 126, p. 119-140, jun. 2019.

BONZI, R. S. Meio século de Primavera silenciosa: um livro que mudou o mundo. **Desenvolvimento e Meio ambiente**, Paraná, v. 28, p. 207-215, jul./dez. 2013. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/31007/21665>. Acesso em: 2 mar. 2022.

BRASIL. MINISTÉRIO DO INTERIOR. **Relatório da delegação do Brasil à Conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente**. 1972. Disponível em: [https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2013/12/estocolmo\\_72\\_Volume\\_I.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2013/12/estocolmo_72_Volume_I.pdf). Acesso em: 2 mar. 2023.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº1, de 23 de janeiro de 1986**. Estabelece definições, responsabilidades, diretrizes e critérios para o uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da política Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8902>. Acesso em: 2 de mai. de 2022.

BRASIL. **Decreto nº 10000, de 3 de setembro de 2019**. Dispõe sobre o Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Brasília, 3 set. 2019. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2019-2022/2019/Decreto/D10000.htm#art12](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2019/Decreto/D10000.htm#art12). Acesso em: 8 mai. 2022.

BRASIL. **Decreto nº 10936, de 12 de janeiro de 2022**. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, 12 jan. 2022. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2019-2022/2022/Decreto/D10936.htm#art91](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2022/Decreto/D10936.htm#art91). Acesso em: 3 mai. 2022.

BRASIL. **Decreto nº 4281, de 25 de junho de 2002**. Regulamenta a Lei no 9.795, de 27 de abril de 1999, que institui a Política Nacional de Educação Ambiental, e dá outras providências. Brasília, 26 jun. 2002. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/2002/d4281.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4281.htm). Acesso em: 3 mai. 2022.

BRASIL. **Decreto nº 6514, de 22 de julho de 2008**. Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providências. Brasília, 23 jul. 2008. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6514.htm#art153](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6514.htm#art153). Acesso em: 3 mai. 2022.

BRASIL. **Decreto nº 7217, de 21 de junho de 2010**. Regulamenta a Lei no 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. Brasília, 22 jun. 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/decreto/d7217.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7217.htm). Acesso em: 3 mai. 2022.

BRASIL. **Decreto nº 7830, de 17 de outubro de 2012**. Dispõe sobre o Sistema de Cadastro Ambiental Rural, o Cadastro Ambiental Rural, estabelece normas de caráter geral aos Programas de Regularização Ambiental, de que trata a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, e dá outras providências. [S. l.], 18 out. 2012. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/decreto/d7830.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/decreto/d7830.htm). Acesso em: 4 mai. 2022.

BRASIL. **Decreto nº 99274, de 6 de junho de 1990**. Regulamenta a Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981, e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõem, respectivamente sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências. Brasília, 7 jun. 1990. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/antigos/d99274.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/antigos/d99274.htm). Acesso em: 2 mai. 2022.

BRASIL. **Lei nº 11445, de 5 de janeiro de 2007.** Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Brasília, 8 jan. 2007. Disponível em: <https://normas.leg.br/?urn=urn:lex:br:federal:lei:2007-01-05;11445>. Acesso em: 3 mai. 2022.

BRASIL. **Lei nº 12305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 3 ago. 2010. Disponível em: <https://normas.leg.br/?urn=urn:lex:br:federal:lei:2010-08-02;12305>. Acesso em: 3 mai. 2022.

BRASIL. **Lei nº 12651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166- 67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, 28 maio 2012. Disponível em: <https://normas.leg.br/?urn=urn:lex:br:federal:lei:2012-05-25;12651>. Acesso em: 3 mai. 2022.

BRASIL. **Lei nº 14026, de 15 de julho de 2020.** Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. Brasília, 16 jul. 2020. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2020/lei-14026-15-julho-2020-790419-publicacaooriginal-161096-pl.html>. Acesso em: 3 mai. 2022.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.** Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente e outras providências. Brasília, DF, 2 set. 1981. Disponível em: <https://normas.leg.br/?urn=urn:lex:br:federal:lei:1981-08-31;6938>. Acesso em: 10 mai. 2022.

BRASIL. **Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989.** Cria o Fundo Nacional de Meio Ambiente e dá outras providências. Brasília, 11 jul. 1989. Disponível em: <https://normas.leg.br/?urn=urn:lex:br:federal:lei:1989-07-10;7797>. Acesso em: 19 abr. 2022.

BRASIL. **Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, 9 jan. 1990. Disponível em: <https://normas.leg.br/?urn=urn:lex:br:federal:lei:1997-01-08;9433>. Acesso em: 30 mai. 2022.

BRASIL. **Lei nº 9605, de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Brasília, 13 fev. 1998. Disponível em: <https://normas.leg.br/?urn=urn:lex:br:federal:lei:1998-02-12;9605>. Acesso em: 30 abr. 2022.

BRASIL. **Lei nº 9795, de 27 de abril de 1999**. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Brasília, 28 abr. 1999. Disponível em: <https://normas.leg.br/?urn=urn:lex:br:federal:lei:1999-04-27;9795>. Acesso em: 3 mai. 2022.

BRASIL. **Lei nº 9966, de 28 de abril de 2000**. Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. Brasília, 29 abr. 2000. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19966.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19966.htm). Acesso em: 3 mai. 2022.

BRASIL. **Lei nº 9985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III, e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, 19 jul. 2000. Disponível em: <https://normas.leg.br/?urn=urn:lex:br:federal:lei:2000-07-18;9985>. Acesso em: 3 mai. 2022.

BRILLAS, E. Recent development of electrochemical advanced oxidation of herbicides. A review on its application to wastewater treatment and soil remediation. **Journal of Cleaner Production**, v. 290, p. 125841, mar. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621000615>. Acesso em: 3 mai. 2022.

CÂMARA, J. B. D. Governança ambiental no Brasil: Ecos do passado. **Revista de sociologia e política**, v. 21, p. 125-146, jun. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rsocp/a/YgVFXTqM44nK7HtGHXQpDtK/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 2 jan. 2021.

CATALKAYA, E. C.; KARGI, F. Color, TOC and AOX removals from pulp mill effluent by advanced oxidation processes: A comparative study. **Journal of Hazardous Materials**, v. 139, n. 2, p. 244-253, mar. 2007.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Apêndice D: Significado ambiental e Sanitário das variáveis de qualidade**. 2014. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp->

content/uploads/sites/12/2013/11/Ap%C3%AAndice-D-Significado-Ambiental-e-Sanit%C3%A1rio-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-29-04-2014.pdf. Acesso em: 01 mar. 2023.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Gestão Ambiental e dos Recursos Hídricos**. 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/informacoes-basicas/gestao-ambiental-e-dos-recursos-hidricos/>. Acesso em: 1 jun. 2022.

COELHO, S. J.; PEREIRA, J. A. A. A Paisagem na Área de Influência da Usina Hidrelétrica do FUNIL (UHE-FUNIL), Percebida Através do EIA-RIMA. **Paisagem e Ambiente**: São Paulo, n. 28, p. 133-148, dez. 2010. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/paam/article/view/77390>. Acesso em: 2 mai. 2022.

COSTA FILHO, B. A.; ROSA, F. de. Maturidade em gestão ambiental: Revisitando as melhores práticas. **Revista Eletrônica de Administração**. Porto Alegre, v. 23, p. 110-134, jun. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/rj/read/a/Y7fL6fV4CkXL33q9YSkcFqv/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 2 mai. 2022.

CUNHA, B. P. da; AUGUTIN, S. **Sustentabilidade ambiental: estudos jurídicos e sociais**. Caxias do Sul: Educs, 2014.

DAVIES, F.D.; STULP, S. Determinações de gás metano (ch<sub>4</sub>) gerado em estação de tratamento de efluentes, com avaliação do poder calorífico para queima em Caldeira. **Revista Destaques Acadêmicos**, Lajeado, v.8, n. 4. 2016.

DERISIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 4 ed. São Paulo: Ed. Oficina de Texto, 2016.

DEZOTTI, M. **Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos**. Rio de Janeiro: E-pappers, 2008.

DIAS, E. dos S. Os (Des) Encontros internacionais sobre meio ambiente: Da conferência de Estocolmo à Rio+ 20-expectativas e Contradições. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 39, p. 06-33, 2017. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/3538>. Acesso em: 5 fev. 2022.

DUESTERBERG, C. K.; MYLON, S. E.; WAITE T. D. pH Effects on Iron-Catalyzed Oxidation using Fenton's reagent. **Environmental Science Technology**. Sidney. vol. 42, p. 8522-8527. jun. 2008. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es801720d>. Acesso em: 5 fev. 2022.

FARIAS, T. **Os tribunais de contas e o licenciamento ambiental de obras e serviços públicos municipais**. 2018. Disponível em: <https://www.conjur.com.br/2018-jul-14/tribunais-contas-licenciamento-ambiental-obras-publicas>. Acesso em: 05 mai. 2022.

FENTON, H.J.H. Oxidation of Tartaric Acid in Presence of Iron. **Journal of the Chemical Society Transactions**, v. 65, p. 899-910, 1894.

FERNANDES, V.; MALHEIROS, T. F.; PHILIPPI JÚNIOR, A.; SAMPAIO, C. A. C. Metodologia de avaliação estratégica de processo de gestão ambiental municipal. **Saúde e Sociedade**, São Paulo, v.21, p. 128-143, 2012.

IOREZE, M.; SANTOS, E. L.; SCHMACHTENBERG, N., Processos oxidativos avançados: fundamentos e aplicação ambiental. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, n. 1, v. 18, p. 79-91, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/index.php/reget/article/view/10662>. Acesso em: 18 fev. 2023.

FLORES, R. G. **Aplicação de processos oxidativos avançados homogêneos e heterogêneos na degradação de efluentes de curtume**. Santa Maria: UFSM, 2008. 76 f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

FORTI, J. C.; LORETTI, G. H.; TADAYOZZI, Y. S.; ANDRADE, A. R. de. A phytotoxicity assessment of the efficiency 2, 4-D degradation by different oxidative processes. **Journal of Environmental Management**, v. 266, p. 110588, 2020.

FRAGOSO, G. M. T. **Base legal vigente no Brasil aplicada à agressão ao Meio Ambiente causada pelo descarte de efluentes líquidos**. Pombal: UFCG, 2018. 22f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós Graduação em Sistemas Agroindustriais, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2018. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/12329>. Acesso em: 1 ago. 2022.

GAMA, M. R. Processos Fenton como alternativa na remoção de interferentes Endócrinos e outros micropoluentes ambientais. **Revista Virtual de Química**, v.4 n.6, 2012. Disponível em: <https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/299>. Acesso em: 8 fev. 2023

GHUMRA, D. P.; AGARKOTI, C.; GOGATE, P. R. Improvements in effluent treatment technologies in Common Effluent Treatment Plants (CETPs): Review and recent advances. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 147, p. 1018-1051, mar. 2021.

GIORDANO, Gandhi. Tratamento e Controle de Efluentes Industriais. **Revista ABES**. Rio de Janeiro, v. 4 n. 76, p. 1-84, 2004.

GROTTO, B. DE D.; COSTA, J. T. C.; GOMES, H. M. Licenciamento ambiental no Brasil: definições e desafios. **Guia Universitário de Informações Ambientais**. São Carlos, v. 2, n. 1, p. 53-55, 2021. Disponível em: <https://www.revistaguia.ufscar.br/index.php/guia/article/view/43>. Acesso em: 4 ago. 2022.

HENDGES, A. S. **Principais instrumentos legais da gestão ambiental no Brasil**. 2014. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2014/10/01/principais-instrumentos-legais-da-gestao-ambiental-no-brasil-por-antonio-silvio-hendges/>. Acesso em: 1 maio 2022.

IBAMA. INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Sobre o licenciamento ambiental**. 2021. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/laf/sobre-o-licenciamento-ambiental-federal>. Acesso em: 14 mai. 2022.

IPEA. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **ODS 6: Água potável e saneamento**. 2019. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/ods/ods6.html>. Acesso em: 21 mai de 2023.

JAMIL, T. S.; GHALY, M. Y.; EL-SEESY, I.; SOUAYA, E. R.; NASR, R. A. A comparative study among different photochemical oxidation processes to enhance the biodegradability of paper mill wastewater. **Journal of hazardous materials**, v. 185, n. 1, p. 353-358, 2011.

JIANG, W.; ZHANG, W.; LI, B. J.; DUAN, J.; LV, Y.; LIU, W. D.; YING, W. C. Combined Fenton oxidation and biological activated carbon process for recycling of coking plant effluent. **Journal of hazardous materials**, v. 189, n. 1-2, p. 308-314, 2011.

JÚLIO, M. de; NEVES, E. F. de A.; TROFINO, J. C.; BERNARDO, L. D. Emprego do reagente de Fenton como agente coagulante na remoção de substâncias húmicas de água por meio da flotação por ar dissolvido e filtração. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro, v. 11, p. 260-268, jul./set. 2006.

KALLEL, M.; BELAID, C.; BOUSSAHED, R.; KSIBI, M.; MONTIEL, A.; ELLEUCH, B. Olive mill wastewater degradation by Fenton oxidation with zero-valent iron and hydrogen peroxide. **Journal of Hazardous materials**, v. 163, n. 2-3, p. 550-554, 2009.

KALYANARAMAN, C.; KANCHINADHAM, S. B. K.; DEVI, L. V.; PORSELVAM, S.; RAO, J. R. Combined advanced oxidation processes and aerobic biological treatment for synthetic fatliquor used in tanneries. **Industrial & engineering chemistry research**, v. 51, n. 50, p. 16171-16181, 2012.

LAGO, A. A. C. do. **Estocolmo, Rio, Joanesburgo: o Brasil e a três conferências ambientais das Nações Unidas**. Thesaurus Editora. Brasília, 2006.

LANGE, L. C.; ALVES, J. F.; AMARAL, M. C. S.; MELO JÚNIOR, W. R. de. Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por processo oxidativo avançado empregando reagente de Fenton. **Engenharia Sanitária e Ambient.** v. 11, n. 2, 175-183, abr/jun 2006.

LEE, Y.; LEE, C.; YOON, J.; High temperature dependence of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid degradation by  $\text{Fe}^{3+}/\text{H}_2\text{O}_2$  system. **Chemosphere**, v. 51, n. 9, p. 963-971, 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653503000432>. Acesso em: 21 mai. 2023.

LI, W.; ZHOU, Q.; HUA, T. Removal of organic matter from landfill leachate by advanced oxidation processes: a review. **International Journal of Chemical Engineering**, v. 2010, 10 p. abr. 2010.

LIMA, Eduardo Pedrozo da Cunha. **Água e Indústria: experiências e desafios**. Brasília: Infinita Imagem, 2018. Disponível em: [https://www.gov.br/produtividade-e-comercio-exterior/pt-br/images/a\\_guaa\\_ea\\_Inda\\_striaa\\_-a\\_Expera\\_nciasa\\_ea\\_Desafios.pdf](https://www.gov.br/produtividade-e-comercio-exterior/pt-br/images/a_guaa_ea_Inda_striaa_-a_Expera_nciasa_ea_Desafios.pdf). Acesso em 21 de outubro de 2020.

LUCAS, M. S.; PERES, J. A. Removal of COD from olive mill wastewater by Fenton's reagent: Kinetic study. **Journal of hazardous materials**, v. 168, n. 2-3, p. 1253-1259, set. 2009.

LUCENA, L. G., & ROCHA, E. M. Processo foto-Fenton solar no tratamento de lixiviados. **Revista DAE**, v. 63, n. 200, p. 49-63, 2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Elisangela-Rocha-2/publication/279165687\\_Processo\\_foto-Fenton\\_solar\\_no\\_tratamento\\_de\\_lixiviados/links/5a4f609b458515e71b09284d/Proceso-foto-Fenton-solar-no-tratamento-de-lixiviados.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Elisangela-Rocha-2/publication/279165687_Processo_foto-Fenton_solar_no_tratamento_de_lixiviados/links/5a4f609b458515e71b09284d/Proceso-foto-Fenton-solar-no-tratamento-de-lixiviados.pdf). Acesso em: 5 mar. 2023.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos**. 5 ed. AMGH Editora LTDA. Porto Alegre, 2008.

MIERZWA, José Carlos; HESPANHOL, Ivanildo. **Água na indústria: uso racional e reúso**. Oficina de Textos. São Paulo, 2005.

MORAVIA, W. G.; LANGE, L. C.; AMARAL, M. C. S. Avaliação da microfiltração para remoção do lodo gerado no processo oxidativo avançado empregando o reagente de Fenton no tratamento de lixiviado de aterro sanitário. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 16, p. 379-386, 2011.

MOREIRA, F. C., BOAVENTURA, R. A. R., BRILLAS, E., & VILLAR, V. J. P. Degradation of trimethoprim antibiotic by UVA photoelectro-Fenton process mediated by Fe(III)– carboxylate complexes. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 162, n. 0, p. 34-44, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926337314003476>. Acesso em: 29 mar. 2023.

NASCIMENTO, L. F. **Gestão ambiental e sustentabilidade**. 3 ed. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração/UFSC [Brasília]: CAPES : UAB, 2016.

ONU. Transformando nosso mundo: a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável, 2016. Disponível em: <https://dssbr.ensp.fiocruz.br/wp-content/uploads/2020/12/transformando-nosso-mundo-a-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2023.

ONU. Organizações das Nações Unidas. 2023. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/infrastructure-industrialization/>. Acesso em: 29 mar. 2023.

PALA, A.; ERDEN, G. Decolorization of a baker's yeast industry effluent by Fenton oxidation. **Journal of hazardous materials**, v. 127, n. 1-3, p. 141-148, 2005.

PHILIPPI JÚNIOR, A.; ROMÉRO, M. de A.; BRUNA, G. C. **Curso de Gestão Ambiental**. 2 ed. Barueri: Editora Manoel Ltda, 2004. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3480964/mod\\_resource/content/1/as\\_gestao\\_ambiental\\_tfm.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3480964/mod_resource/content/1/as_gestao_ambiental_tfm.pdf). Acesso em: 8 mar. 2023.

PLIEGO, G.; ZAZO, J. A.; GARCIA-MUÑOZ, P.; MUNOZ, M.; CASAS, J. A.; RODRIGUEZ, J. J. Trends in the Intensification of the Fenton Process for Wastewater Treatment: An Overview. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 45, n. 24, p. 2611-2692, 2015.

PROSAB. Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. Reaproveitamento do Esgoto, incluindo o desenvolvimento de tecnologias de tratamento para este fim. Brazilian Association of Sanitary and Environmental Engineering, Rio de Janeiro p. 427, 2006. Disponível em: [http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/Esgoto-Prosab\\_-\\_final.pdf](http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/Esgoto-Prosab_-_final.pdf) . Acesso em: 8 mar. 2023.

RIBEIRO, J. P.; MARQUES, C. C.; PORTUGUAL, I.; NUNES, M. I. AOX removal from Pulp and paper wastewater by Fenton and photo-Fenton processes: A real case-study. **Energy Reports**. v. 6, supplement 1, febr. 2020, p. 770-775. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484719304743?via%3Dihub>. Acesso em: 8 mar. 2023.

RIBEIRO, J. P.; NUNES, M. I. Recent trends and developments in Fenton processes for industrial wastewater treatment – A critical review. **Environmental Research**, v. 197, p. 110957, June 2021.

ROMA, J. C. Os objetivos de desenvolvimento do milênio e sua transição para os objetivos de desenvolvimento sustentável. **Ciência e cultura**, São Paulo, v. 71, n. 1, p. 33-39, 2019. Disponível em: [http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0009-67252019000100011](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252019000100011). Acesso em: 9 jul. 2021.

RUIZ, G. S.; TANNURI, S. T.; MAUAD, C. R.; VENDRAMEL, M. R.; VENEU, D. M. Evaluation of COD, nitrogen and phosphorus removal efficiency in the co-treatment of sewage with leachate in an activated sludge system. **Holos Environment**, v. 22, n. 1, p. 1-17, 2022. Disponível em: <https://www.cea-unesp.org.br/holos/article/view/12463>. Acesso em: 8 mar. 2023.

SABESP. Companhia de saneamento básico do Estado de São Paulo. Comunicado 03/2019. Disponível em: [https://www.sabesp.com.br/site/uploads/file/asabesp\\_doctos/comunicado\\_fatork\\_3\\_2019.pdf](https://www.sabesp.com.br/site/uploads/file/asabesp_doctos/comunicado_fatork_3_2019.pdf). Acesso em: 22 mar. 2023.

SANTOS, M. S. F.; ALVES, A.; MADEIRA, L. M. Paraquat removal from water by oxidation with Fenton's reagent. **Chemical Engineering Journal**. v. 175, n. 15, p. 279-290, nov. 2011.

SÃO PAULO. **Decreto nº 8468, de 8 de setembro de 1976**. Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. São Paulo, 27 jun. 1976. Disponível em: <https://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/documentos/Dec8468.pdf>. Acesso em: 18 mai. 2022.

SCHMITZ, A. C. **Avaliação comparativa de metodologias de análise de demanda química de oxigênio – DQO**. Florianópolis: UFSC, 2004. 145 f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2004.

SILVA, F. F. da; FREITAS, P. S. L.; VERTONHA, A.; REZENDE, R.; GONÇALVES, A. C. A.; DALLACORT, R. Variation of organic load of cassava fecularia effluent. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 25, n.1 p. 161-165, 2003. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/3078/42b168c7f48936a75e212ac52d9573301243.pdf>. Acesso em: 6 mar. 2023

SILVA, V. E. da.; TADAYOZZI, Y. S.; PUTTI, F. F.; SANTOS, F. A.; FORTI, J. C. Degradation of commercial glyphosate-based herbicide via advanced oxidative processes in aqueous media and phytotoxicity evaluation using maize seeds. **Science of The Total Environment**, v. 840, n. 20, p. 156656, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722037536?via%3Dihub>. Acesso em: 6 mar. 2023.

SIMENSATO, L. A.; BUENO, S. M. Importância da qualidade da água na indústria de alimentos. **Revista Científica**, v. 1, n. 1, 2019.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Univesidade Federal de Minas Gerais; 2005. Disponível em: [https://www.google.com.br/books/edition/Introdu%C3%A7%C3%A3o\\_%C3%A0\\_qualidade\\_das\\_%C3%A1guas\\_e\\_a/1pxhLVxVFHoC?hl=pt-BR&gbpv=1](https://www.google.com.br/books/edition/Introdu%C3%A7%C3%A3o_%C3%A0_qualidade_das_%C3%A1guas_e_a/1pxhLVxVFHoC?hl=pt-BR&gbpv=1). Acesso em: 29 mai. 2022.

TADAYOZZI, Y. S.; SANTOS, F. A. D.; VICENTE, E. F.; FORTI, J. C. Application of oxidative process to degrade paraquat present in the commercial herbicide. **Journal of Environmental Science and Health**, v. 56, n. 7, p. 670-674, 2021. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03601234.2021.1936991>. Acesso em: 16 mar. 2023.

TEKIN, H.; BILKAY, O.; ATABERK, S. S.; BALTA, T. H.; CERIBASI, H. SANIN, F. D.; DILEK, F. B.; YESTIS, U. Use of Fenton oxidation to improve the biodegradability of a pharmaceutical wastewater. **Journal of hazardous materials**, v. 136, n. 2, p. 258-265, 2006.

UEHARA, T. H. K.; OTERO, G. G. P.; MARTINS, E. G. A.; PHILIPPI JUNIOR, A.; MANTOVANI, W. Pesquisas em gestão ambiental: análise de sua evolução na Universidade de São Paulo. **Ambiente & Sociedade**, v. 13, n. 1, p. 165-185, 2010.

VITERBO JÚNIOR, Ê. **Sistema integrado de gestão ambiental: como implementar um sistema de gestão que atenda à Norma ISO 14001, a partir de um sistema baseada na Norma ISO 9000**. São Paulo: Editora Ground, 1998.

WANG, J.; ZHUAN, R. Degradation of antibiotics by advanced oxidation processes: An overview. **Science of the Total Environment**, v. 701, n. 20, p. 135023, 2020.  
Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719350156?via%3Dihub>.  
Acesso em: 4 fev. 2023.

WEBER, P. S. A gestão ambiental na empresa. **Revista Sanare**, v. 12, 1999.  
ZAZO, J. A.; PLIEGO, G.; BLASCO, S.; CASAS, J. A.; RODRIGUEZ, J. J. Intensification of the Fenton process by increasing the temperature. **Ind. Eng. Chem. Res.** v. 50, n. 2, p. 866-870, 2011.

ZHANG, M.H.; DONG, H.; ZHAO, L.; WANG, D.X.; MENG, D. A review on Fenton process for organic wastewater treatment based on optimization perspective. **Science of the Total Environment**, v. 670, p. 110-121, 2019.  
Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719311684>. Acesso em: 23 jan. 2023.

ZIEMBOWICZ, S.; KIDA, M. Limitations and future directions of application of the Fenton-like process in micropollutants degradation in water and wastewater treatment: A critical review. **Chemosphere**, v. 296, p. 134041, june 2002.