

**INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA
CÂMPUS JARAGUÁ DO SUL - CENTRO
CURSO TÉCNICO EM QUÍMICA**

**BRUNA LUIZA SCHREINER
GABRIELLE MORETTI
LETICIA MONIELLY DANKER
MACIEL JUNIOR FERREIRA DE BRITO
MARIA EDUARDA PETTERS
NATYELE DEUCHER**

Clarificação da água proveniente da ETE têxtil (tratamento terciário)

BRUNA LUIZA SCHREINER
LETICIA MONIELLY DANKER
GABRIELLE MORETTI
MACIEL JUNIOR FERREIRA DE BRITO
MARIA EDUARDA PETTERS
NATYELE DEUCHER

Clarificação da água proveniente da ETE têxtil (tratamento terciário)

Projeto de pesquisa do Conectando Saberes
sobre a clarificação da água proveniente da
ETE têxtil (tratamento terciário), no Instituto
Federal de Santa Catarina Câmpus Jaraguá do
Sul Centro.

Orientador: Giovani Pakuszewski
Coorientador: Ederson Stiegelmaier
Coordenador de fase: Elder Correa Leopoldino

Jaraguá do Sul
2025

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - FLUXOGRAMA DE ATIVIDADES METODOLÓGICAS	15
FIGURA 2 - SISTEMA DE TRATAMENTO COM LUZ ARTIFICIAL	18

SUMÁRIO

1. TEMA.....	4
2. DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	4
3. PROBLEMA DE PESQUISA.....	4
4. HIPÓTESES.....	4
5. OBJETIVOS.....	4
5.1 OBJETIVO GERAL.....	4
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
6. JUSTIFICATIVA.....	5
7. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	7
7.1 COMPOSIÇÃO E TRATAMENTO DOS EFLUENTES TÊXTEIS.....	7
7.2 PROCESSOS DE POLIMENTO FINAL DA ÁGUA.....	9
7.2.1 Adsorção.....	10
7.2.2 Processos oxidativos.....	10
7.2.3 Fitorremediação.....	11
7.2.4 Biorremediação.....	11
7.3 PRINCÍPIOS DA ESPECTROFOTOMETRIA.....	12
7.4 COMPOSTOS COLORIDOS (CROMÓFOROS).....	13
8. METODOLOGIA.....	15
8.1 ENTREVISTA COM O TÉCNICO RESPONSÁVEL PELA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO ONDE A AMOSTRA FOI COLETADA.....	15
8.2 SELEÇÃO DO CORANTE E PREPARAÇÃO DO EFLUENTE SINTÉTICO PARA O ENSAIO DE FOTODEGRADAÇÃO.....	16
8.2.1 Ajuste da concentração do corante na solução sintética.....	17
8.2.2 Identificação do corante têxtil.....	17
8.3 ENSAIOS DE FOTODEGRADAÇÃO DO EFLUENTE COM E SEM PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO.....	18
8.4 PROCESSO FENTON COMO ALTERNATIVA À DECOMPOSIÇÃO FOTOLÍTICA..	19
8.5 MONITORAMENTO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DO CORANTE NA SOLUÇÃO SINTÉTICA.....	20
8.6 APLICAÇÃO DO PROCESSO DE CLARIFICAÇÃO NO EFLUENTE INDUSTRIAL.	21
9. CRONOGRAMA.....	21
REFERÊNCIAS.....	22

1. TEMA

Clarificação de água proveniente de tratamento de efluente têxtil.

2. DELIMITAÇÃO DO TEMA

Proposição de metodologia para clarificação de água proveniente do tratamento de efluente têxtil.

3. PROBLEMA DE PESQUISA

Em visita a uma empresa têxtil da região de Jaraguá do Sul-SC-BR, foi relatado a dificuldade no clareamento da água de ETE, no processo de polimento final, para posterior descarte no corpo hídrico, em especial nos dias que o efluente contém elevada carga de corante vermelho. Assim, o sistema de fotodegradação pode ser uma alternativa adequada para clareamento de água de efluente têxtil?

4. HIPÓTESES

- A cor do efluente é proveniente de um corante organometálico.
- O processo de clarificação do efluente pode ser realizado por fotodegradação.
- O processo de degradação com peróxido não ocorre em ambiente com ausência de luz.
- O processo de remoção da cor utilizado em solução sintética é eficiente na remoção de cor de efluente têxtil.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GERAL

Melhorar a remoção da cor de efluente têxtil gerado a partir do tingimento de fibras celulósicas com corante reativo.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Coletar e caracterizar o efluente têxtil da empresa cujo problema foi relatado.
- Produzir uma solução sintética contendo um corante similar ao do efluente têxtil.
- Testar e selecionar metodologias de remoção da cor no efluente sintético.
- Aplicar a metodologia com melhor resultado, para remoção da cor no efluente têxtil.

6. JUSTIFICATIVA

O aumento da atividade industrial geralmente leva a um maior consumo de água, tornando essencial o seu uso consciente, pois se trata de um recurso limitado em nosso planeta. Segundo Mierzwa e Hespanho (2005, p.9):

Dependendo do processo industrial, a água pode ser tanto matéria-prima, incorporada ao produto final, como um composto auxiliar na preparação de matérias-primas, fluido de transporte, fluido de aquecimento e/ou refrigeração ou nos processos de limpeza de equipamentos etc.

A qualidade da água de uso industrial varia conforme sua utilização e pode exigir padrões específicos diferentes da água potável. Na indústria têxtil a água é de suma importância para os processos produtivos, sendo uma das indústrias que mais consome água doce do planeta. No Brasil existem mais de 25 mil indústrias do ramo têxtil, segundo a AMDA (2018), Associação Mineira de Defesa do Ambiente, 93 bilhões de metros cúbicos de água são utilizados por ano para a indústria do vestuário e esse consumo representa 4% da extração mundial de água doce. Essa quantia de água é destinada desde o cultivo das matérias-primas, como o algodão, até o tingimento e acabamento dos tecidos, a quantidade de água utilizada pode ser extremamente elevada.

Jean Pereira (2015), afirma que a indústria da moda está entre as maiores fontes globalizadas em relação ao consumo e a poluição da água, tem-se que 25% dos produtos químicos produzidos globalmente são utilizados na indústria têxtil.

O tingimento é uma modificação na estrutura, de forma físico-química, o material tingido reflete certo comprimento de onda que provoca percepção de cor,

os produtos utilizados para o tingimento são chamados de materiais corantes (SALEM, 2010).

São considerados materiais corantes, compostos químicos que possuem a capacidade de colorir materiais têxteis ou não; a cor deve ser relativamente resistente a tratamentos úmidos e luz (SALEM, 2010).

Os materiais corantes ainda podem ser classificados em duas classes, corantes e pigmentos, Salem (2010, p. 43) enuncia que

Corantes: são solúveis ou dispersáveis no meio de aplicação (água). No tingimento, os corantes são adsorvidos e se difundem para o interior da fibra. Há interações físico-químicas entre corante e fibra. Pigmentos: são insolúveis em água. Aplicados na superfície da fibra e fixados mediante resinas sintéticas

A partir dos materiais corantes, os processos de tingimento ao material têxtil acontece; Salem (2010, p. 43) descreve os processos como

Contínuos: nesse processo o banho de impregnação permanece estacionado enquanto o substrato passa continuamente por ele, é espremido mecanicamente e fixado por calor seco ou vapor ou por repouso prolongado. Para evitar *dégradé*, não deve haver substantividade. Por esgotamento: o corante é deslocado do banho para a fibra. Nesse processo, há contato frequente entre o banho e a fibra mediante movimentação de um deles ou dos dois, o corante se desloca do banho para fibra devido à substantividade. Substantividade: é a propriedade do corante de se deslocar do banho de tingimento para fibra.

A utilização da água é regulamentada pela resolução n° 357, o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) dispõe os parâmetros para lançamentos de efluentes em corpos hídricos na resolução n° 430. A resolução indica parâmetros como: pH entre 5 e 9, temperatura inferior a 40°C (o corpo receptor deve manter variação de até 3°C, no máximo), materiais sedimentáveis (até 1mL/L em teste em cone Imhoff, DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) em 5 dias a 20°C (máximo de 120 mg/L), substâncias solúveis em hexanos (óleos e graxas) devem ser mantidas até 100 mg/L e ausência de materiais flutuantes (BRASIL, 2007).

Com o aumento das preocupações ambientais têm vindo à necessidade de um tratamento eficiente para efluentes de diversos órgãos como a OMS, USEPA e EPA, têm criado regras e incentivado o uso de tecnologias sustentáveis. Diante

desse cenário, a busca por soluções eficazes para o tratamento desses efluentes é crucial. Diversas metodologias têm sido desenvolvidas, incluindo:

- Adsorção: processo que utiliza materiais adsorventes para remover os corantes da água;
- Biodegradação: utilização de microrganismos para degradar os corantes;
- Oxidação: método que decompõe os corantes através de reações químicas.

Em suma, o correto gerenciamento dos efluentes têxteis é indispensável para minimizar os impactos ambientais negativos dessa indústria. A adoção de tecnologias de tratamento eficientes, aliada à análise da toxicidade dos corantes é fundamental para garantir a sustentabilidade do setor têxtil.

Em recente visita a uma empresa têxtil da região, o responsável pela estação de tratamento de efluentes relatou dificuldade na remoção de corante vermelho no efluente, resultando em dificuldade no processo de clarificação. Foi então que o grupo identificou uma oportunidade de desenvolvimento de um trabalho de pesquisa, visando auxiliar na resolução do problema.

7. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção, será apresentada a fundamentação teórica que serve de base para o desenvolvimento do trabalho. Serão expostos os principais conceitos, definições e teorias que permitem compreender melhor o tema estudado e auxiliar no desenvolvimento das atividades de pesquisa.

7.1 COMPOSIÇÃO E TRATAMENTO DOS EFLUENTES TÊXTEIS

Os efluentes têxteis são provenientes majoritariamente dos setores de estamparia e tinturaria e são constituídos por uma complexa mistura de compostos orgânicos e inorgânicos, como corantes sintéticos, sais, agentes tensoativos, óleos, solventes, metais pesados e sólidos em suspensão. Essa composição resulta em efluentes com alta carga poluidora, coloração intensa, pH variável e elevada demanda química e bioquímica de oxigênio, o que dificulta o seu tratamento por métodos convencionais. Quando descartados de forma inadequada, esses resíduos

comprometem a qualidade da água dos corpos receptores e causam sérios impactos aos ecossistemas aquáticos (HOLKOVSKY; SILVA; SANTOS, 2019).

O tratamento de efluentes têxteis é uma etapa fundamental para reduzir os impactos ambientais negativos da indústria têxtil e assegurar o cumprimento das leis de proteção ambiental (C2O,2025). Assim como o de outros efluentes industriais, os processos de tratamento têxteis buscam remover poluentes e substâncias tóxicas da água residual gerada durante a produção têxtil. Para isso, são utilizadas diversas técnicas, que podem ser combinadas de acordo com as características do efluente e os objetivos do tratamento. No tratamento preliminar é usado grades e peneiras para remover sólidos grosseiros, como fibras e partículas sólidas. Há também o processo de equalização, onde o efluente é homogeneizado para reduzir variações na carga poluente (C2O,2025).

Na etapa dos tratamentos físicos há a sedimentação, que permite que as partículas mais pesadas se depositem no fundo do tanque, facilitando sua remoção. Após a sedimentação, o efluente passa pelo processo de filtração, em que são usados filtros para remover partículas finas e sólidos suspensos (C2O,2025).

Na etapa dos tratamentos químicos, são adicionados coagulantes ao efluente para aglomerar as partículas e formar flocos, para facilitar a remoção. São adicionados também produtos químicos que têm o papel de precipitar íons indesejáveis, como elementos traços (C2O,2025).

O efluente que passou por todas as etapas anteriores é depositado em lagoas de estabilização, onde é promovida a atividade bacteriana, que permite a decomposição de matéria orgânica (C2O,2025).

Após o tratamento biológico, tecnologias avançadas têm sido empregadas; entre elas destacam-se a filtração avançada, que utiliza métodos como osmose reversa e ultrafiltração para eliminar contaminantes em escala molecular, e os processos de oxidação avançada, que empregam técnicas como fotocatalise e ozonização para decompor compostos de difícil degradação (C2O,2025).

Um aspecto igualmente relevante no tratamento de efluentes têxteis é a possibilidade de implementar sistemas de reúso de água. Quando a água tratada atinge os padrões de qualidade exigidos, ela pode ser reaproveitada para diversos fins, como irrigação ou mesmo em certos processos industriais. Essa prática sustentável traz benefícios ambientais ao reduzir a extração de recursos hídricos naturais, além de oferecer vantagens econômicas para as indústrias, que diminuem

seus custos operacionais com o consumo de água. Dessa forma, o tratamento avançado combinado com estratégias de reúso representa uma solução completa e ecologicamente responsável para o manejo de efluentes do setor têxtil (C2O,2025).

7.2 PROCESSOS DE POLIMENTO FINAL DA ÁGUA

A Portaria GM/MS nº 888 (BRASIL, 2021), define as regras para garantir a qualidade da água potável no Brasil e estabelece, que a água fornecida deve ter uma cor inferior a 15 unidades de cor verdadeira (uH^1)*. Quando a água apresenta cor, isso pode ser um sinal de que há substâncias indesejadas nela, como matéria orgânica em decomposição ou metais pesados. Esses contaminantes não só podem prejudicar a saúde das pessoas, mas também afetam o sabor e o odor da água, tornando-a menos agradável. A principal finalidade dessa legislação é assegurar que a água consumida pela população esteja sempre dentro de padrões rigorosos de qualidade, garantindo assim a segurança e o bem-estar de todos.

O polimento da água corresponde à etapa final do tratamento de efluentes e tem como objetivo retirar impurezas que ainda possam estar presentes, de forma a garantir que a água atenda aos limites de lançamento exigidos pela legislação. Entre os processos mais comuns estão a filtração em areia, o carvão ativado e a desinfecção (MARRARA, 2005).

A filtração em areia, principalmente na forma de filtração lenta, é utilizada para remover partículas sólidas e materiais em suspensão. À medida que a água atravessa o leito de areia, forma-se uma camada biológica que ajuda a reter contaminantes. Esse processo é bastante eficiente, já que mesmo partículas menores acabam sendo retidas nas camadas mais profundas do filtro (MARRARA, 2005).

O uso de carvão ativado é importante para retirar compostos orgânicos, cloro, metais pesados e substâncias que alteram o sabor, a cor e o odor da água. O mecanismo ocorre por adsorção, ou seja, os contaminantes ficam presos à superfície porosa do carvão. Quanto maior o tempo de contato entre a água e o material filtrante, melhor será a remoção (MARRARA, 2005).

¹ Corresponde a unidade de medida denominada “unidades de Hazen (uH)” ou “unidades de platina-cobalto (Pt-Co)”, representando a cor de uma solução padrão de platina e cobalto quando dissolvida em água.

Por fim, a etapa de desinfecção tem como finalidade eliminar microrganismos patogênicos, como bactérias e vírus, que podem oferecer riscos à saúde. Entre as técnicas mais utilizadas estão o uso de cloro, a radiação ultravioleta e o ozônio, sendo escolhidas de acordo com a qualidade da água, o volume tratado e o resultado esperado (MARRARA, 2005).

7.2.1 Adsorção

Entre todos os corantes, o preto de remanzol B se destaca por ser muito usado nas indústrias devido a sua elevada solubilidade e estabilidade química na água. Porém, a sua remoção é muito complicada de ser feita por conta da sua alta resistência à decomposição. Se esse resíduo for descartado de forma incorreta nos rios pode causar muitos problemas, como dificultar a entrada da luz solar e podem ser tóxicos também, para resolver esse problema deve-se procurar métodos sustentáveis e de baixo custo para tratar os efluentes (PINTO, 2012).

Um dos métodos mais eficaz para remoção desse corante é a adsorção, onde as moléculas do corante se fixam na superfície do adsorvente. Um dos materiais mais utilizados para o tratamento do efluente é o carvão ativado, porém ele gera um maior custo para as indústrias. Outro material é a casca do pinhão, que possui grande abundância e baixo custo, ela é composta por celulose, hemicelulose e lignina. Depois da casca do pinhão passar pelo preparo adequado que consiste em lavar, secar, triturar e ativação química, o material é usado como adsorvente para a retirada do corante preto de remanzol B da água (PINTO, 2012).

Em estudos realizados, foi concluído que a casca do pinhão trás resultados positivos para remoção do corante. Dessa maneira, é feito o tratamento dos efluentes e é reaproveitado resíduos orgânicos, sendo sustentável para o meio ambiente. No entanto, a casca do pinhão pode se tornar um resíduo passivo ambiental após ser usada para o tratamento do efluente pois tem uma degradação muito lenta e estará contaminada com substâncias tóxicas, para evitar esse problema as empresas precisarão ter um lugar onde será feito o descarte de maneira correta, como por exemplo um aterro industrial onde descartam resíduos perigosos ((PINTO, 2012).

7.2.2 Processos oxidativos

Os Processos Oxidativos Avançados (POAs), podem ser considerados como alternativas para limpar a água de poluentes complicados de serem removidos (SANTOS, 2016).

Os POAs funcionam por meio da geração do radical hidroxila (OH), para quebrar poluentes difíceis em substâncias bem mais simples e menos tóxicas, como a água, gás carbônico e sais. E existem várias formas de gerar esse radical, como por exemplo usando a luz UV, ozônio, peróxido de hidrogênio (H₂O₂), reações químicas ou até ultrassom (SANTOS, 2016).

Apesar de serem bem promissores, os POAs, têm que ser usados com cuidado, porque há chances de geração de subprodutos mais tóxicos que os próprios poluentes. Por essa questão é sempre bom avaliar bem a técnica antes de fazer a aplicação. Mesmo assim, eles são uma das melhores opções hoje em dia, quando o assunto é tratamento avançado de efluente (SANTOS, 2016).

7.2.3 Fitorremediação

Como aponta Silva *et al* (2016, p. 03) a fitorremediação, palavra derivada de fito, que significa planta, e remediação que corrige, conhecida desde 1991, é a tecnologia que utiliza plantas para degradar, extrair, conter ou imobilizar contaminantes do solo e da água.

A taxonomia da fitorremediação varia conforme a técnica utilizada e as características químicas do poluente. As plantas podem descontaminar solos por meio de diferentes mecanismos, como fitoextração, fitoestabilização, rizofiltração, fitodegradação, fitoestimulação, fitovolatilização, entre outros. Esses processos são aplicados de acordo com o tipo de resíduo contaminante, oferecendo diferentes efeitos e benefícios na recuperação do solo Silva *et al* (2016, p. 03).

A fitorremediação utiliza plantas para remover ou neutralizar contaminantes no solo, na água ou no ar. Cada espécie vegetal tem potencial para atuar sobre poluentes específicos, dependendo do tipo de contaminante e das condições do ambiente. A fitorremediação, embora seja uma técnica sustentável, pode gerar um resíduo passivo ambiental ao acumular contaminantes nas plantas utilizadas, exigindo descarte adequado para evitar a reintrodução dos poluentes no meio ambiente.

7.2.4 Biorremediação

Segundo Wielewski (2014), a biorremediação consiste em um conjunto de técnicas que utilizam microrganismos para tratar diferentes tipos de contaminação em diversos ambientes. Essa abordagem tem se desenvolvido significativamente nos últimos anos, explorando a ampla diversidade de microrganismos, capazes de transformar poluentes altamente tóxicos em substâncias menos prejudiciais ao meio ambiente.

Segundo Rosa (2021), os fungos têm um papel super importante na natureza, principalmente na reciclagem da matéria orgânica. Eles conseguem se adaptar fácil a diferentes tipos de alimento e ambientes, o que ajuda bastante na sobrevivência deles. Isso acontece porque eles produzem muitas enzimas, que funcionam como ferramentas para quebrar restos de plantas e outras substâncias orgânicas. Por causa disso, os fungos ajudam muito na decomposição e na renovação dos materiais no ambiente. Um exemplo de microrganismo com potencial para uso na biorremediação é o fungo, conforme Rosa (2021, p.27).

Fungos basidiomicetos ou fungos da podridão branca são exemplos de microrganismos com alta capacidade de degradação associada à produção de enzimas extracelulares. Essas enzimas possuem baixa especificidade para o substrato, podendo ser utilizadas para o tratamento de resíduos de características variadas como os resíduos têxteis.

Diversos estudos têm mostrado resultados positivos com espécies fúngicas de diferentes classes, comprovando a eficácia dos fungos na degradação de corantes e efluentes têxteis. De acordo com os estudos realizados por Rosa (2021), diversos gêneros de fungos têm demonstrado resultados positivos na biorremediação como *Aspergillus*, *Penicillium*, *Chaetomium*, *Trichoderma*, entre outros.

7.3 PRINCÍPIOS DA ESPECTROFOTOMETRIA

Por tratar-se de uma pesquisa sobre remoção de cor de efluentes aquosos, é importante utilizar uma técnica analítica capaz de quantificar a concentração de corante.

A técnica analítica mais utilizada para analisar a cor em soluções aquosas é a espectrofotometria, que consiste num método de análise óptica utilizado para análises biológicas e físico-químicas (GAUTO, GONÇALVES e ROSA, 2013). Configura uma análise baseada na interação da radiação eletromagnética com a matéria. Segundo a Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ) (s.d., p.1) “as substâncias absorvem ou emitem radiação eletromagnética (LUZ), podemos fazer uso desta propriedade (ABS ou emissão) para fazer análises (qualitativas ou quantitativas).”

Aproveitando-se da capacidade de absorção ou emissão de luz pelas moléculas, utiliza-se um espectrofotômetro para a realização das análises. De acordo com Gauto, Gonçalves e Rosa (2013, p. 109) “O espectrofotômetro é um instrumento que permite comparar a radiação absorvida ou transmitida por uma solução que contém uma concentração desconhecida e uma concentração conhecida da mesma substância”. O processo de medição no espectrofotômetro se subdivide nas seguintes etapas, respectivamente: emissão de luz por parte da fonte luminosa, seletor de comprimento de onda (monocromador), amostra, detector de luz e computador, medidor, ou registrador para apresentar os resultados (HARRIS, 2011).

Os princípios espectrofotométricos estão fundamentados na Lei de Lambert-Beer. Gauto, Gonçalves e Rosa (2013, p.110) destacam que a absorção da luz é diretamente proporcional à concentração da espécie absorvente presente na solução contida na cubeta, na qual será incidida a radiação. O caminho óptico (cubeta) também tem relação direta com a energia luminosa absorvida pela espécie (analito) presente na solução. Essas duas relações nos dão a lei fundamental da absorciometria que é a Lei de Beer-Bourguer-Lambert, comumente chamada de Lei de Lambert-Beer. Esta lei relaciona a absorbância (A) com a concentração (C) da espécie absorvente, considerando que, o caminho óptico, o comprimento de onda e a espécie absorvente não sofrerão variação, conforme equação (1).

$$A = \epsilon bC \quad (1)$$

A Lei de Lambert-Beer relaciona diretamente a absorbância com a concentração da espécie que absorve luz, visto que o caminho óptico(b) é constante

e a absorvidade molar(ϵ) também é uma constante específica de cada analito (CEFET/RJ, s.d.).

7.4 COMPOSTOS COLORIDOS (CROMÓFOROS)

Para explicar a presença de cor em diversas substâncias é importante compreender alguns conceitos relacionados aos cromóforos, que são espécies químicas que possuem determinadas características de átomos nas moléculas, que “trazem a cor”, como por exemplo, ligações duplas carbono-carbono conjugadas do caroteno, carbonila ou íons metálicos presentes em complexos metálicos. A presença de bandas de absorção no espectro visível ou ultravioleta pode ser um indicativo da possibilidade de transições eletrônicas que promovem o surgimento de cor (ATKINS; JONES, 2001). Os corantes utilizados na indústria têxtil apresentam composições variadas, podendo ser de origem orgânica ou compostos de coordenação, como os organometálicos, que se destacam por sua maior estabilidade.

Compostos de coordenação (organometálicos) são substâncias formadas por um átomo central (geralmente um metal) ligado a moléculas ou íons chamados ligantes, por meio de ligações coordenadas. A cor desses complexos é frequentemente causada pela absorção de radiação eletromagnética na região visível, provocando transições eletrônicas que ocorrem nos orbitais “d” do íon metálico central. A cor que pode ser observada é resultante da luz que não é absorvida mas é refletida ou transmitida (SILVA, 2006)

A cor depende muito do íon metálico central do complexo e dos ligantes (as moléculas ou íons coordenados a ele). Como por exemplo, o rubi é vermelho por conta que contém o óxido de alumínio (Al_2O_3) com traços do íon cromo (Cr^{3+}), enquanto a safira é azul devido a presença do Al_2O_3 com o íon ferro (Fe^{2+}) e titânio (Ti^{4+}). Mesmo mudando só o tipo de ligante ou a forma do composto a cor pode mudar (SOARES, Bruna). Portanto, a cor dos compostos de coordenação é consequência direta das suas estruturas eletrônicas e das interações entre o metal central e os ligantes (SOARES, 2011).

A Teoria do Campo Cristalino (TCC) elucida esses processos de absorção e emissão de luz pelos complexos metálicos. A teoria explica que a interação que ocorre entre o íon central e os ligantes é de natureza eletrostática, pois os ligantes

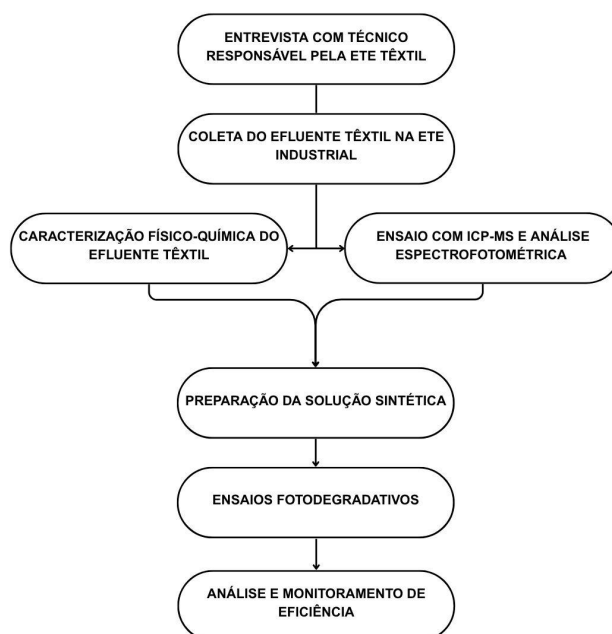
são vistos com carga negativa ou dipolos que causam repulsão dos elétrons dos orbitais d. Essa interação faz com que cinco orbitais d de mesma energia passem a ter energias diferentes, separando-se em dois grupos, t_{2g} e e_g . Se a diferença de energia (Δ) entre os grupos for pequena, os elétrons vão ocupar os orbitais antes de se emparelhar formando um complexo de alto spin, se a diferença de energia for grande, os elétrons vão se emparelhar nos orbitais com menor energia antes de ocupar os demais, formando um complexo de baixo spin.

8. METODOLOGIA

Este projeto tem como objetivo desenvolver uma metodologia para clarificação da água proveniente da ETE têxtil de uma empresa de Jaraguá do Sul. Inicialmente será feito um levantamento de informações sobre a composição dos efluentes, com base nos dados fornecidos pela empresa. Com essas informações obtidas, será possível preparar um efluente sintético para simular o efluente real da forma mais fiel possível.

Em seguida, será caracterizado o efluente por meio de testes físico-químicos, como pH, cor visível (UV/vis), turbidez e os teores de metais (ICP-MS). Essas análises iniciais vão ser referência para os testes dos tratamentos de clarificação que serão realizados posteriormente, conforme apresentado no fluxograma da Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma de atividades metodológicas.



Fonte: Dos autores, 2025.

As etapas apresentadas na Figura 1 serão detalhadas na sequência.

8.1 ENTREVISTA COM O TÉCNICO RESPONSÁVEL PELA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DA EMPRESA

Como parte da metodologia deste trabalho, será realizada uma entrevista com um profissional técnico responsável pela operação da ETE da empresa têxtil onde a amostra do efluente será coletada. O objetivo é obter informações detalhadas sobre o processo de tratamento de efluentes, com foco nas dificuldades na remoção da cor vermelha, que se destaca pela sua persistência mesmo após o tratamento convencional.

Durante a entrevista, serão coletados dados sobre os principais corantes vermelhos utilizados, suas classes químicas e as características que dificultam sua degradação. Essas informações serão essenciais para orientar a escolha do corante modelo a ser utilizado nos ensaios de fotodegradação.

8.2 SELEÇÃO DO CORANTE E PREPARAÇÃO DO EFLUENTE SINTÉTICO PARA O ENSAIO DE FOTODEGRADAÇÃO

Para garantir o controle e o processo das análises, será necessária a produção de um efluente sintético em laboratório. Esse efluente será produzido com base nas características físico-químicas do efluente original, previamente coletado na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) da empresa parceira.

A equipe irá caracterizar o efluente original por meio de análises instrumentais, incluindo espectrofotometria e ICP-MS (Espectrometria de Massas com Plasma Indutivamente Acoplado), além da avaliação de propriedades organolépticas como cor e aspecto visual. A partir dessas informações, serão definidas as condições necessárias para a preparação do efluente sintético.

A escolha e a concentração do corante a ser utilizado na formulação do efluente sintético serão determinadas com base na análise espectrofotométrica do efluente original. Com essa análise vai ser possível obter a identificação do comprimento de onda de máxima absorção ($\lambda_{\text{máx}}$), que será usado como referência para ajustar a intensidade da coloração no efluente sintético. A solução será então preparada utilizando água deionizada e uma quantidade específica de corante

vermelho, obedecendo assim às propriedades físico-químicas semelhantes às do efluente.

8.2.1 Identificação do corante têxtil

Para identificar se o corante presente na água é orgânico ou organometálico, este trabalho será realizado em duas etapas principais: a digestão ácida e a análise por ICP-MS (espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado) (RUAN, 2024).

Inicialmente, serão coletadas amostras da água contaminada e acondicionadas em frascos apropriados para a digestão. Em seguida, serão adicionados ácidos fortes (como ácido nítrico e ácido sulfúrico), e as amostras serão submetidas à digestão em um sistema aberto, que realiza o aquecimento controlado, em temperatura branda (60°C) (KRUG, 2008). Essa etapa tem como objetivo decompor os compostos orgânicos presentes e mineralizar os metais associados (RUAN, 2024).

Após a digestão, as amostras seguirão para análise por ICP-MS, técnica capaz de detectar metais mesmo em concentrações muito baixas. Os elementos mais relevantes para essa análise são: alumínio (Al), ferro (Fe), cobre (Cu), estanho (Sn), cromo (Cr), chumbo (Pb) e zinco (Zn), por serem comumente usados em corantes inorgânicos ou como mordentes em corantes orgânicos. (RUAN,2024)

Com base nos resultados, será possível analisar a presença ou ausência de metais e assim será possível classificar o corante em organometálico (quando tiver metais pesados) ou orgânicos (quando não existem metais ou estiverem presentes em quantidades de traço) (RUAN, 2024).

8.3 ENSAIOS DE FOTODEGRADAÇÃO DO EFLUENTE COM E SEM PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO

Os ensaios de fotodegradação tem por objetivo promover a degradação das moléculas do corante presente e consiste na exposição do efluente sintético à radiação luminosa, sendo luz UV ou luz artificial (lâmpada de filamento de tungstênio), conforme ilustrado na Figura 2. Serão conduzidos quatro grupos de experimentos: utilizando peróxido de hidrogênio (H_2O_2) como agente oxidante e

outro sem a sua adição, permitindo comparar a eficiência do processo com e sem o reagente.

Figura 2 - Sistema de tratamento com luz artificial.



Fonte: Dos autores, 2025.

Para isso, uma quantidade previamente definida do efluente sintético será distribuída em béqueres de vidro e exposta à luz por períodos a definir pela equipe, tanto na presença quanto na ausência de uma concentração padrão de H_2O_2 . Durante o experimento, amostras serão coletadas em intervalos regulares para análise espectrofotométrica, com o objetivo de monitorar a variação da absorbância no comprimento de onda correspondente ao $\lambda_{\text{máx}}$ do corante vermelho (MARMITT; PIROTTA; STÜLP, 2010). A eficiência do processo será avaliada pela redução da intensidade da coloração ao longo do tempo, permitindo verificar o potencial da fotodegradação na remoção do corante vermelho. Os procedimentos experimentais para degradação da cor vermelha do efluente sintético ocorrerão em condições ambiente de temperatura e pressão, de forma gradual. O efluente sintético será fracionado em outras 12 vidrarias iguais, o volume para cada amostra será padronizado em um valor de 70 mL. As amostras serão subdivididas em trios e agrupadas em condições específicas, submetidas a processos foto-assistidos e/ou catalisados com a adição de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) a 30%. A quantidade de

peróxido de hidrogênio à concentração 30% adicionada será de 250 µL para cada 70 mL de amostra presente.

O grupo 1 (denominado grupo-controle), estará submetido a condições reclusas de luminosidade solar ou artificial, este grupo não receberá adição do catalisador peróxido de hidrogênio e manterá a formulação original do efluente sintético para análise.

O grupo 2 será submetido a condições reclusas a luminosidade solar e artificial, neste grupo haverá a adição de 250 µL de peróxido de hidrogênio 30% (H₂O₂) para cada 70 mL de efluente, como descrito anteriormente (ARAÚJO; BUARQUE; NOGUEIRA; RODRIGUES; SALGADO; SAMPAIO, 2009).

O grupo 3 será submetido a interferência luminosa constante em ambiente gerado artificialmente com auxílio de uma lâmpada com filamento de tungstênio. Neste grupo não haverá adição de peróxido de hidrogênio.

O grupo 4 será submetido à condições de luminosidade artificial constante em ambiente gerado artificialmente, com adição de 250 µL de peróxido de hidrogênio 30% para cada 70 mL de amostra.

As amostras serão submetidas à leitura espectrofotométrica periódica a cada hora, durante 12 horas. Todas as amostras serão lidas no espectrofotômetro, no comprimento de onda de máxima absorbância a fim de avaliar o efeito do ambiente e utilização de catalisador na decomposição do corante vermelho em cada uma delas. (Adaptado de ARAÚJO; BUARQUE; NOGUEIRA; RODRIGUES; SALGADO; SAMPAIO, 2009).

8.4 PROCESSO FENTON COMO ALTERNATIVA À DECOMPOSIÇÃO FOTOLÍTICA

O processo oxidativo do tipo Fenton será utilizado como alternativa metodológica em caso de não efetividade dos ensaios de fotodegradação descritos no item 8.4.

O grupo 1 (denominado grupo-controle), manterá a formulação original do efluente sintético, sendo assim, não receberá adição de sulfato de ferro (II) heptahidratado e de peróxido de hidrogênio.

O grupo 2, receberá a adição de 15 mg de FeSO₄ .7H₂O(60 mg) e 750 µL de H₂O₂ 30%. O procedimento será executado sob agitação constante correspondente

a 200 rpm (Adaptado de ARAÚJO; BUARQUE; NOGUEIRA; RODRIGUES; SALGADO; SAMPAIO, 2009.).

8.5 MONITORAMENTO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DO CORANTE NA SOLUÇÃO SINTÉTICA

O método da espectrofotometria será utilizado para verificar a eficiência da clarificação do efluente têxtil sintético. Através dessa técnica, podemos quantificar a transmitância da amostra antes e depois do tratamento, mostrando a quantidade de cor restante na solução. Sabendo que os corantes absorvem luz em alguns comprimentos de onda, a comparação das leituras permitirá verificar se houve ou não a redução dos corantes após o tratamento de clarificação.

Essa observação será feita no espectrofotômetro e uma menor transmitância(T) significará que ocorreu clarificação da solução problema, sendo fundamental para monitorar os resultados, conforme Equação 2, considerando o objetivo de remoção total do corante da solução de 100%.

$$\% \text{ remoção do corante} = - \left(\frac{T_o - T_f}{T_o} \right) \times 100 \quad (2)$$

Sendo T_o o valor correspondente a transmitância inicial, T_f correspondente a transmitância final e a porcentagem de remoção do corante sendo dada pelo produto da subtração de T_o e T_f em relação a transmitância inicial. Assim, a remoção do corante representa, em porcentagem, a efetividade do procedimento de remoção em análise.

8.6 APLICAÇÃO DO PROCESSO DE CLARIFICAÇÃO NO EFLUENTE INDUSTRIAL

Após realizados os ensaios com a solução sintética e as condições otimizadas, o processo será realizado com o efluente industrial. Também será realizado o monitoramento para atestar a eficiência do processo de remoção do corante.

9. CRONOGRAMA

Inicialmente será feita a visita à empresa para coleta de amostra e entrevista com o responsável técnico pela estação de tratamento de efluentes. Após esta visita a água será utilizada em diversos ensaios, como as análises por ICP-MS e fotodegradação.

Baseado nas informações sobre o efluente coletadas na entrevista e nos resultados obtidos nas análises de metais por ICP-MS, será preparada a solução sintética, utilizada para os testes preliminares; para depois desta etapa, escolher a metodologia com os melhores resultados e testá-la na clarificação do efluente da empresa.

Os resultados obtidos serão compilados e confeccionado o relatório parcial, apresentado para a banca avaliadora, ao final do semestre 2025/2. Todas as etapas do desenvolvimento da pesquisa estão apresentadas no quadro.

Atividades 2025/2	Ago	Set.	Out.	Nov	Dez
Realização de ajustes no projeto	X				
Coleta de amostras e realização de entrevista com profissional	X	X			
Realização de análises por ICP-MS		X			
Realização dos ensaios de fotodegradação(em bancada)		X	X		
Análise dos resultados			X	X	
Confecção do relatório parcial			X	X	
Apresentação do relatório parcial					X

Baseado nas contribuições da banca avaliadora, será feito o planejamento das atividades que serão desenvolvidas no semestre de 2026/1. Com os resultados obtidos nas pesquisas em bancada, pretende-se realizar os testes em escala industrial, aplicando o tratamento de clarificação na água da empresa cujo problema de pesquisa foi detectado. Nesta etapa, parte das atividades serão desenvolvidas na estação de tratamento de efluentes da empresa, em parceria com os funcionários do setor.

Conforme apresentado no quadro.....as atividades serão desenvolvidas no primeiro semestre do ano de 2026, com confecção de um artigo científico, que será apresentado para a banca avaliadora. A apresentação para a banca avaliadora ocorrerá no final do semestre de 2026-1.

Atividades 2026/1	Março	Abril	Mai	Junho	Julho
Realização de ajustes no projeto	X				
Apresentação dos resultados parciais para a empresa	X				
Realização de ensaios com o efluente na ETE da empresa		X	X		
Realização de ajustes(caso necessário), no laboratório do IFSC			X	X	
Análise dos resultados			X	X	
Confecção do artigo científico				X	
Apresentação do artigo para a banca avaliadora					X

Após a apresentação do artigo, serão feitos os ajustes propostos pela banca avaliadora e será avaliada a possibilidade de submissão do artigo para revista especializada da área têxtil.

REFERÊNCIAS

AMDA (Minas Gerais). **Indústria têxtil consome 93 bilhões de metros cúbicos de água por ano**. 2018. Disponível em:

<https://amda.org.br/informacoes-ambientais/5240-industria-textil-consome-93-bilhoes-de-metros-cubicos-de-agua-por-ano/>. Acesso em: 24 mar. 2025.

ATKINS, Peter; JONES, Loretta. **Princípios de Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. Nova York: Bookman, 2001.

BRASIL. Cefet/Rj. Ministério da Educação. **ANÁLISE INSTRUMENTAL: espectrofotometria**. Rio de Janeiro: Cefet Química-Rj, 19--. 35 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021.

Dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, 4 maio 2021. Disponível em:

https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_24_05_2021_rep.html. Acesso em: 21 abr. 2025.

C2O. **Efluentes: como tratar?** Disponível em:

https://www.c2o.pro.br/vis_int_agua/ar01s11.html. Acesso em: 18 ago. 2025.

HARRIS, Daniel C. **Explorando a química analítica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2011. 550 p.

HOLKOVSKY, R.; SILVA, C. M.; SANTOS, L. P. Tratamento de efluentes têxteis: revisão de tecnologias convencionais e avançadas. *Revista Ambiente & Água*, Taubaté, v. 14, n. 6, p. 1–16, 2019. Disponível em:

<https://www.ambi-agua.net/seer/index.php/ambi-agua/article/view/2431>

KRUG, Francisco José. **Método de Preparo de Amostras: fundamentos sobre preparo de amostras orgânicas e inorgânicas para análise elementar**. Piracicaba: F.J. Krug, 2008.

MARRARA, Danilo Aparecido Faveri. Filtração lenta em areia, manta não tecida e carvão ativado como pós-tratamento de efluentes domésticos e reúso. 2005. 118 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005. Disponível em:

<https://hdl.handle.net/20.500.12733/1602833>. Acesso em: 27 fev. 2025

MARMITT, Sandro; PIROTTA, Lilian Viali; STÜLP, Simone. Aplicação de fotólise direta e UV/H₂O₂ a efluente sintético contendo diferentes corantes alimentícios.

Química Nova, [S. l.], v. 33, n. 2, p. 398-402, 2010. Disponível em:
http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422010000200027.
Acesso em: 17 jun. 2025.

MULTIÁGUA. **O tratamento de efluentes na indústria têxtil**. Multiágua Soluções Industriais, 202?. Disponível em:
<https://multiagua.com.br/solucoes-industriais/tratamento-de-efluentes/o-tratamento-d-e-efluentes-na-industria-textil/>. Acesso em: 14 abr. 2025

PINTO, Rodrigues Barbosa. Remoção do corante têxtil preto de Remazol B de soluções aquosas usando adsorventes à base de casca de pinhão. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012. Disponível em:
<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/55478>. Acesso em: 22 de abril, 2025.

ROSA, Augusto Ferraz da Silva. Imobilização de fungos filamentosos para o tratamento de efluente têxtil. 2021 – Centro de Biociências, Departamento de Micologia, Programa de Pós-Graduação em Biologia de Fungos, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 69 p. Disponível em:
<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/33617/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20Augusto%20Ferraz%20da%20Silva%20Rosa.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2025.

ROSA, Gilber; GAUTO, Marcelo; GONÇALVES, Fábio. **Química analítica: práticas de laboratório**. São Paulo: Bookman Companhia, 2013. 127 p

RUAN, Yudi; MENG, Xianshuang; WANG, Jiangang; MA, Qiang. Applications of Mass Spectrometry in Textile Analysis: An Overview. *Textile Analysis*, agosto 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s41664-024-00322-1>. Acesso em: 17 jun. 2025

SALGADO, Bruno César Barroso; NOGUEIRA, Maria Ionete Chaves; RODRIGUES, Kelly Araújo; SAMPAIO, Glória Maria Marinho Silva; BUARQUE, Hugo Leonardo de Brito; ARAËJO, Rinaldo dos Santos. **Descoloração de efluentes aquosos sintéticos e têxtil contendo corantes índigo e azo via processos Fenton e foto-assistidos (UV e UV/H₂O₂)**. 2009. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/esa/a/6RN8xzPHB5kMtwGX5rN9rdq/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 20 jun. 2025.

SANTOS, M. R. et al. Processos oxidativos avançados: uma revisão de fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais. *Revista Ambiente & Água*, Taubaté, v. 11, n. 2, p. 387–401, jun. 2016. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/XjBbHvfYf4bXbDxYnX3xR3r/?lang=pt>. Acesso em: 14 abr. 2025.

SILVA, André Luis Silva da. **Coloração de Compostos de Coordenação**. 2006. Disponível em:
<https://www.infoescola.com/quimica/coloracao-de-compostos-de-coordenacao/>.
Acesso em: 04 maio 2025.

SILVA, Fillipe Bani de Toledo da; FARIA, Thaís Luciana; CABANAS, Ana; SIMÕES, Guilherme Silveira. Árvores freatófitas: processo de fitorremediação aos resíduos industriais. In: INIC - Simpósio de Iniciação Científica, 2016, São José dos Campos. São José dos Campos: Univap, 2016. p. 1-6. Disponível em:
https://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2016/anais/arquivos/RE_0218_0682_01.pdf.
Acesso em: 7 maio. 2025.

SOARES, Bruna. Teoria de cadeias; teoria de coordenação; estereoquímica. TCC (Graduação em Química), 2011. 28 p. Disponível em:
<https://epsjv.phlnet.com.br/beb/textocompleto/mfn21195.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2025.

UFJF. Departamento de Química – Curso de Licenciatura em Química. Teoria do Campo Cristalino – TCC: ligações químicas nos compostos de coordenação: Teoria do Campo Cristalino (TCC). [s.d.]. Disponível em:
https://www2.ufjf.br/quimicaead/wp-content/uploads/sites/224/2013/09/QI_Aula6.pdf.
Acesso em: 5 maio 2025.

WIELEWSKI, Leonardo Pellizzari. *Avaliação da adsorção do corante Preto Reativo 5 em espuma de poliuretana e análise preliminar da biodegradação por fungos basidiomicetos*. 2014. 68 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Processos Ambientais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/9665>. Acesso em: 18 jun. 2025.