



UFC

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO DE BACHARELADO EM QUÍMICA**

ANA CAROLINE NASCIMENTO SOUZA

ANÁLISE DE ÁGUA E EFLUENTE DE UMA INDÚSTRIA TÊXTIL

FORTALEZA

2025

ANA CAROLINE NASCIMENTO SOUZA

ANÁLISE DE ÁGUA E EFLUENTE DE UMA INDÚSTRIA TÊXTIL

Trabalho final de curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Química do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do Grau de Bacharel em Química.

Orientador: Profa. Dra. Maria das Graças Gomes

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S713a Souza, Ana Caroline Nascimento.
Análise de água e efluente de uma indústria têxtil / Ana Caroline Nascimento Souza. – 2025.
42 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências,
Curso de Química, Fortaleza, 2025.
Orientação: Profa. Dra. Maria das Graças Gomes.
1. Efluente têxtil. 2. Tratamento. 3. Qualidade da água. 4. Sustentabilidade industrial. I. Título.
CDD 540
-

ANA CAROLINE NASCIMENTO SOUZA

ANÁLISE DE ÁGUA E EFLUENTE DE UMA INDÚSTRIA TÊXTIL

Trabalho final de curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Química do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do Grau de Bacharel em Química.

Aprovada em: 24/07/2025.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Maria das Graças Gomes
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Anne Carolayne da Cunha Monte
Vicunha Têxtil

Profa. Dra. Fabia Pinho Rocha Peixoto
Instituto Federal do Ceará (IFCE)

A Deus.

Aos meus pais, Ana e Afranio, pela confiança e dedicação; À minha família por todo apoio e compreensão e a todos que fazem morada no meu coração e na minha saudade.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde, força e sabedoria concedidas ao longo de toda essa caminhada.

Aos meus pais, Ana Claudia do Nascimento Souza e José Afranio de Souza, pelo amor, pelas palavras de consolo, apoio constante e por sempre acreditarem no meu potencial, mesmo nos momentos mais difíceis.

À minha família, que sempre esteve ao meu lado, torcendo por mim.

À Profa. Dra. Maria das Graças Gomes, minha orientadora, pela paciência, pelo incentivo e contribuições valiosas para o desenvolvimento deste trabalho que acrescentaram ao meu processo pessoal e profissional.

Às participantes da banca examinadora, Anne Carolayne da Cunha Monte por todo conhecimento, experiências e momentos divididos; e Fabia Pinho Rocha Peixoto pelo tempo, disponibilidade e antiga parceria.

Aos professores do curso de Química, que contribuíram para a minha formação acadêmica e profissional ao longo desses anos.

Aos meus amigos, de longa data e que fui cativando durante o caminho, que independente da distância, estiveram sempre comigo nos momentos de dificuldade, dúvida, dor, alegria e conquistas. Vocês foram minha segunda família.

A Giovanni Matheus Santos de Sousa, minha gratidão por todos os dias se fazer presente, pelo cuidado, por ser porto seguro nos momentos em que precisei de força e serenidade, por me encorajar nos dias difíceis e por tornar essa jornada mais leve e possível.

E a todos os que direta ou indiretamente estiveram ao meu lado durante a minha formação.

“A essência da vida é andar pra frente; sem possibilidade de fazer ou intentar marcha atrás; Na realidade, a vida é uma rua de sentido único.” (Agatha Christie).

RESUMO

A indústria têxtil, apesar de sua grande importância na indústria de transformação, é grande geradora de poluição, devido ao fato de seus efluentes apresentarem características de difícil degradação pela presença, em grande parte, dos corantes, que são utilizados e não se fixam totalmente nos tecidos durante o processo do tingimento, desta maneira, diferentes tratamentos são empregados visando minimizar a carga poluidora destes efluentes. Entre os métodos mais utilizados destacam-se os processos físico-químicos, além dos tratamentos biológicos, que se mostram eficazes especialmente para compostos biodegradáveis. Contudo, a presença de corantes sintéticos, metais pesados e alta carga orgânica impõe desafios adicionais, exigindo a combinação de tecnologias para se alcançar a eficiência desejada. Diante disso, o tratamento de efluentes têxteis torna-se uma etapa essencial para a sustentabilidade do setor, contribuindo para a preservação dos recursos hídricos e a redução dos impactos ambientais negativos. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo analisar a qualidade da água bruta, industrial e dos efluentes de uma indústria têxtil, verificando sua conformidade com os limites estabelecidos pelas resoluções CONAMA nº 357/2005 e COEMA nº 02/2017. Foram realizadas análises físico-químicas em diferentes pontos do processo, incluindo parâmetros como pH, condutividade elétrica, cor, turbidez, ferro, sílica, cloretos, sulfatos, sulfetos, sólidos totais e demanda química de oxigênio (DQO). Os resultados mostraram que, apesar da eficiência parcial do sistema de tratamento — principalmente na redução de cor e DQO — ainda existem inconformidades frequentes quanto aos limites legais, principalmente relacionados à DQO, cor verdadeira e sólidos suspensos totais. Além disso, observou-se em alguns casos o aumento da carga orgânica após a etapa biológica, indicando falhas no fornecimento de oxigênio ou baixa eficiência microbiológica. A água industrial, embora tratada, também apresentou variações indesejadas em condutividade e presença de íons como ferro e sílica, os quais interferem negativamente nos processos de tingimento. Conclui-se que o sistema de tratamento necessita de ajustes, especialmente na etapa biológica e no polimento final, sendo recomendada a integração com tecnologias complementares, como processos oxidativos avançados. Tais melhorias são essenciais para garantir a conformidade ambiental, a qualidade dos produtos e a sustentabilidade do setor têxtil.

Palavras-chave: efluente têxtil; tratamento; qualidade da água; sustentabilidade industrial

ABSTRACT

The textile industry, despite its great importance within the manufacturing sector, is a major source of pollution due to the fact that its effluents exhibit characteristics that make degradation difficult, primarily because of the dyes used, which are not fully fixed to the fabrics during the dyeing process. As a result, various treatment methods are employed to minimize the pollutant load of these effluents. Among the most commonly used are physicochemical processes, as well as biological treatments, which have proven effective especially for biodegradable compounds. However, the presence of synthetic dyes, heavy metals, and a high organic load presents additional challenges, requiring the combination of technologies to achieve the desired efficiency. Given this scenario, the treatment of textile effluents becomes an essential step toward the sustainability of the sector, contributing to the preservation of water resources and the reduction of negative environmental impacts. In this context, the objective of this study was to analyze the quality of raw, industrial, and effluent water from a textile industry, verifying its compliance with the limits established by Brazilian environmental resolutions CONAMA No. 357/2005 and COEMA No. 02/2017. Physicochemical analyses were carried out at different stages of the process, including parameters such as pH, electrical conductivity, color, turbidity, iron, silica, chlorides, sulfates, sulfides, total solids, and chemical oxygen demand (COD). The results showed that, despite the partial efficiency of the treatment system—especially in the reduction of color and COD—there were still frequent non-compliances with legal standards, particularly related to COD, true color, and total suspended solids. Additionally, in some cases, an increase in organic load was observed after the biological stage, indicating possible failures in oxygen supply or low microbiological efficiency. The treated industrial water also showed undesirable variations in conductivity and the presence of ions such as iron and silica, which negatively affect dyeing processes. It is concluded that the treatment system requires adjustments, especially in the biological and final polishing stages, and the integration of complementary technologies, such as advanced oxidation processes, is recommended. These improvements are essential to ensure environmental compliance, product quality, and the sustainability of the textile sector.

Keywords: textile effluent; treatment; water quality; industrial sustainability

LISTA DE IMAGENS

Figura 1	– Diagrama Geral do Processo Produtivo	16
Figura 2	– Exemplo de grupo cromóforo (A) e auxocromo (B)	18
Figura 3	– Reação de processo de tintura de algodão com corante contendo sulfatoetilsulfona como centro reativo da molécula	19
Figura 4	– Exemplo de corante direto (vermelho do congo) contendo grupos diazo como grupo cromóforo	19
Figura 5	– Estrutura molecular do corante ácido violeta	20
Figura 6	– Processo de redução do corante à cuba com ditionito de sódio	20
Figura 7	– Reação de corantes contendo grupo tiosulfato com íon sulfeto e subsequente formação dos corantes com pontes de dissulfeto	21
Figura 8	– Corante Vermelho de Ionamina solubilizado temporariamente através de reação de hidrólise	21
Figura 9	– Exemplo de Corante Branqueador contendo grupo triazina usado no branqueador de algodão, poliamida, lã e papel	22
Figura 10	– Resumo fluxo de água nas etapas de tingimento e beneficiamento	24
Quadro 1	– Proporções de corantes utilizados	38
Quadro 2	– Comparativo entre métodos de tratamento de efluentes têxteis	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados de água bruta e industrial	34
Tabela 2 – Dados de efluente	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivos gerais	15
2.2	Objetivos específicos	16
3	REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1	Etapas da produção têxtil	16
3.2	Tingimento	17
3.3	Corantes	18
3.3.1	<i>Corantes Reativos</i>	19
3.3.2	<i>Corantes Diretos</i>	19
3.3.3	<i>Corantes Ácidos</i>	19
3.3.4	<i>Corantes a Cuba</i>	20
3.3.5	<i>Corantes de Enxofre</i>	20
3.3.6	<i>Corantes Dispersos</i>	21
3.3.7	<i>Corantes Azóicos</i>	21
3.3.8	<i>Corantes Pré-metalizados</i>	21
3.3.9	<i>Corantes Branqueadores</i>	22
3.3.10	<i>Índigo</i>	22
3.4	Água no processo têxtil e geração de efluentes	23
3.4.1	<i>Tratamentos de efluentes da indústria têxtil</i>	24
3.4.1.1	<i>Tratamentos Físico-Químicos</i>	26
3.4.1.2	<i>Tratamentos Biológicos</i>	26
3.4.1.3	<i>Processos Oxidativos Avançados (POAs)</i>	27
3.4.1.4	<i>Integração de Tecnologias</i>	28
4	METODOLOGIA	29
4.1	Análises Físicas e Físico-Químicas.....	29
4.1.1	<i>pH e condutividade</i>	29
4.1.2	<i>Análise de cor</i>	30
4.1.3	<i>Análise de turbidez</i>	30
4.1.4	<i>Análise de ferro</i>	30
4.1.5	<i>Análise de sílica</i>	30

4.1.6	<i>Análise de cloretos</i>	31
4.1.7	<i>Análise de dureza</i>	31
4.1.8	<i>Análise de sulfato</i>	31
4.1.9	<i>Análise de sulfeto</i>	31
4.1.10	<i>Análise de sólidos totais</i>	31
4.1.11	<i>Análise de demanda química de oxigênio</i>	32
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
6	CONCLUSÃO	41
	REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

A água constitui um dos recursos naturais mais valiosos e essenciais à manutenção da vida humana. Durante décadas, porém, prevaleceu a concepção equivocada de que se tratava de um recurso inesgotável, capaz de fornecer água potável indefinidamente e de absorver resíduos sem prejuízos significativos. Essa perspectiva contribuiu para o uso excessivo, o desperdício e a gestão inadequada dos recursos hídricos ao longo do tempo.

Atualmente, setores como a indústria e a agricultura figuram entre os maiores consumidores de água. As indústrias utilizam esse recurso em diversas etapas de produção, incluindo como matéria-prima, na remoção de impurezas, geração de vapor e processos de refrigeração. Já a agricultura responde pela maior demanda hídrica, utilizando aproximadamente 70% da água doce disponível para a irrigação de culturas, segundo dados do Ministério do Meio Ambiente (BRASIL-MMA, 2005).

Nas últimas décadas, observou-se um expressivo crescimento no consumo global, o que resultou em uma intensificação dos processos de industrialização. Essa dinâmica, embora voltada à satisfação das demandas do mercado consumidor, tem promovido a exploração contínua dos recursos naturais, gerando impactos ambientais potencialmente irreversíveis.

Embora o Brasil possua uma das maiores disponibilidades hídricas do planeta ainda enfrenta sérios desafios quanto à gestão desse recurso. Além disso, a qualidade dos recursos hídricos é comprometida pela poluição de origem doméstica e industrial, o que agrava ainda mais a situação e evidencia a necessidade de uma gestão mais eficiente e sustentável (COSTA 2010).

A indústria têxtil brasileira possui relevância socioeconômica, destacando-se como a segunda maior empregadora no setor da indústria de transformação, com cerca de 1,6 milhão de empregos diretos. Além disso, o Brasil ocupa a quinta posição entre os maiores produtores mundiais de têxteis (ABIT, 2020). No entanto, apesar de sua significativa contribuição para a economia nacional, esse setor industrial configura-se também como um dos principais consumidores de água no comparativo com outros segmentos industriais, o que reforça a necessidade de adoção de práticas mais sustentáveis em seus processos produtivos e constante análise e monitoramento dos resíduos produzidos.

Diante dessa problemática, para a elaboração deste trabalho, foram realizadas análises físicas e físico-químicas de amostras de água bruta e tratada, bem como de efluentes de uma indústria têxtil.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

Analisar amostras de água utilizada no processo têxtil e comparar com os parâmetros exigidos na legislação.

2.2 Objetivos Específicos

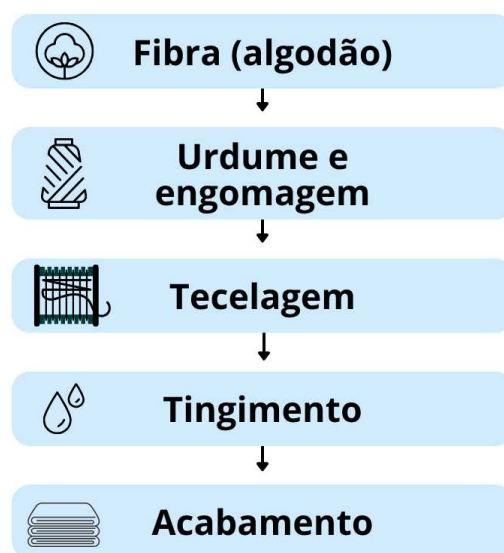
- Determinar parâmetros da qualidade da água bruta, industrial e do efluente por meio de análises físicas e físico-químicas;
- Comparar os resultados obtidos com a legislação em vigor;
- Discutir o impacto ambiental gerado pelo atendimento ou não desses parâmetros.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Etapas da produção têxtil

A indústria têxtil é composta por uma cadeia de produção complexa, que transforma fibras em tecidos acabados prontos para a confecção, como mostra de forma resumida na figura 1. O processo tem início com o recebimento das fibras, que podem ser naturais, artificiais ou sintéticas. O algodão, passa por limpeza, mistura e abertura, assegurando uniformidade e qualidade para as etapas seguintes (SENAI CETIQT, 2012).

Figura 1 – Diagrama Geral do Processo Produtivo



Fonte: Autor

A fiação consiste na transformação de fibras em fios contínuos e resistentes. Etapas como cardagem, penteagem (quando necessário) e filatura ocorrem com o objetivo de alinhar, limpar e torcer as fibras (KADLUBEK et al., 2015). O fio resultante pode ser destinado diretamente à tecelagem ou ao tingimento prévio.

Antes da tecelagem, os fios são organizados por meio do urdimento e da engomagem. O urdume corresponde aos fios longitudinais que serão entrelaçados no tear. A engomagem aplica uma camada protetora sobre esses fios, aumentando sua resistência ao atrito durante o processo de tecelagem (CORRÊA, 2009).

A tecelagem é a etapa onde ocorre o entrelaçamento dos fios de urdume e trama para a formação do tecido. No caso do denim, utiliza-se a técnica de sarga, que proporciona o

aspecto diagonal típico do jeans (ABIT, 2020). O tecido cru resultante segue para o beneficiamento.

O tingimento, especialmente do denim, é uma das etapas mais características da produção, seguido do beneficiamento que inclui etapas como desengomagem, alveamento, mercerização, amaciamento e sanforização, onde o objetivo é conferir ao tecido características desejáveis como brilho, maciez, estabilidade dimensional e resistência ao encolhimento (CARR; LATHAM, 2001).

3.2 Tingimento

O tingimento é a etapa de coloração dos substratos têxteis através da aplicação de corantes, permitindo que o tecido adquira padrões de cor, transpiração e lavagem. As substâncias que conferem coloração à fibra devem apresentar alta afinidade com o tecido, uniformidade na coloração, resistência aos agentes desencadeadores do desbotamento e ainda serem economicamente viáveis (TWARDOKUS, 2004).

O processo pode ser dividido em três etapas: migração, absorção e difusão/fixação. Primeiramente, o corante migra do meio em que se encontra diluído para a superfície da fibra. Ao estabelecer-se o contato, inicia-se sua adsorção pelas camadas superficiais do substrato têxtil. O corante absorvido difunde-se no interior da fibra e fixa-se nela por meio de ligações iônicas, pontes de hidrogênio, forças de Van der Waals ou ligações covalentes, dependendo da natureza do material (CPRH, 2001).

Este processo pode ser efetuado diretamente em fios, tecidos ou malhas. Geralmente, fios e malhas são tingidos em procedimentos em batelada e os tecidos planos em processos contínuos. A escolha do método de aplicação está diretamente relacionada ao tipo de substrato, ao volume de produção, às propriedades físico-químicas do corante e à uniformidade desejada na coloração. Os processos descontínuos, como o tingimento em jig, beck, overflow ou autoclave, são amplamente empregados pela flexibilidade de operação e pela possibilidade de adaptação a pequenas e médias produções. Já os métodos contínuos, como o pad-steam e pad-dry-cure, são preferidos em escala industrial, devido à maior produtividade e menor consumo de água por metro de tecido (LADCHUMANANANDASIVAM, 2008, p. 33–35).

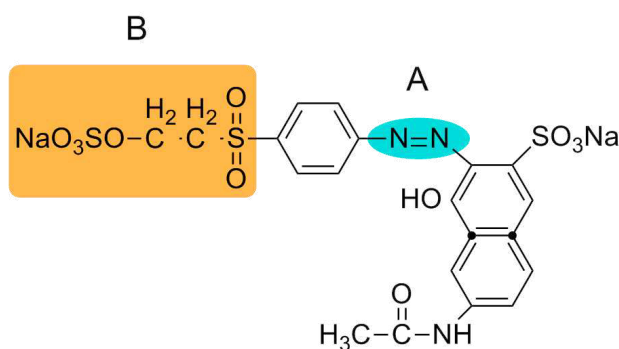
Destaca-se a importância do uso de auxiliares químicos no banho de tingimento, os quais desempenham funções específicas para estabilizar o sistema, melhorar o rendimento do corante e controlar a uniformidade da coloração. Entre eles, pode-se citar os eletrólitos

(como o cloreto de sódio), que promovem o esgotamento de corantes diretos; nivelantes, que controlam a taxa de adsorção; agentes complexantes, que removem íons metálicos da água; e tensoativos, que reduzem a tensão superficial e facilitam a penetração do corante na fibra (LADCHUMANANANDASIVAM, 2008, p. 37–43).

3.3 Corantes

Os corantes têxteis são compostos orgânicos ou inorgânicos, que têm por finalidade dar cor às fibras e estão classificados de acordo com sua estrutura química ou pelo modo com que o mesmo é fixado à fibra têxtil (ZANONI; YAMANAKA, 2016). Porém, as mesmas características que conferem aos corantes a capacidade de interagir com a superfície do material e permanecer inalterado por longos períodos, são os responsáveis pela sua toxicidade (BANAT et al., 1996). Os corantes possuem anéis aromáticos e/ou duplas ligações responsáveis pela cor, chamados cromóforos, e também o grupo dos auxocromos, que funcionam como doadores ou aceptores de elétrons, que provocam ou intensificam a cor dos cromóforos. Ou seja, são responsáveis pela fixação do corante à fibra (SANTOS et al., 2007). Baseado na estrutura química dos cromóforos, os corantes sintéticos são classificados em diferentes grupos, sendo o mais representativo e largamente empregado o dos azocorantes. Estes se caracterizam por apresentar grupamentos N=N- ligados a anéis aromáticos, como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Exemplo de grupo cromóforo (A) e auxocromo (B)



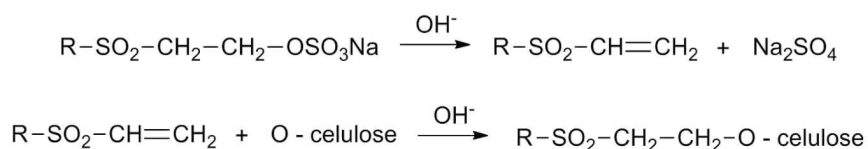
Fonte: ZANONI (2001) com adaptações

Os corantes podem ser classificados de acordo com sua estrutura química e/ou pelo modo de fixação à fibra, sendo que cada tipo apresenta mecanismos específicos de interação com os substratos têxteis.

3.3.1 Corantes Reativos

São corantes que contêm grupos eletrofílicos reativos, capazes de formar ligações covalentes com grupos nucleofílicos presentes nas fibras (hidroxilas na celulose; amino, tióis ou hidroxilas em fibras proteicas e poliamidas). O mecanismo de fixação ocorre por substituição nucleofílica ou adição nucleofílica (figura 3). Exemplos de grupos reativos incluem clorotriazina e sulfatoetilsulfona, que reagem em meio alcalino com a fibra, formando uma ligação estável.

Figura 3 – Reação de processo de tintura de algodão com corante contendo sulfatoetilsulfona como centro reativo da molécula

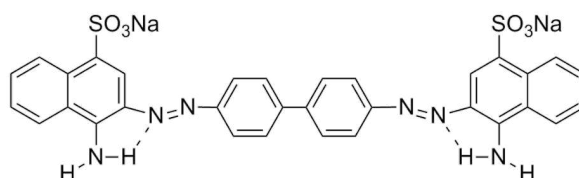


Fonte: ZANONI (2001) com adaptações

3.3.2 Corantes Diretos

Fixam-se às fibras celulósicas (algodão, viscose) por interações físicas não covalentes, como forças de Van der Waals e ligações de hidrogênio. A adsorção do corante é facilitada por sua geometria plana e a presença de cadeias conjugadas que promovem forte afinidade com a celulose. A adição de eletrólitos melhora a fixação, reduzindo a solubilidade do corante no banho e favorecendo sua deposição na fibra. Como exemplo, a figura 4.

Figura 4 - Exemplo de corante direto (vermelho do congo) contendo grupos diazo como grupo cromóforo



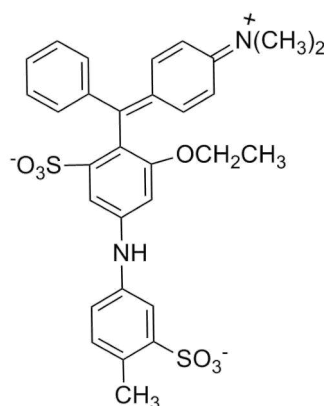
Fonte: ZANONI (2001) com adaptações

3.3.3 Corantes Ácidos

São corantes aniônicos, geralmente com grupos sulfônicos (-SO₃H), solúveis em água, que se ligam a fibras protéicas (como lã e seda) e poliamidas por meio de interações

iônicas. O mecanismo envolve troca iônica entre os grupos ácido-base da fibra (carboxilatos ou grupos amino desprotonados) e os grupos aniônicos do corante. Como exemplo, a figura 5.

Figura 5 - Estrutura molecular do corante ácido violeta

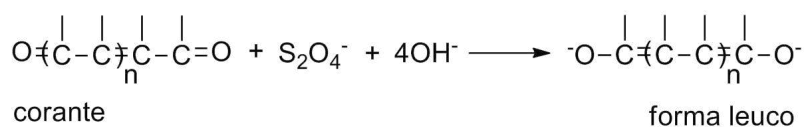


Fonte: ZANONI (2001) com adaptações

3.3.4 Corantes à Cuba

São compostos insolúveis em água, como o índigo, que precisam ser reduzidos a uma forma leuco (solúvel) em meio alcalino com ditionito de sódio (figura 6). O corante reduzido penetra na fibra e, posteriormente, é reoxidado pelo ar ou por oxidantes, regenerando a forma colorida insolúvel, agora fixada mecanicamente dentro da estrutura da fibra.

Figura 6 - Processo de redução do corante à cuba com ditionito de sódio

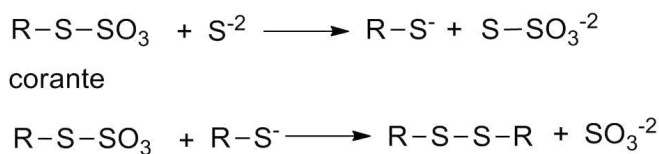


Fonte: ZANONI (2001) com adaptações

3.3.5 Corantes de Enxofre

Semelhantes aos à Cuba, os corantes de enxofre são reduzidos com ditionito de sódio (figura 7), solubilizados e aplicados às fibras (geralmente celulósicas). Após penetração, o corante é reoxidado, formando compostos macromoleculares insolúveis, que se fixam na fibra principalmente por precipitação e ancoragem física.

Figura 7 - Reação de corantes contendo grupo tiosulfato com íon sulfeto e subsequente formação dos corantes com pontes de dissulfeto

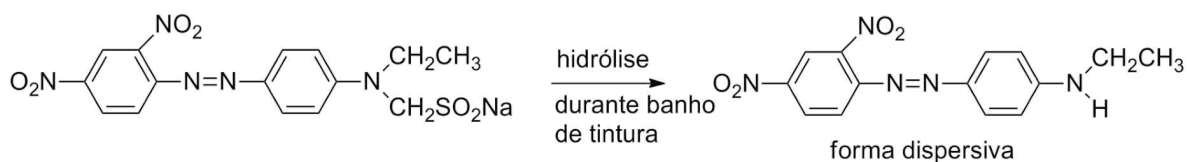


Fonte: ZANONI (2001) com adaptações

3.3.6 Corantes Dispersos

Aplicados principalmente em fibras hidrofóbicas sintéticas (como poliéster, acetato e nylon), são pouco solúveis em água e dispersos como partículas finas. Durante a tintura, o corante se difunde na fibra por solubilidade limitada, sendo fixado por forças de Van der Waals e interações hidrofóbicas. Agentes dispersantes são utilizados para estabilizar a suspensão do corante. Como exemplo, a figura 8.

Figura 8 - Corante Vermelho de Ionamina solubilizado temporariamente através de reação de hidrólise



Fonte: ZANONI (2001) com adaptações

3.3.7 Corantes Azóicos

São formados in situ sobre a fibra, a partir da reação entre um agente de acoplamento (e.g., naftol) impregnado na fibra e um sal de diazônio. A reação é uma acoplamento diazo, que resulta em um corante azo insolúvel diretamente dentro da fibra.

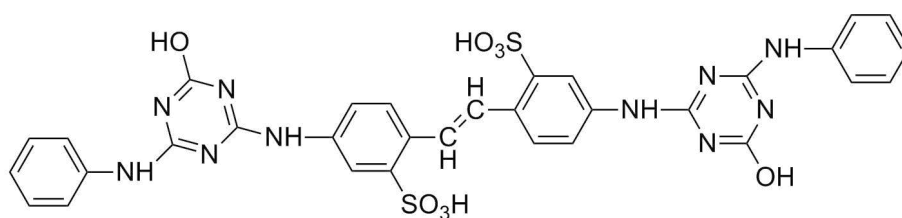
3.3.8 Corantes Pré-metalizados

Fixam-se em fibras protéicas e poliamidas, por meio da formação de complexos de coordenação entre grupos funcionais do corante (hidroxila, carboxila) e íons metálicos (geralmente Cr^{3+}). O complexo é então ligado à fibra por interações coordenadas, envolvendo pares de elétrons livres da fibra.

3.3.9 Corantes Branqueadores

São compostos fluorescentes aplicados sobre fibras naturais e sintéticas para aumentar a refletância na faixa do azul-violeta (430–440 nm). A interação é predominantemente física, por adsorção ou incorporação superficial, sem formação de ligação química com a fibra. Como exemplo, a figura 9.

Figura 9 - Exemplo de Corante Branqueador contendo grupo triazina usado no branqueador de algodão, poliamida, lã e papel



Fonte: ZANONI (2001) com adaptações

3.3.10 Índigo

Dentre os corantes mais utilizados, um dos que recebe maior destaque é o corante índigo. Sua principal utilização é na indústria têxtil e é usado no tingimento de fios de algodão empregados na manufatura do jeans (PASCHOAL; FILHO, 2005).

O corante índigo pertence à classe dos corantes à cuba, caracterizando-se por ser um composto insolúvel em água, cuja aplicação requer uma etapa de redução química para convertê-lo à sua forma solúvel (leucoíndigo), permitindo a penetração nas fibras têxteis. Após a aplicação sobre a fibra, o corante é novamente oxidado, formando a estrutura original, agora fixada internamente à fibra de algodão por precipitação e retenção física (GUARATINI; ZANONI, 2000).

O mecanismo de fixação do corante índigo é, portanto, baseado em um ciclo redox: inicialmente, o corante é reduzido em meio alcalino utilizando-se um agente redutor, tipicamente o ditionito de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$). Essa redução gera o leucoíndigo, uma espécie solúvel em meio alcalino, que apresenta elevada afinidade pelas fibras celulósicas devido à sua pequena polaridade e estrutura planar. Uma vez absorvido pela fibra, o corante é oxidado pelo oxigênio atmosférico ou por oxidantes suaves, formando novamente o índigo insolúvel,

que permanece retido nas camadas superficiais da fibra (PASCHOAL; FILHO, 2005; GUARATINI; ZANONI, 2000).

Além do ditionito de sódio, o processo de tingimento com índigo pode envolver diversos aditivos auxiliares, tais como hidróxido de sódio (NaOH) utilizado para ajustar o pH do banho de tingimento, garantindo a estabilidade do leucoíndigo; antiespumantes para evitar formação de espuma durante o processo; complexantes ou sequestrantes para minimizar os efeitos de íons metálicos presentes na água, que podem interferir na estabilidade do banho redutor e tensoativos não iônicos, ocasionalmente adicionados para melhorar a penetração do corante na fibra (GUARATINI; ZANONI, 2000).

A aplicação do índigo na produção de denim (tecido utilizado na confecção do jeans) envolve múltiplas imersões no banho de tingimento, com oxidação intercalada, processo conhecido como “loop dyeing”. Essa técnica permite o acúmulo progressivo de camadas de corante na superfície do fio, resultando em uma coloração azul intensa, mas com baixa penetração, característica essencial para os efeitos de abrasão típicos do jeans desgastado.

3.4 Água no processo têxtil e geração de efluentes

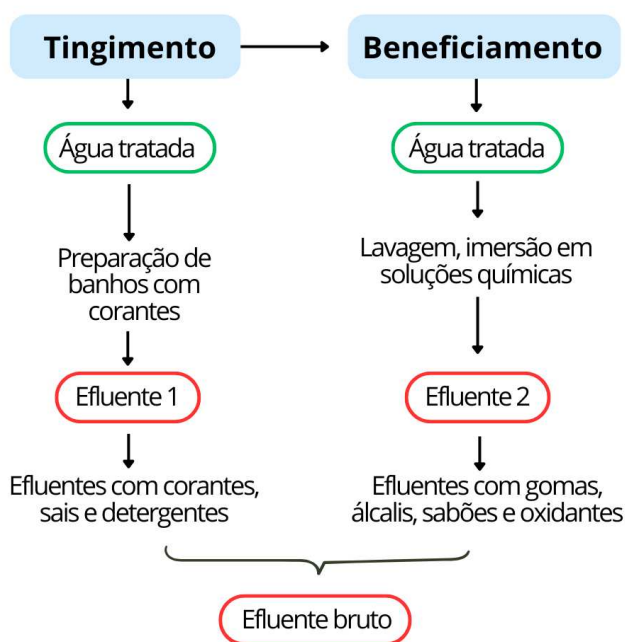
A indústria têxtil é uma das maiores consumidoras de água do setor industrial, especialmente nas etapas de tingimento e beneficiamento, que demandam grandes volumes para transporte de produtos químicos, imersão dos tecidos, enxágues e remoção de impurezas.

Durante o tingimento, a água é utilizada como meio para dissolver os corantes e facilitar a penetração da cor nos fios ou tecidos. Especialmente no caso do índigo, há necessidade de múltiplos banhos com oxidação intermediária, seguidos de lavagens intensivas (KADLUBEK et al., 2015). O processo pode ser dividido da seguinte forma: entrada - água utilizada na preparação da solução de corante e no banho principal e saída (efluente) - resíduos contendo corantes não fixados, sais, detergentes, amaciantes e álcalis, com carga orgânica significativa e cor intensa (figura 10). Esses efluentes, se não tratados, podem causar sérios impactos ambientais, como alteração do pH de corpos hídricos, redução da transparência da água e toxicidade à vida aquática (CORRÊA, 2009).

No beneficiamento, há grande demanda de água para lavagens intermediárias para remoção de impurezas ou resíduos químicos, banhos alcalinos ou ácidos com temperatura controlada, auxiliados por água quente e enxágues finais. A saída desse processo gera um efluente composto por agentes tensoativos, compostos oxidantes (como peróxido de

hidrogênio), resíduos de goma, sabões e sais dissolvidos e substâncias que afetam a demanda química de oxigênio (DQO) e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (SENAI CETIQT, 2012).

Figura 10 – Resumo fluxo de água nas etapas de tingimento e beneficiamento



Fonte: Autor

Segundo Pajootan et al. (2012), o efluente têxtil é um dos mais poluentes ao meio ambiente, devido à sua forte coloração, elevada quantidade de sólidos suspensos, grandes variações de pH, alta demanda de oxigênio e elevada toxicidade. Essas características são capazes de causar grande degradação aos ecossistemas aquáticos. A coloração, além de causar impacto visual, pode ser fonte de substâncias tóxicas, devido aos componentes presentes nos corantes, e também interfere na penetração de luz na camada de água, diminuindo os níveis de oxigênio e podendo ocasionar a morte de peixes e outros organismos (RITTER, 2016).

3.4.1 Tratamentos de efluentes da indústria têxtil

A remoção dos corantes é a principal preocupação das indústrias têxteis, devido sua baixa degradabilidade (CERQUEIRA et al., 2009). A presença de corantes nos corpos hídricos impede a penetração da luz do sol nas camadas mais profundas, alterando a atividade

fotossintética, diminuindo a solubilidade de oxigênio resultando em efeitos tóxicos sobre a fauna e flora aquática (LALNUNHLIMI e KRISHNASWAMY, 2016).

Existem muitas formas de tratamento, mas devido à grande complexidade do efluente, são necessárias associações de técnicas para que o tratamento seja eficiente, tornando-se muitas vezes inviável por gerar alto custo. Desta forma, muitos estudos têm-se concentrado em aumentar a eficiência das tecnologias já conhecidas, tornando os métodos mais sustentáveis (BRILLAS e MARTÍNEZ-HUITTLE, 2015; MEHRJOUEI et al., 2015).

Os efluentes oriundos do tingimento têxtil apresentam características complexas e variáveis, compostos principalmente por resíduos de corantes não fixados, sais inorgânicos, surfactantes, dispersantes, estabilizantes, produtos auxiliares e grande carga orgânica. Além disso, são marcados por elevados valores de Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), sólidos suspensos totais (SST), variações acentuadas de pH e alta coloração residual (SILVA et al., 2019).

A presença de corantes nos efluentes representa um desafio significativo, pois muitos destes são sintéticos e recalcitrantes à degradação biológica convencional. Corantes azo, por exemplo, amplamente utilizados por sua variedade cromática e estabilidade, podem liberar compostos aromáticos potencialmente tóxicos após processos de clivagem (SANTOS et al., 2017). Além disso, mesmo em baixas concentrações, os corantes afetam negativamente a transparência da água, prejudicando a fotossíntese e, conseqüentemente, os ecossistemas aquáticos (MOURA; LIMA; GOMES, 2020).

Segundo Forgacs, Cserhádi e Oros (2004), cerca de 10% a 15% dos corantes utilizados no processo de tingimento não se fixam às fibras e são descartados com efluentes. O processo de tingimento reativo, por exemplo, utilizado especialmente para fibras celulósicas como o algodão, apresenta baixa eficiência de fixação, demandando grandes volumes de água para enxágue e intensificando a carga poluidora do efluente.

Outro fator preocupante é a variabilidade do pH. O uso de álcalis como carbonato de sódio e hidróxido de sódio, comuns na fixação de corantes reativos, altera significativamente o pH do efluente, tornando necessário o seu ajuste antes do descarte ou do tratamento (GONÇALVES et al., 2009).

A crescente demanda por produtos têxteis coloridos e de alta performance tem impulsionado o uso intensivo de insumos químicos no processo de tingimento, resultando na geração de efluentes com características complexas e de difícil degradação. Nesse contexto, o tratamento adequado dos efluentes torna-se essencial para mitigar os impactos ambientais,

atendendo às exigências legais e promovendo a sustentabilidade do setor (MOURA; LIMA; GOMES, 2020).

Os métodos de tratamento de efluentes têxteis podem ser classificados em três grupos principais: tratamentos físico-químicos, tratamentos biológicos e processos oxidativos avançados. Em muitos casos, a combinação desses métodos é necessária para alcançar níveis satisfatórios de remoção de poluentes, dada a alta variabilidade da composição dos efluentes industriais.

3.4.1.1 Tratamentos Físico-Químicos

Os tratamentos físico-químicos são utilizados como etapas primárias e secundárias no tratamento de efluentes têxteis. Estes métodos visam a remoção de sólidos suspensos, ajustes de pH, e redução da turbidez e da coloração.

A coagulação-floculação destaca-se como uma técnica eficaz para remoção de partículas coloidais e corantes, utilizando coagulantes como sulfato de alumínio, cloreto férrico ou polímeros orgânicos. Amplamente utilizado como etapa primária ou complementar, é eficaz na remoção de cor e sólidos suspensos. Seu baixo custo de operação, facilidade de implantação e disponibilidade de reagentes comerciais tornam este método atrativo para a maioria das empresas (SANTOS et al., 2017). Contudo, a geração de grande volume de lodo e a necessidade de descarte adequado representam limitações.

A adsorção é outro método relevante, sendo empregada principalmente para remoção de corantes e compostos orgânicos dissolvidos. O carvão ativado é o adsorvente mais comum, embora materiais alternativos, como argilas modificadas e biossorventes, estejam sendo estudados como opções economicamente viáveis (MOURA; LIMA; GOMES, 2020). Além disso, técnicas de separação por membranas, como a osmose reversa, a ultrafiltração e a nanofiltração, têm sido aplicadas para obtenção de efluentes com alto grau de pureza.

3.4.1.2 Tratamentos Biológicos

Os tratamentos biológicos são utilizados devido à sua viabilidade econômica e à capacidade de remoção da carga orgânica biodegradável presente nos efluentes. Contudo, a eficiência desses processos frente a compostos recalcitrantes, como os corantes sintéticos, pode ser limitada.

O sistema de lodos ativados, baseado na degradação aeróbia da matéria orgânica, é um dos mais tradicionais. No entanto, sua eficácia na remoção de cor é baixa, especialmente em relação a corantes do tipo azo, que apresentam estruturas químicas estáveis e resistentes à degradação (GONÇALVES et al., 2009).

Reatores anaeróbios, como o UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), também são utilizados, principalmente em etapas iniciais de tratamento. Embora possuam bom desempenho na redução de carga orgânica, sua capacidade de remoção de corantes ainda é restrita, sendo recomendada sua combinação com outros métodos (COSTA; ZAIAT, 2015).

O sistema de lodos ativados é especialmente comum em indústrias de médio e grande porte. Já os reatores UASB são preferidos em etapas anaeróbias de pré-tratamento, com boa eficiência na remoção de DBO e DQO, ainda que pouco eficazes na degradação de corantes (COSTA; ZAIAT, 2015).

Filtros biológicos e lagoas de estabilização são opções de baixo custo, especialmente viáveis para indústrias situadas em áreas com disponibilidade de espaço. Apesar de exigirem grandes áreas físicas e apresentarem tempo de residência elevado, são sustentáveis e de fácil operação (GONÇALVES et al., 2009).

Pesquisas recentes têm explorado o uso de microrganismos específicos, como fungos ligninolíticos e bactérias produtoras de enzimas oxidativas, capazes de degradar corantes sintéticos por meio de mecanismos enzimáticos, como os promovidos pelas lacases e peroxidases (SILVA et al., 2019).

3.4.1.3 Processos Oxidativos Avançados (POAs)

Os processos oxidativos avançados (POAs) têm sido amplamente estudados e aplicados no tratamento de efluentes industriais que contenham compostos orgânicos recalcitrantes. Estes processos baseiam-se na geração de radicais hidroxila ($\bullet\text{OH}$), que apresentam alto potencial de oxidação e são capazes de mineralizar contaminantes complexos.

A reação de Fenton, que utiliza peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em meio ácido na presença de íons ferroso (Fe^{2+}), é uma das mais empregadas, sendo eficaz na descoloração e na redução da toxicidade dos efluentes. Alternativamente, a combinação de H_2O_2 com radiação ultravioleta (UV) ou ozônio (O_3) também tem demonstrado bons resultados na degradação de corantes e na melhoria da biodegradabilidade do efluente (OTTO et al., 2019).

3.4.1.4 Integração de Tecnologias

Dada a diversidade e a complexidade dos efluentes têxteis, a adoção de sistemas integrados ou híbridos tem se tornado uma tendência crescente. A combinação de métodos físico-químicos, biológicos e oxidativos permite compensar as limitações individuais de cada técnica, promovendo uma remoção mais abrangente dos poluentes e a conformidade com os padrões ambientais vigentes (MOURA; LIMA; GOMES, 2020).

A escolha do método ideal de tratamento de efluentes têxteis deve equilibrar aspectos técnicos, econômicos e ambientais. Em geral, sistemas biológicos associados a processos físico-químicos oferecem a melhor relação custo-benefício para a maioria das indústrias, especialmente quando combinados em sistemas integrados. Já os métodos avançados, embora altamente eficientes, são mais indicados para aplicações específicas ou como etapa de polimento final, em função dos custos elevados.

4 METODOLOGIA

Foram analisadas amostras de água de abastecimento industrial e bruta de uma indústria têxtil, considerando-se os parâmetros de pH, condutividade elétrica, cor, turbidez, concentração de ferro, sílica, cloretos e dureza. Entende-se por "bruta" aquela proveniente diretamente dos recursos hídricos disponibilizados pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH), sem qualquer tipo de tratamento prévio. Já a "industrial" refere-se à água submetida a processos de tratamento dentro da própria indústria, etapas como coagulação e floculação - adição de coagulante e formação de flocos maiores para a remoção de sólidos e matéria orgânica - decantação, filtração e abrandamento - redução da dureza da água. Esses processos visam remover impurezas, reduzir turbidez, dureza, ferro e sílica, garantindo uma água compatível com as exigências do setor têxtil e contribuindo para a padronização e eficiência das etapas de produção.

Foram analisados quatro pontos de cada amostra de efluente: 1 - efluente bruto, 2 - tanque de equalização, 3 - saída da lagoa biológica e 4- tratado; nos parâmetros de pH, condutividade, cor, sulfato, sulfeto, sólidos suspensos totais e demanda química de oxigênio. Cada ponto é referente a uma etapa do tratamento de efluente da indústria têxtil em questão, onde o "bruto" (1) corresponde ao resíduo líquido gerado nas atividades industriais (tingimento e beneficiamento), coletado antes de qualquer tipo de tratamento; "tanque de equalização" (2) é um efluente submetido à neutralização com CO₂ para redução de pH; "saída da lagoa biológica" (3) efluente tratado por meio da ação de microrganismos aeróbios ou anaeróbios, responsáveis pela degradação da matéria orgânica presente; e "tratado" (4) corresponde ao resultado de todas as etapas anteriores com a adição de descolorante para redução da cor.

As análises foram realizadas no laboratório da Estação de Tratamento de Água e Efluente de uma indústria têxtil, onde essas análises são realizadas diariamente. Os procedimentos operacionais empregados foram os mesmos adotados no laboratório.

4.1 Análises físicas e físico- químicas

4.1.1 pH e condutividade

Utilizou-se o medidor de bancada de pH/condutividade Seven Excellence S470 Básico de canal duplo da marca Mettler Toledo. Os eletrodos foram lavados e secos, imersos

na amostra até a estabilização para leitura e, em seguida, lavados novamente e armazenados na solução de conservação.

4.1.2 Análise de cor

Utilizou-se o colorímetro portátil modelo DR 890 da marca Hach. Selecionou-se o programa da análise de cor no equipamento e fez-se a leitura de calibração do padrão zero (branco) com água destilada em uma cubeta limpa e seca. Em seguida, adicionou-se a amostra e efetuou-se a leitura. Para as amostras de efluente, foi necessário realizar uma diluição de 20 vezes para resultado mensurável.

4.1.3 Análise de turbidez

Utilizou-se o turbidímetro digital microprocessado para análise em bancada AP 2000 da marca Policontrol. A amostra foi inserida na cubeta, aguardou-se a estabilização e anotou-se o primeiro resultado apresentado no visor.

4.1.4 Análise de ferro

À 10mL de amostra foram adicionados reagente Ferrover da marca Hach, homogeneizou-se e após 3 minutos realizou-se a leitura da absorção no comprimento de onda de 510 nm utilizando espectrofotômetro visível da marca Hach, modelo DR3900. Fez-se a leitura de calibração do padrão zero (branco) com a própria amostra.

4.1.5 Análise de sílica

À 10mL de amostra foram adicionados o reagente Molibdato de Amônio e o reagente ácido (ácido sulfônico) da marca Hach, homogeneizou-se e após 10 minutos adicionou-se o reagente ácido cítrico também da marca Hach. Após 2 minutos, realizou-se a leitura da absorção no comprimento de onda de 452 nm utilizando espectrofotômetro visível da marca Hach, modelo DR3900. Fez-se a leitura de calibração do padrão zero (branco) com a própria amostra.

4.1.6 Análise de cloretos

À 50mL de amostra adicionou-se 1mL do indicador de cromato de potássio 0,26 M (50g/L). Preencheu-se e zerou-se uma bureta de 25mL com uma solução de nitrato de prata 0,1 M e montou-se o sistema de titulação. Em seguida, adicionou-se nitrato de prata à amostra em constante agitação, gota a gota, até a solução mudar da cor amarela para a laranja.

4.1.7 Análise de dureza

À 50mL de amostra adicionou-se 2mL de solução tampão (70g de cloreto de amônia e 300mL de hidróxido de amônia) e um pouco do indicador negro de eriocromo T. Em seguida, adicionou-se uma solução de EDTA 0,01 M em constante agitação, gota a gota, até a solução mudar da cor rosa para a azul.

4.1.8 Análise de sulfato

À 10mL de amostra, diluída em 20 vezes, foram adicionados reagente Sulfaver da marca Hach, homogeneizou-se e após 5 minutos realizou-se a leitura da absorção no comprimento de onda de 345 nm utilizando espectrofotômetro visível da marca Hach, modelo DR3900. Fez-se a leitura de calibração do padrão zero (branco) com a própria amostra.

4.1.9 Análise de sulfeto

À 10mL de amostra, diluída em 20 vezes, foram adicionados reagente 0,5mL do reagente sulfide 1 e 0,5mL do reagente de sulfide 2 da marca Hach, homogeneizou-se e após 5 minutos realizou-se a leitura da absorção no comprimento de onda de 664 nm utilizando espectrofotômetro visível da marca Hach, modelo DR3900. Fez-se a leitura de calibração do padrão zero (branco) com água destilada.

4.1.10 Análise de sólidos totais

Um papel filtro foi colocado em estufa previamente aquecida a 150 °C por 30 minutos, permanecendo nesse ambiente pelo mesmo período. Após a secagem, o papel foi pesado em balança analítica e utilizado em um sistema de filtração a vácuo, no qual a amostra

foi filtrada. O volume da amostra filtrada foi anotado, e o papel filtro foi novamente levado à estufa por 1 hora, nas mesmas condições. Em seguida, foi transferido para um dessecador até atingir a temperatura ambiente e, então, novamente pesado.

4.1.11 Análise de demanda química de oxigênio

À um reagente de DQO pré-dosado em um tubo de ensaio da marca Hach, adicionou-se 2mL de amostra, diluída em 20 vezes. O mesmo procedimento foi feito com água destilada para a medida do padrão zero/branco. Em seguida, homogeneizou-se a solução do tubo, colocando-a no digestor de DQO, pré-aquecido a 150°C. Após duas horas de incubação, retiraram-se as amostras do digestor e esperou-se o tubo atingir a temperatura ambiente e realizou-se a leitura. Utilizou-se o espectrofotômetro visível de mesa da marca Hach, modelo DR3900.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A água bruta utilizada nos processos industriais, como a fornecida pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH), é captada diretamente de mananciais superficiais ou subterrâneos e, portanto, apresenta características físico-químicas e biológicas que variam conforme a origem e as condições ambientais. Essa água não passa por tratamento prévio, podendo conter impurezas como sólidos em suspensão, matéria orgânica, microrganismos patogênicos, sais dissolvidos, metais e outros contaminantes.

No Brasil, os parâmetros de qualidade da água bruta são definidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, que estabelece os limites para corpos hídricos de acordo com seu enquadramento. Para águas destinadas ao abastecimento industrial (classe 3, por exemplo), destacam-se os seguintes limites de alguns parâmetros: pH entre 6,0 e 9,0, turbidez máxima de 100 UNT, ferro total até 5,0 mg/L, e manganês até 1,0 mg/L, além de diretrizes para coliformes, sólidos totais e substâncias tóxicas (CONAMA, 2005).

Contudo, os processos industriais têxteis demandam uma água com maior grau de pureza e estabilidade de composição, especialmente nas etapas de preparação, tingimento e acabamento, onde a qualidade da água influencia diretamente a uniformidade e fixação dos corantes. Como a empresa utiliza vários corantes, a qualidade da água industrial é baseada nas recomendações dos fornecedores dos corantes quanto aos parâmetros de pH, dureza e ferro.

Em estudo sobre a indústria têxtil, de acordo com Cetrulo (2010) e Souza & Santos (2015), a água ideal para o uso têxtil deve apresentar: pH entre 6,5 e 7,5; Condutividade < 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$; Turbidez < 5 NTU; Ferro < 0,3 mg/L; Dureza total < 50 mg/L (como CaCO_3); Ausência de matéria orgânica significativa; Baixa concentração de cloretos, sulfatos e sílica.

A presença de ferro e manganês, mesmo em concentrações moderadas, pode reagir com corantes, causando manchas e prejudicando a fixação da cor. Já a dureza elevada interfere na ação de detergentes e agentes tensoativos, além de favorecer a formação de incrustações em equipamentos bem como a sílica (SiO_2), podendo interferir na estabilidade térmica e química dos processos, especialmente em banhos de tingimento e acabamento, onde a precisão das condições é essencial para garantir qualidade e repetibilidade do produto.

Por isso, a água bruta precisa passar por tratamentos físico-químicos, como filtração e remoção de impurezas, para atender aos padrões da indústria têxtil, garantindo a qualidade do produto, a eficiência dos processos e o cumprimento das exigências ambientais.

Foram selecionadas 18 amostras de água bruta e água industrial no período de 17 de janeiro a 26 de maio de 2025, os quais os resultados estão organizados na tabela 1.

Tabela 1 - Dados de água bruta e industrial

Amostras/ Parâmetros		pH	Condutividade (uS/cm)	Dureza (ppm)	Cloretos (ppm)	Cor (uH)	Turbidez (NTU)	Ferro (ppm)	Sílica (ppm)	Sulfato (ppm)	Sulfeto (ppm)
1	BRUTA	7,02	451,4	80	NR	55	5,04	0,06	4,3	0	0
	INDUSTRIAL	8,2	468,6	48	NR	27	1,72	0,08	3,9	0	0
2	BRUTA	7,98	408,9	84	NR	37	2,57	0,06	7,9	0	0
	INDUSTRIAL	7,1	467,2	42	NR	20	4,84	0,46	2,9	0	0
3	BRUTA	6,79	1444,7	172	NR	17	3,26	0,2	4,9	0	0
	INDUSTRIAL	7	477,6	54	NR	16	2,12	0,08	4	0	0
4	BRUTA	7,2	427,7	82	92,17	66	7,48	0,36	8	0	0
	INDUSTRIAL	7,1	428,5	74	92,17	30	2,61	0,02	2,8	0	0
5	BRUTA	7,04	410,1	84	99,26	49	2,87	0,24	5,5	0	0
	INDUSTRIAL	7,5	372,7	28	85,08	21	2,43	0,1	3,6	0	0
6	BRUTA	6,93	411,4	78	85,08	38	2,31	0,18	4,9	0	0
	INDUSTRIAL	7,4	521,9	42	127,62	21	1,74	0,07	6,4	0	0
7	BRUTA	7,33	968	70	255,24	52	12	0,11	3,3	0	0
	INDUSTRIAL	7,3	486,1	34	127,62	20	1,89	0,1	5,9	0	0
8	BRUTA	4,54	447,1	72	155,98	200	20,7	1,06	0	0	0
	INDUSTRIAL	6,8	386,5	30	120,53	16	2,09	0,11	6,5	0	0
9	BRUTA	6,92	626,3	100	177,25	16	3,33	0,18	4,4	0	0
	INDUSTRIAL	7,1	393,1	68	106,35	20	3,85	0,2	2,3	0	0
10	BRUTA	6,95	341,3	78	92,17	154	14,7	1,63	3,5	0	0
	INDUSTRIAL	6,8	319,3	66	106,35	18	2,86	0,17	3,2	0	0
11	BRUTA	7,25	311,6	74	92,17	87	6,35	0,4	4,2	0	0
	INDUSTRIAL	7,1	310,1	58	92,17	10	0,88	0,08	3,6	0	0
12	BRUTA	6,2	337,6	74	99,26	51	5,44	0,15	1,4	0	0
	INDUSTRIAL	6,9	334,8	68	99,26	10	1,23	0,14	4	0	0
13	BRUTA	6,95	325,8	74	99,26	190	14,8	1,56	1,6	0	0
	INDUSTRIAL	6,9	362,2	72	127,62	22	2,59	0,23	3,1	0	0
14	BRUTA	4,91	395,5	70	134,71	106	11,5	0,36	0,6	0	0
	INDUSTRIAL	6,8	321,6	62	113,44	16	1,66	0,45	2,2	0	0
15	BRUTA	6,7	327,5	34	77,99	41	2,53	NR	NR	0	0
	INDUSTRIAL	6,9	385,9	56	120,53	11	1,24	0,1	2	0	0
16	BRUTA	7,11	314,5	60	70,9	94	6,64	0,35	1,3	0	0
	INDUSTRIAL	7,2	264,7	46	63,81	15	0,95	NR	NR	0	0
17	BRUTA	7,12	321,8	64	85,08	109	8,52	0,46	1,3	0	0
	INDUSTRIAL	7,2	335,2	50	77,99	82	11,5	0,88	0,9	0	0
18	BRUTA	7,1	333,8	66	85,08	37	4,07	0,19	1	0	0
	INDUSTRIAL	7,3	336	66	85,08	3	0,91	0,04	1	0	0

NR= Não Realizado

Os resultados mostram que das 18 amostras de água bruta, todas estão dentro dos parâmetros exigidos pela legislação, com exceção de duas amostras de água que apresentaram pH 4,54 e 4,91 (amostras 8 e 14).

Para a água industrial, segundo os limites de Cetrulo (2010) e Souza & Santos (2015), nenhuma atendeu quanto à condutividade, um não atendeu ao pH (amostra 1), dez à dureza (amostras 3, 4, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 18), uma à turbidez (amostra 17) e duas ao ferro (amostras 2 e 14). No entanto, os valores são os que geralmente são obtidos nos últimos anos.

Comparando a água bruta com a tratada, quanto à cor, todas as amostras mostraram redução após o tratamento e quanto à sílica, nove amostras mostraram redução, mesmo não havendo previsão entre os parâmetros citados.

Em algumas amostras ocorre um efeito inverso, em que após o tratamento, a água industrial apresenta resultados superiores em comparação aos de água bruta, principalmente em relação à pH, condutividade, cloretos e sílica, devido a adição dos produtos químicos utilizados no tratamento. No caso do ferro, o aumento pode indicar alguma interferência no tratamento, bem como erros operacionais de amostragem ou coleta.

Foram selecionadas 19 amostras de efluente, coletadas no período de 17 de janeiro a 26 de maio de 2025. Durante esse intervalo, foram utilizados três corantes no processo têxtil: Avco Indigo Blue Ind (corante do tipo à cuba), Avco Sul Preto V e Bann Black SLB1 (ambos corantes de enxofre). Todos esses corantes exigem um meio altamente alcalino e a presença de ditionito de sódio como agente redutor para possibilitar sua solubilização e fixação no substrato têxtil. Os resultados obtidos estão resumidos na tabela 2.

No estado do Ceará, o lançamento de efluentes líquidos industriais é regulamentado pela Resolução COEMA nº 02, de 2 de fevereiro de 2017, que estabelece os padrões máximos permitidos para diversos parâmetros físico-químicos, com o objetivo de proteger os corpos d'água e assegurar o uso sustentável dos recursos hídricos. Para os efluentes não sanitários a legislação determina, entre outros critérios, que o pH dos efluentes esteja entre 6,0 e 10,0, que a demanda química de oxigênio (DQO) não ultrapasse 600 mg/L, os sólidos suspensos totais sejam limitados a 150 mg/L, a temperatura no ponto de lançamento não exceda 40 °C, e que a concentração de sulfetos não ultrapasse 1,0 mg/L. Parâmetros como óleos e graxas, fenóis, metais pesados e nutrientes também possuem limites específicos a serem observados.

Tabela 2 - Dados de efluente

Pontos/Análises		pH	Condutividade (uS/cm)	Cor (uH)	DQO (ppm)	SST (ppm)	Sulfato (ppm)	Sulfeto (ppm)
1	BRUTO	8,9	9520,4	21901	3280	1238	964	NR
	EQUALIZADO	12,3	16096,8	17446	3995	586	NR	NR
	SAIDA LAGOA	8,9	8940,9	8622	1228	571	NR	NR
	TRATADO	8,3	8806,9	251	993	186	669	2,335
2	BRUTO	12,9	67403,8	12830	2649	2631	43	NR
	EQUALIZADO	12,77	50348,2	13692	3851	2827	NR	NR
	SAIDA LAGOA	11,5	14860	13192	3659	1345	NR	NR
	TRATADO	8,3	9290,1	606	551	287	1316	0,105
3	BRUTO	12,3	17505,2	14264	2851	3682,2	336	NR
	EQUALIZADO	9,31	10009,5	15452	2473	783,3	765	NR
	SAIDA LAGOA	8,9	10534,5	2381	173	522,5	NR	NR
	TRATADO	8,6	10785,5	405	286	210	1045	20,525
4	BRUTO	12,3	14289,4	12852	3293	2262	477	NR
	EQUALIZADO	8,1	11756	11756	2460	3810	634	NR
	SAIDA LAGOA	8,9	10782,1	3275	388	475	NR	NR
	TRATADO	8,5	10637,9	609	415	262	1609	1,163
5	BRUTO	12	11801,2	13127	3637	2137	435	NR
	EQUALIZADO	8,5	9682,6	18418	3666	1945	501	NR
	SAIDA LAGOA	8,8	9996,1	2401	719	3720	NR	NR
	TRATADO	8,4	10207,8	168	377	260	1558	2,64
6	BRUTO	12,4	18214,1	11805	3400	666,7	316	NR
	EQUALIZADO	12,3	17923,4	11584	2892	1727,8	531	NR
	SAIDA LAGOA	9,5	10601,5	20891	2450	6900	NR	NR
	TRATADO	9,1	10598	242	1493	315,6	960	0,24
7	BRUTO	12,3	16555	7908	3002	11084	558	NR
	EQUALIZADO	12,2	14590,5	8091	1905	2100	765	NR
	SAIDA LAGOA	9,1	9742,1	779	472	595	NR	NR
	TRATADO	8,3	9807,3	75	405	309	1100	3,899
8	BRUTO	12,4	16526,6	7157	2873	2770	317	NR
	EQUALIZADO	12,7	29834,1	25040	5376	4390	708	NR
	SAIDA LAGOA	9,4	9724,2	8028	1830	3500	NR	NR
	TRATADO	7,6	10008,3	365	1714	383	1421	22,758
9	BRUTO	12,3	14173	9388	2207	2545,45	296	NR
	EQUALIZADO	12,2	12792,8	12362	2663	4333,3	738	NR
	SAIDA LAGOA	9,6	9589,4	3362	830	1395	NR	NR
	TRATADO	9,1	9604,6	1111	1134	268	1286	NR
10	BRUTO	12,2	14488,8	12295	2250	5940	470	NR
	EQUALIZADO	9,8	10003,1	8616	1944	4185	422	NR

	SAIDA LAGOA	9,2	10856,4	2588	736	460	NR	NR
	TRATADO	8,7	11067,2	218	576	223	1580	NR
11	BRUTO	12,6	18541,9	15228	3594	3608,3	235	NR
	EQUALIZADO	9,5	8954,3	7452	1954	256	314	NR
	SAIDA LAGOA	8,9	10666,4	4363	619	3612,5	NR	NR
	TRATADO	8,8	4295,4	233	661	220	556	NR
12	BRUTO	12,8	43694	12818	2393	6000	318	NR
	EQUALIZADO	9,5	14313,7	12083	2561	2910	680	NR
	SAIDA LAGOA	8,9	9639,8	6524	986	2611,1	NR	NR
	TRATADO	8,3	9785,2	165	841	226,31	1117	NR
13	BRUTO	12,3	12390,8	7483	2862	2260	326	NR
	EQUALIZADO	10,2	9677,9	12383	3014	3337,5	546	NR
	SAIDA LAGOA	9,2	10262,1	2444	617	1000	NR	NR
	TRATADO	8,9	10399,8	339	1165	220	1267	0,629
14	BRUTO	10,8	6888	8627	2333	3277,7	549	NR
	EQUALIZADO	9,1	7480,9	9065	3269	2123,1	383	NR
	SAIDA LAGOA	9,8	10722,2	2401	755	1068	NR	NR
	TRATADO	9,5	11255,1	446	883	252	1057	8,407
15	BRUTO	12,5	18139,9	5043	2036	1913,3	290	NR
	EQUALIZADO	12,4	20334,6	16047	2910	3987,5	796	NR
	SAIDA LAGOA	9,4	9904,7	3125	676	920	NR	NR
	TRATADO	9,1	7218,6	483	886	240	1032	33,41
16	BRUTO	12,4	22136,2	5832	2213	2330	599	NR
	EQUALIZADO	11,2	13469,2	11802	2797	1535	552	NR
	SAIDA LAGOA	9,1	10777,2	2386	1143	592,5	NR	NR
	TRATADO	8,8	10711,6	400	986	249	1534	15,323
17	BRUTO	12,5	25489,7	10783	4698	NR	853	NR
	EQUALIZADO	12,2	21489,7	10524	3366	NR	411	NR
	SAIDA LAGOA	9,2	11523	2083	870	NR	NR	NR
	TRATADO	8,4	10884,3	487	705	195,9	1413	2,76
18	BRUTO	12,4	22295,9	13707	2929	2877,7	791	NR
	EQUALIZADO	9,1	14673,9	21532	3759	7225	741	NR
	SAIDA LAGOA	9,2	11748	2584	1244	661,76	NR	NR
	TRATADO	8,7	11912,5	182	448	220	1314	11,021
19	BRUTO	12,6	39488,6	13567	4622	13900	1148	NR
	EQUALIZADO	12,1	18142,8	13754	3756	2810	NR	NR
	SAIDA LAGOA	8,9	11093	1350	856	1003,7	NR	NR
	TRATADO	8,6	11182,8	347	1156	272,22	1171	21,15

NR= Não Realizado

Os corantes foram utilizados em proporções variando entre 17,65% e 84,52% no caso do Avco Indigo Blue Ind; entre 0,14% e 4,92% para o Avco Sul Preto V e entre 14,79% e 82,34% no caso do Bann Black SLB1.

Comparando os dados obtidos com os limites estabelecidos pela legislação para o lançamento de efluentes líquidos não sanitários, o tratado atende apenas ao pH e a sete dias de DQO (amostras 2, 3, 4, 5, 7, 10 e 18).

Ao observar os resultados de DQO, apesar de observar uma redução de até 90% com o tratamento, ainda não atende a legislação. Em alguns casos, (amostras 3, 4, 9, 11, 13, 14, 15 e 19) apresentaram aumento entre a saída da lagoa e o tratado, isso pode indicar que a utilização das bóias na lagoa biológica não estejam sendo eficientes na injeção de oxigênio ou efeito da ação das bactérias na etapa biológica. Mesmo que não sejam adicionadas bactérias de forma artificial, o próprio lodo presente no efluente contém uma carga significativa de microrganismos vivos, estes iniciam a digestão aeróbia e/ou anaeróbia da matéria orgânica naturalmente.

Quanto aos sólidos suspensos totais (SST), nenhum dia atendeu ao mínimo exigido pela legislação (150 mg/L), o que pode resultar em diversos impactos negativos. Quando lançados em concentrações superiores ao permitido, os SST contribuem para o aumento da turbidez da água, prejudicando a vida aquática ao impedir a penetração da luz solar e, conseqüentemente, afetando a atividade fotossintética de algas e plantas submersas. Além disso, partículas em suspensão tendem a se depositar no leito dos corpos hídricos, favorecendo o assoreamento e alterando o equilíbrio natural dos ecossistemas.

É possível observar que na maior parte dos dias em que o efluente tratado teve piores resultados para residual de sulfeto (amostras 3, 8, 15, 16, 18 e 19), houve uso do corante Avco Sul Preto V e uma proporção relativa de 60% - 40% ou 70% - 30% dos outros corantes, sendo possível estabelecer que os tipos de corantes e seus aditivos, podem impactar na capacidade e eficiência do tratamento adotado.

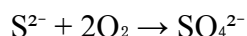
Pode-se ainda estabelecer uma relação dos resultados com a proporção dos corantes usados no período em que foram feitas as análises, essas proporções estão resumidas no quadro 1.

Quadro 1 - Proporções de corantes utilizados

Corantes/Amostras	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
AVCO INDIGO BLUE IND	71,29	84,52	52,01	84,38	63,57	71,08	75,96	61,41	59,81	61,29	56,65	82,12	68,37	73,33	73,85	71,47	53,59	17,65	40,94
AVCO SUL PRETO V	0,84	0,7	0,91	-	-	2,83	-	0,14	-	2,05	1,96	2,44	4,92	0,72	-	0,66	0,86	-	0,43
BANN BLACK SLB1	27,87	14,79	47,08	15,62	36,43	26,09	24,04	38,45	40,19	36,66	41,38	15,44	26,71	25,95	26,15	27,87	45,54	82,34	58,63

Quanto aos resultados de sulfato, os dados do efluente tratado são substancialmente maiores do que os do efluente bruto, mostrando que a fonte desses contaminantes não são majoritariamente advindos do processo (corantes à cuba e enxofre), mas provavelmente das etapas de tratamento, como ação de bactérias e adição de descolorante.

Os compostos contendo sulfeto, como o sulfeto de hidrogênio (H_2S), são comuns em efluentes industriais, inclusive nos da indústria têxtil, especialmente quando se utilizam corantes que contêm enxofre ou processos redutores. Esses compostos apresentam mau cheiro e são tóxicos ao meio ambiente (SANTOS et al., 2018). Para removê-los, uma das estratégias mais eficazes é a oxidação química, na qual o sulfeto (S^{2-}) é convertido em sulfato (SO_4^{2-}), uma forma mais estável e menos tóxica. Essa oxidação pode ocorrer naturalmente, com a ação de bactérias aeróbias, ou ser acelerada com a adição de agentes oxidantes, como oxigênio (O_2), cloro (Cl_2) ou peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (FONSECA et al., 2020). A reação simplificada dessa transformação é:



Esse processo é importante para evitar a formação de odores desagradáveis, corrosão em equipamentos e problemas ambientais. Além disso, pode ser integrado a etapas de tratamento de efluentes com descolorantes, que visam remover corantes complexos e substâncias orgânicas, melhorando a qualidade da água final descartada ou reutilizada (MOURA et al., 2021).

Da mesma forma, os resultados de sulfeto do efluente tratado atendem a legislação em apenas 3 dias. A água bruta e tratada não apresentam sulfeto, a carga é referente aos corantes (à cuba e enxofre). Além disso, em ambientes com baixa ou nenhuma presença de oxigênio dissolvido, como mostra as análises de DQO, em sistemas de tratamento anaeróbios ou em sedimentos de corpos hídricos, os sulfatos (SO_4^{2-}) presentes nos efluentes podem ser biologicamente convertidos em sulfetos (S^{2-}) por ação de bactérias redutoras de sulfato, como as do gênero *Desulfovibrio* (METCALF & EDDY, 2014; POSTGATE, 1984).

Em meio aquoso, sulfeto de hidrogênio (H_2S) é um gás tóxico, podendo ser letal em altas concentrações. A decomposição anaeróbica da matéria orgânica, em ambientes ricos em sulfatos, favorece a formação de H_2S , tornando esses ambientes propensos à eutrofização e condições anóxicas (WERNER et al., 2006). Além disso, o H_2S contribui para a corrosão de

tubulações e estruturas metálicas, o que representa um risco adicional para os sistemas de tratamento e para a infraestrutura urbana.

De acordo com os resultados obtidos em todas as amostras, verifica-se que o tratamento apresenta bons resultados, porém não se mostram suficientemente eficazes para o cumprimento da legislação. Em comparação a outros métodos existentes na literatura, os dois tratamentos adotados, lodos ativados e lagoa de estabilização, como mostrados no quadro 2, são de baixa eficiência, sendo necessária a adoção de novos processos para o pleno atendimento da legislação.

Quadro 2 – Comparativo entre métodos de tratamento de efluentes têxteis

Método	Eficiência (cor/orgânicos)	Custo Inicial	Custo Operacional	Aplicabilidade	Geração de resíduos
Coagulação-Floculação	Média/Alta	Baixo	Médio	Alta	Alta (lodo)
Lodos Ativados	Baixa/Alta	Médio	Baixo	Alta	Moderada
Reatores UASB	Baixa/Média	Médio	Muito baixo	Alta	Baixa (biogás)
Adsorção (biossorventes)	Alta/Média	Muito baixo	Baixo	Média	Baixa
Processos Oxidativos (POAs)	Muito alta	Alto	Alto	Baixa/Polimento	Baixa
Lagoas de Estabilização	Baixa/Alta	Muito baixo	Muito baixo	Média	Moderada

Fonte: Adaptado de Gonçalves et al. (2009), Moura et al. (2020) e Otto et al. (2019).

6 CONCLUSÃO

Diante da análise realizada, observa-se que o uso da água na indústria têxtil desempenha um papel essencial para a condução de processos como preparação, tingimento e acabamento, exigindo, portanto, padrões de qualidade específicos que justifiquem a necessidade de tratamento prévio.

Da mesma forma, os efluentes gerados ao longo dessas etapas apresentam elevada complexidade físico-química, com destaque para parâmetros como cor, pH, sólidos suspensos, DQO, sulfatos e sulfetos, os quais, se não devidamente controlados, podem representar sérios riscos ao meio ambiente e à saúde pública.

A partir das amostras analisadas, verificou-se que, embora o sistema atual de tratamento de efluentes apresente eficiência em determinadas variáveis, ainda há não conformidades em parâmetros críticos, como DQO, sulfato e sulfeto, o que indica que o processo pode ser aprimorado. Portanto, a adequação contínua do sistema de tratamento, aliada ao cumprimento da legislação vigente, como a Resolução COEMA nº 02/2017, é fundamental não apenas para assegurar a conformidade ambiental, mas também para promover a sustentabilidade e a responsabilidade socioambiental da indústria têxtil.

REFERÊNCIAS

- ABIT – Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção. **Panorama da indústria têxtil brasileira**. São Paulo: ABIT, 2020. Disponível em: <<https://www.abit.org.br>>. Acesso em: 30 de maio de 2025.
- ALMEIDA, C. A. **Tecnologia de tratamento de águas para uso industrial**. São Paulo: Blucher, 2012.
- BANAT, I. M. et al. **Microbial decolorization of textile dye-containing effluents: a review**. *Bioresource Technology*, v. 58, p. 217, 1996.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 18 mar. 2005.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Água: uso sustentável e conservação**. Brasília: MMA, 2005.
- BRILLAS, E.; MARTÍNEZ-HUITLE, C. A. **Electrochemical advanced oxidation processes: a review**. *Journal of Applied Electrochemistry*, v. 45, n. 9, p. 1033–1048, 2015. DOI: 10.1007/s10800-015-0870-2.
- CARR, H.; LATHAM, B. **The technology of clothing manufacture**. Oxford: Blackwell Science, 2001.
- CERQUEIRA, A.; RUSSO, C.; MARQUES, M. R. C. **Electroflocculation for textile wastewater treatment**. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, v. 26, n. 4, p. 659–668, 2009.
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Manual de tratamento de efluentes líquidos industriais**. São Paulo: CETESB, 2020.
- CETRULO, V. G. **Tratamento de água para uso industrial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- COEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente do Ceará. **Resolução nº 02, de 2 de fevereiro de 2017**. Dispõe sobre os padrões de lançamento de efluentes líquidos no Estado do Ceará. *Diário Oficial do Estado*, Fortaleza, 2017.
- COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Monitoramento da qualidade da água superficial**. Fortaleza: Governo do Estado do Ceará, 2023. Disponível em: <<https://www.cogerh.ce.gov.br/>>. Acesso em: 27 de junho de 2025.
- CORRÊA, M. F. **Processos industriais na indústria têxtil**. São Paulo: Edgard Blücher, 2009.
- COSTA, R. H. R. **Gestão dos recursos hídricos no Brasil: desafios e perspectivas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- COSTA, R. H. R.; ZAIAT, M. **Reatores anaeróbios para o tratamento de efluentes industriais**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 20, n. 4, p. 365–375, 2015.

CPRH – AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE DE PERNAMBUCO. **Normas para controle de carga orgânica em efluentes da indústria têxtil**. Recife: CPRH, 2001.

FONSECA, F. V. et al. **Processos oxidativos aplicados ao tratamento de águas residuais industriais**. *Química Nova*, v. 43, n. 3, p. 361–370, 2020.

FORGACS, E.; CSERHÁTI, T.; OROS, G. **Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review**. *Environment International*, v. 30, n. 7, p. 953–971, 2004.

GONÇALVES, I. M. C. et al. **Efluentes da indústria têxtil: composição, tratamento e uso na agricultura**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 13, n. 5, p. 594–600, 2009.

GUARATINI, C. C.; ZANONI, M. V. B. **Corantes sintéticos e seus impactos ambientais**. *Química Nova*, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 71–78, 2000. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/Hn6J5zNqDxVJwX495d4fnLL>>. Acesso em: 30 de maio 2025.

KADLUBEK, A. L. et al. **Manual de processos têxteis**. 2. ed. Blumenau: Edifurb, 2015.

LADCHUMANANANDASIVAM, R. *Processos químicos têxteis – tingimento têxtil*. Volume III, cap. Corantes dispersos. Natal: UFRN, 2008.

LALNUNHLIMI, S.; KRISHNASWAMY, V. **Decolorization of azo dyes (Direct Blue 151 and Direct Red 31) by moderately alkaliphilic bacterial consortium**. *Brazilian Journal of Microbiology*, São Paulo, v. 47, n. 1, p. 39–46, 2016. DOI: 10.1016/j.bjm.2015.11.013.

MEHRJOUEI, M.; MÜLLER, S.; MÖLLER, D. **A review on photocatalytic ozonation used for the treatment of water and wastewater**. *Chemical Engineering Journal*, v. 263, p. 209–219, 2015. DOI: 10.1016/j.cej.2014.10.112.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment and resource recovery**. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 2014.

MOURA, A. C. et al. **Aplicação de peróxido de hidrogênio no tratamento de efluentes têxteis**. *Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2021.

MOURA, M. S.; LIMA, R. C.; GOMES, R. G. **Tecnologias de tratamento de efluentes têxteis: uma revisão crítica**. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 25, n. 4, p. 667–680, 2020.

OTTO, R. B. et al. **Processos oxidativos avançados no tratamento de efluentes têxteis: aplicação da reação de Fenton**. *Revista Ambiente & Água*, v. 14, n. 1, p. 1–14, 2019.

PAJOOTAN, E.; ARAMI, M.; MAHMOODI, N. M. **Binary system dye removal by electrocoagulation from synthetic and real colored wastewaters**. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, v. 43, p. 282–290, 2012.

PASCHOAL, F. M. M.; FILHO, G. T. **Aplicação da tecnologia de eletrofloculação na recuperação do corante índigo blue a partir de efluentes industriais**. *Química Nova*, v. 28, n. 5, 2005.

PEREIRA, D. F. et al. **Aplicação de processos de membranas para o tratamento de efluentes têxteis: revisão bibliográfica.** *Revista Tecnologia*, v. 39, n. 1, p. 36–46, 2018.

POSTGATE, J. R. **The sulphate-reducing bacteria.** Cambridge: Cambridge University Press, 1984.

RITTER, M. T. **Influência do pH no processo de eletrocoagulação aplicado a efluentes têxteis tratados biologicamente.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

SANTOS, A. B.; CERVANTES, F. J.; VAN LIER, J. B. **Impacto dos mediadores redox na remoção de cor de corantes azo e antraquinonico por lodo granular anaeróbio sob condições mesofílicas e termofílicas.** *Revista Sanitária e Ambiental – ABES*, v. 12, jan./mar., 2007.

SANTOS, J. F. et al. **Corantes têxteis: impactos ambientais e alternativas de tratamento.** *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, v. 3, n. 12, p. 92–112, 2017.

SANTOS, M. J. G. dos et al. **Tratamento de efluentes contendo enxofre: desafios e tecnologias.** *Revista Engenharia Ambiental*, 2018.

SENAI CETIQT. **Tecnologia têxtil.** Rio de Janeiro: SENAI-DN, 2012.

SILVA, A. R. M. et al. **Caracterização de efluentes têxteis: parâmetros físico-químicos e avaliação de toxicidade.** *Revista Ambiente & Água*, v. 14, n. 2, p. 1–12, 2019.

SILVA, M. A.; OLIVEIRA, M. F. **Tratamento de efluentes da indústria têxtil: uma abordagem técnico-ambiental.** *Revista Gestão Industrial*, v. 10, n. 1, p. 45–56, 2014.

SOUZA, L. M.; SANTOS, R. F. **Água na indústria têxtil: importância e requisitos de qualidade.** *Revista Têxtil Brasileira*, v. 15, n. 2, p. 45–52, 2015.

TWARDOKUS, R. G. **O reúso da água no processo de tingimento da indústria têxtil.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

VICUNHA TÊXTIL. **Sustentabilidade e processos produtivos.** 2023. Disponível em: <<https://www.vicunha.com.br>>. Acesso em: 25 de abril de 2025

WERNER, D.; KOBLÍŽEK, M.; MÜLLER, J. A. **Sulfide and sulfate in aquatic environments: impacts, transformations and removal strategies.** *Environmental Science & Technology*, v. 40, n. 12, p. 3863–3871, 2006.

WERTHER, J.; OGADA, T. **Sewage sludge combustion.** *Progress in Energy and Combustion Science*, v. 25, n. 1, p. 55–116, 1999.

ZANONI, M. V. B.; CARNEIRO, P. A. **O descarte dos corantes têxteis.** *Ciência Hoje*, v. 29, n. 174, p. 61–64, 2001.

ZANONI, M. V. B.; YAMANAKA, H. **Corantes: caracterização química, toxicológica, métodos de detecção e tratamento.** 1. ed. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2016.