

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

JULIANA DE SOUZA FERREIRA

PROCESSOS FÍSICO-QUÍMICOS SUSTENTÁVEIS PARA O TRATAMENTO DE
EFLUENTES DA INDÚSTRIA TÊXTIL: UMA ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA

UBERLÂNDIA

2023

JULIANA DE SOUZA FERREIRA

PROCESSOS FÍSICO-QUÍMICOS SUSTENTÁVEIS PARA O TRATAMENTO DE
EFLUENTES DA INDÚSTRIA TÊXTIL: UMA ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao programa de graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Uberlândia para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientadora: Prof. Dra. Maria Lyda Bolanos Rojas

UBERLÂNDIA

2023

JULIANA DE SOUZA FERREIRA

PROCESSOS FÍSICO-QUÍMICOS SUSTENTÁVEIS PARA O TRATAMENTO DE
EFLUENTES DA INDÚSTRIA TÊXTIL: UMA ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA

Trabalho de conclusão de curso da aluna Juliana de Souza Ferreira, apresentado ao departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito para obtenção do grau de Engenharia Ambiental e Sanitária.

Uberlândia, 23 de novembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dra. Maria Lyda Bolanos Rojas (FECIV - UFU)

Prof. Dra. Roseli Mendonça Dias (FECIV - UFU)

Prof. Dra. Sueli Moura Bertolino (ICIAG - UFU)

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por ter me dado coragem e força em todos os momentos e por ter me permitido concluir mais essa etapa.

Agradeço à minha mãe, Neuza, por todo amor, apoio, carinho, compreensão, paciência e sacrifício. Obrigada por acreditar em mim, e por encorajar a ir atrás dos meus sonhos e tornar a realização deles possível. Sem você eu não estaria aqui.

Agradeço à minha irmã, Gabriela, por todo amor, carinho, conselhos, por sempre me incentivar e ser um ponto de apoio para mim. Obrigada por sempre estar ao meu lado.

Agradeço ao meu namorado, Hugo, pelo amor, carinho, companheirismo, paciência e por não me deixar desanimar. Obrigada por estar comigo.

Agradeço à minha família que me auxiliou a chegar até aqui.

Agradeço aos professores que tive ao longo da minha vida, desde a formação básica até aqui, obrigada por compartilharem seus conhecimentos e experiências. Em especial, agradeço a minha orientadora, Maria Lyda, por toda ensinamentos, contribuições e compreensão permitindo a realização deste trabalho.

Agradeço aos professores da banca, Maria Lyda, Roseli e Sueli, por terem aceitado o convite de participar deste trabalho e pelas contribuições significativas para a melhoria do mesmo.

Agradeço aos meus amigos que tornarão os momentos mais difíceis em momentos mais leves. E aos colegas de curso obrigada pelos momentos de estudo, companheirismo e diversão.

Agradeço a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização desse dessa conquista. Obrigada!

RESUMO

A indústria têxtil desempenha importância global ao atender as necessidades básicas de vestuário. No entanto, este setor utiliza uma ampla diversidade de produtos químicos resultando na geração de grande quantidade de efluentes têxteis, os quais podem contaminar recursos hídricos. O Brasil se destaca como um dos principais polos da indústria têxtil no Ocidente, contribuindo significativamente para essa emissão de contaminantes. Para reduzir os impactos ambientais causados por esse cenário, têm-se conduzido estudos voltados para a remoção desses poluentes. A aplicação de processos físico-químicos, tais como adsorção e coagulação/floculação, utilizando adsorventes ou coagulantes/floculantes de origem natural, tem surgido como uma alternativa promissora para tratar os efluentes da indústria têxtil. Nesse contexto, foi realizado um levantamento técnico-científico de revisão integrativa da literatura com o objetivo apresentar e avaliar artigos de periódicos publicados entre 2017 e 2023 que abordam o uso de adsorventes e coagulantes/floculantes sustentáveis no tratamento de efluentes têxteis, bem como a eficácia na remoção de poluentes. Através dessa análise, constatou-se que os adsorventes e coagulantes/floculantes de origem natural representam uma alternativa sustentável e eficiente para tratar efluentes têxteis. A literatura carece de estudos voltados para o tratamento de efluentes têxteis reais, uma vez que a maioria das pesquisas é realizada em efluentes sintéticos. Estes últimos proporcionam um controle mais preciso das condições experimentais, enquanto os efluentes reais oferecem resultados mais representativos. A maioria das investigações se concentrou em experimentos de bancada, com estudos em escala piloto e em escala real limitados. Portanto, é fundamental conduzir estudos mais abrangentes para avaliar a eficácia dos adsorventes, coagulantes/floculantes em escala real para obter conclusões mais consistentes e precisas sobre a aplicabilidade prática dos resultados.

Palavras-chaves: efluente têxtil, adsorção, coagulação/floculação, sustentáveis.

ABSTRACT

The textile industry holds global significance in meeting basic clothing needs. However, this sector uses a wide range of chemical products and, therefore, generates a large amount of textile effluents, which can contaminate water resources. Brazil stands out as a key hub for the textile industry in the Western world, contributing significantly to this emission of pollutants. In order to mitigate the environmental impacts caused by this scenario, studies focused on the removal of these pollutants have been conducted. The application of physical-chemical processes such as adsorption and coagulation/flocculation, using sustainable adsorbents or coagulants/flocculants of natural origin, has emerged as a promising alternative for treating textile industry effluents. In this context, a technical-scientific survey and integrative literature review were conducted with the aim of presenting and evaluating journal articles published between 2017 and 2023 that address the use of sustainable adsorbents and coagulants/flocculants in the treatment of textile effluents, as well as their efficacy in pollutant removal. Through this analysis, it was found that natural-origin adsorbents and coagulants/flocculants represent a sustainable and efficient alternative for treating textile effluents. The literature lacks studies focused on the treatment of real textile effluents, as most research is conducted on synthetic effluents. While the latter provide more precise control of experimental conditions, real effluents offer more representative results. Most investigations have focused on bench-scale experiments, with limited pilot-scale and full-scale studies. Therefore, it is essential to conduct more comprehensive studies to evaluate the effectiveness of adsorbents and coagulants/flocculants on a full scale to draw more consistent and accurate conclusions regarding the practical applicability of the results.

Keywords: textile effluent, adsorption, coagulation/flocculation, sustainable.

SUMÁRIO

| | | |
|---------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 9 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 11 |
| 2.1 | <i>INDÚSTRIA TÊXTIL NO BRASIL</i> | 11 |
| 2.2 | <i>ETAPAS DE PRODUÇÃO TÊXTIL</i> | 11 |
| 2.2.1 | Fiação | 12 |
| 2.2.1.1 | <i>Fibras têxteis</i> | 12 |
| 2.2.1.2 | <i>O processo da fiação</i> | 14 |
| 2.2.2 | Tecelagem | 14 |
| 2.2.2.1 | <i>Preparação da tecelagem</i> | 15 |
| 2.2.2.2 | <i>Tecido plano</i> | 15 |
| 2.2.2.3 | <i>Tecido malha</i> | 16 |
| 2.2.2.4 | <i>Tecido não tecido</i> | 16 |
| 2.2.3 | Beneficiamento | 17 |
| 2.2.3.1 | <i>Beneficiamento primário</i> | 17 |
| 2.2.3.2 | <i>Beneficiamento secundário</i> | 18 |
| 2.2.3.3 | <i>Beneficiamento terciário</i> | 23 |
| 2.2.4 | Lavanderias industriais..... | 23 |
| 2.3 | <i>RESÍDUOS</i> | 24 |
| 2.3.1 | Resíduos sólidos | 24 |
| 2.3.2 | Resíduos gasosos | 25 |
| 2.3.3 | Resíduos líquidos | 26 |
| 2.4 | <i>BOAS PRÁTICAS AMBIENTAIS NA INDÚSTRIA TÊXTIL</i> | 27 |
| 2.5 | <i>LEGISLAÇÕES AMBIENTAIS PERTINENTES</i> | 28 |
| 3 | METODOLOGIA..... | 30 |
| 4 | SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES UTILIZADOS NA INDÚSTRIA TÊXTIL..... | 32 |
| 4.1 | <i>TRATAMENTOS DE EFLUENTES INDUSTRIAIS</i> | 32 |
| 4.1.1 | Processos físicos | 32 |
| 4.1.2 | Processos químicos..... | 32 |
| 4.1.3 | Processos biológicos | 33 |
| 4.2 | <i>PROCESSOS FÍSICO-QUÍMICOS COM CARACTERÍSTICAS SUSTENTÁVEIS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS</i> | 33 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.2.1 | Processo de adsorção | 33 |
| 4.2.2 | Processo de coagulação/floculação | 35 |
| 4.3 | <i>APLICAÇÃO DOS PROCESSOS FÍSICO-QUÍMICOS COM CARACTERÍSTICAS SUSTENTÁVEIS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS</i> | 36 |
| 4.3.1 | Adsorção | 36 |
| 4.3.2 | Coagulação/Floculação..... | 46 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 57 |
| | REFERÊNCIAS..... | 59 |

1 INTRODUÇÃO

O setor têxtil possui uma importância significativa em todas as nações, já que atende à necessidade básica de vestuário e desempenha um papel fundamental nas esferas sociais, culturais, econômicas e políticas. Devido a essa relevância, é considerado um segmento industrial de longa tradição, já que seus produtos têm exercido influência nos costumes e tendências ao longo da história (Fujita; Jorente, 2015).

Na etapa de tingimento têxtil uma ampla variedade de corantes é empregada, de modo que cada corante é utilizado para uma fibra têxtil diferente. Nesse processo, são consideradas suas características estruturais, classificação, custo econômico, propriedades de fixação à fibra têxtil e outras características particulares (Guaratini; Zanoni, 2000). Dessa forma, a complexidade dessas águas residuais resulta além da variedade de corantes empregados, na diversidade de máquinas, técnicas e produtos utilizados nas fábricas têxteis. Estes incluem produtos dispersantes, ácidos, bases, sais, metais, surfactantes, umectantes e oxidantes, e são responsáveis por conferir às águas residuais elevada coloração, valores extremos de pH e temperaturas altas (Alves et al., 2019).

A contaminação de corpos de água por diferentes classes de corantes têxtil tem sido uma preocupação mundial crescente que se destaca por gerar enormes volumes de efluentes. Aproximadamente 125 a 150 litros de água são necessários para produzir 1 kg de produto têxtil, e esses efluentes, se não tratados adequadamente, podem causar séria contaminação ambiental (Sheela et al., 2012). Cerca de 15,0% da carga orgânica presente nos corantes acaba chegando ao meio ambiente por meio dos despejos industriais (Revankar, 2007). Dessa forma, os despejos industriais podem afetar o ecossistema aquático, aumentando a turbidez da água, modificando a atividade de organismos fotossintéticos, alterando as propriedades e características físicas da água, e afetando a solubilidade dos gases, como o oxigênio (Braile; Cavalcanti, 1979; Souza, 2005).

Os métodos empregados para remover os corantes e a coloração em efluentes têxteis podem ser categorizados como físicos, químicos e biológicos. Para melhorar a eficiência e reduzir os custos, é vantajoso integrar processos que incluam a aplicação de técnicas físicas ou químicas para aprimorar a biodegradabilidade de corantes e outros contaminantes, seguida por tratamento biológico (Alves et al., 2019).

A adsorção, um método físico-químico aplicado para tratar efluentes da indústria têxtil, envolve a remoção seletiva de moléculas (adsorbato) de um meio líquido através de um material adsorvente (Almeida et al., 2016). Apesar de geralmente ser um processo de custo alto, a

adsorção é simples, eficaz e não gera substâncias tóxicas (Choy et al., 2000). Uma vantagem significativa é o potencial de utilizar resíduos como materiais adsorventes, tornando a técnica acessível e viável para o tratamento de efluentes contaminados por corantes (Chiou et al., 2007).

A coagulação/floculação é um método de tratamento físico-químico. Esse processo é dividido em dois estágios consecutivos: o primeiro chamado de coagulação é um processo químico onde o acréscimo de coagulantes reduz as forças que mantêm as partículas suspensas separadas, sendo a fase curta (mistura rápida); o segundo é um procedimento físico onde as partículas vão colidir-se para formação de flocos, sendo que é devagar (mistura lenta) nomeado como floculação (Bernardo; Dantas, 2005; Richter, 2009).

Devido às preocupações com a disponibilidade hídrica no futuro, a legislação brasileira tem se tornado cada vez mais rigorosa, estabelecendo padrões específicos para classificação dos corpos de água, bem como condições e critérios para o lançamento de efluentes, de acordo com as Resoluções CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, que “Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências” e CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011, que “Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA)” (Brasil, 2005; 2011).

Tendo em vista este contexto, o presente estudo visa realizar um levantamento técnico-científico de revisão integrativa da literatura, com o objetivo de apresentar e avaliar estudos referentes a aplicação de adsorventes e coagulantes/floculantes naturais e sustentáveis para tratar efluentes do setor têxtil.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 *INDÚSTRIA TÊXTIL NO BRASIL*

O Brasil é um importante produtor mundial de artigos têxteis, sendo a maior cadeia têxtil completa do Ocidente. A indústria têxtil no Brasil destaca-se como a segunda maior empregadora na indústria de transformação, além disso o país figura como o quinto maior produtor mundial de têxteis, conforme a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT, 2023).

Segundo estudos recentes conduzidos pelo Instituto de Estudos e Marketing Individual (IEMI) a indústria têxtil e de confecção registrou um faturamento de R\$ 161 bilhões em 2020, aumentando para R\$ 190 bilhões em 2021. A produção têxtil também registrou crescimento, passando de 1,91 milhões de toneladas em 2020 para 2,16 milhões de toneladas em 2021. Como resultado desse crescimento, foram gerados 1,34 milhões de empregos diretos (IEMI, 2022), além de 8 milhões quando consideramos empregos indiretos e o impacto na renda, dos quais 60,0% desses empregos são ocupados por mulheres. Em 2021, o setor representou 19,5% do total de trabalhadores na produção industrial e contribuiu com 6,0% do valor total da produção da indústria brasileira de transformação (ABIT, 2023).

2.2 *ETAPAS DE PRODUÇÃO TÊXTIL*

As etapas da cadeia produtiva têxtil global são interdependentes, ou seja, elas precisam do produto obtido no estágio anterior para que possam acontecer. Contudo, essas etapas possuem relativa independência, e assim, admitem a coexistência tanto de firmas especializadas em somente uma etapa do processo produtivo quanto de empresas totalmente verticalizadas (FIEMG, 2014).

À vista disso, independente dos fatores como tecnologia e escala de produção, o produto gerado em qualquer etapa do processo produtivo é capaz de alimentar o estágio subsequente, seja dentro de uma mesma empresa verticalizada ou sendo fornecido para outras firmas utilizarem como matéria-prima (FIEMG, 2014).

A análise e mapeamento das fases do processo de produção, juntamente com suas operações unitárias, dentro do contexto da indústria têxtil, desempenham uma importância essencial na previsão e na definição dos aspectos ambientais relacionados à fabricação têxtil. Essa abordagem possibilita a identificação e avaliação das entradas e saídas em cada estágio do

processo, permitindo a determinação dos principais efeitos adversos sobre o meio ambiente, tornando assim viável a qualificação e quantificação desses problemas. Nesse sentido, é propício a implementação de ações positivas, tais como a adaptação e modificação das operações unitárias e a diminuição da carga poluente por meio de medidas mitigadoras, com o objetivo de minimizar os impactos prejudiciais (FIEMG, 2014).

A figura 1 apresenta o fluxograma do processo industrial têxtil.

Figura 1. Etapas do processo produtivo têxtil.



Fonte: adaptado Leão et al. (2002), FEAM (2014).

2.2.1 Fiação

2.2.1.1 Fibras têxteis

As fibras têxteis são usadas desde os primórdios da civilização. No passado, as cascas de árvore, fibras de caules e de folhas eram confeccionadas para se usarem em abrigos nas cavernas, as mais maleáveis acabavam sendo utilizadas para proteger o corpo. O uso de fibras vegetais certamente é tão antigo quanto a agricultura (Pezzolo, 2017).

Por um período bastante longo, somente as fibras naturais, animais e vegetais, eram utilizadas na tecelagem, porém, houve a necessidade de criar uma fibra que não existia na natureza, assim, no século XIX, foram criadas as primeiras fibras químicas em laboratório. A primeira fibra produzida foi a base de celulose extraída da madeira, que deu origem à fibra

raiom. As fibras químicas foram criadas com a finalidade de reproduzir e aprimorar as características e propriedades das fibras naturais (Pezzolo, 2017).

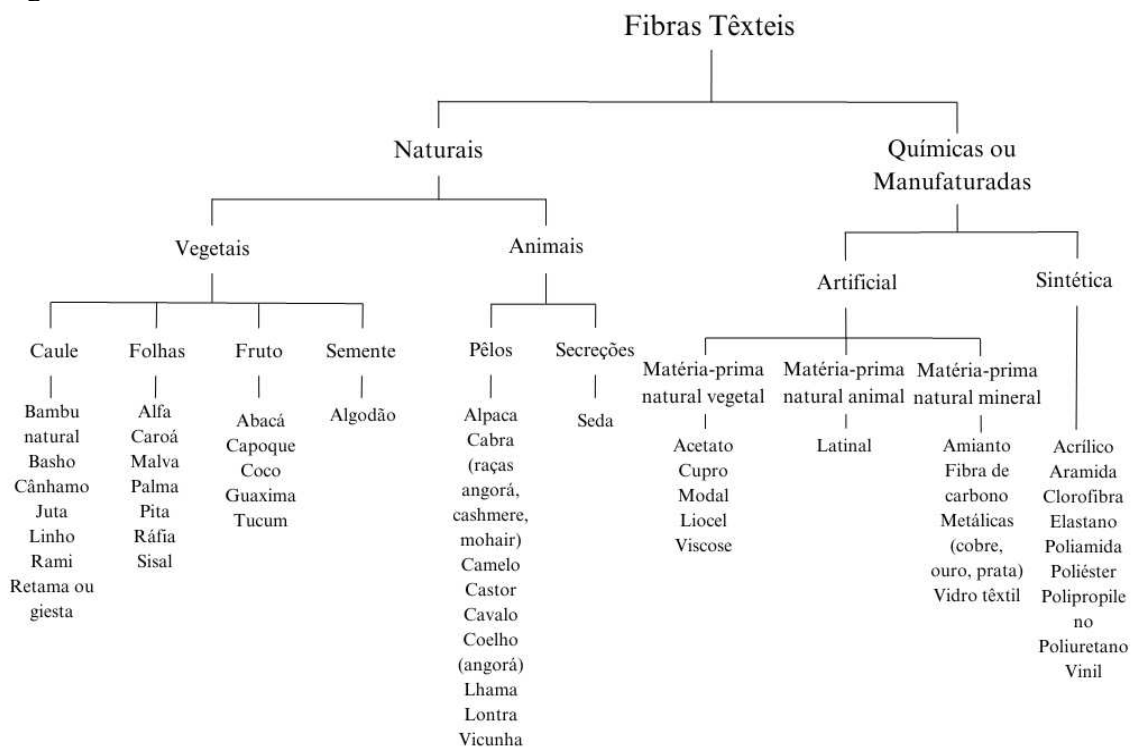
Conforme a Portaria Inmetro nº 118, de 11 de março de 2021, em seu capítulo III, da Denominação das Fibras Têxteis e dos Filamentos Têxteis (Brasil, 2021):

“Fibra têxtil ou filamento têxtil é toda matéria natural, de origem vegetal, animal ou mineral, assim como toda matéria artificial ou sintética, que, pela alta relação entre seu comprimento e seu diâmetro, e, ainda, por suas características de flexibilidade, suavidade, elasticidade, resistência, tenacidade e finura, está apta às aplicações têxteis.”

As fibras são a matéria-prima para a confecção dos tecidos. As fibras têxteis são divididas em fibras naturais e fibras químicas. As fibras naturais podem ser subdivididas segundo a sua origem, em animal, vegetal. Já as fibras químicas ou manufaturadas podem ser subdivididas em artificiais ou sintéticas. As fibras químicas artificiais são obtidas através da transformação da matéria prima natural animal, vegetal ou mineral, e as fibras químicas sintéticas são provenientes do petróleo, ou do carvão mineral, ou de outros materiais (Pezzolo, 2017).

Na figura 2 estão classificados os diferentes tipos de fibras têxteis quanto a sua origem e os exemplos de cada grupo.

Figura 2: Fibras Têxteis.



Fonte: adaptado Bastian, Rocco (2009) e Pezzolo (2017).

2.2.1.2 O processo da fiação

A fiação é o processo em que a matéria-prima, as fibras têxteis ou filamentos têxteis, são transformados em fios. A partir da combinação de fios naturais com fios químicos é possível obter uma grande diversidade de tecidos (Pezzolo, 2017). O fio pode ser descrito, de forma geral, como um conjunto de fibras lineares ou filamentos que se unem para criar uma linha contínua, apresentando propriedades têxteis. Entre as características têxteis fundamentais, destaca-se a boa resistência (durabilidade) e a alta flexibilidade (FIEMG, 2014).

As características físicas da matéria-prima fibrosa têm grande impacto na escolha do processo de fiação a ser adotado. Tanto as fibras sintéticas quanto as fibras naturais passam por procedimentos de fiação similares, começando com a etapa de preparação para a fiação. Posteriormente, o processo pode diferenciar em fiação penteada, fiação convencional (cardada) e fiação não convencional (open-end). Em todos esses métodos, diversas operações são conduzidas para abrir e limpar as fibras, orientadas em uma direção, paralelizadas e torcidas, de forma a assegurar que se prendem umas às outras por meio do atrito (FIEMG, 2014). No preparo da fiação e na fiação propriamente dita não é gerado efluente industrial (Braile; Cavalcanti, 1993).

2.2.2 Tecelagem

A tecelagem tem como objetivo transformar os fios obtidos na fiação em panos (Braile; Cavalcanti, 1979). O tear é a máquina que possibilita o entrelaçamento ordenado de dois conjuntos de fios, transversais e longitudinais, para formação da trama do tecido. Seu funcionamento é realizado com quatro elementos principais e são eles: urdume, trama, cala e pente (Pezzolo, 2017).

Os tecidos são classificados de diversas formas. Quanto a sua formação, eles podem ser divididos em tecidos planos, tecidos de malha, tecidos não tecidos, de laçada, e especiais (Pezzolo, 2017).

2.2.2.1 Preparação da tecelagem

Na etapa de preparação da tecelagem ou tratamentos prévios os fios passam por uma sucessão de operações de preparação, antes de serem processados no tear. Os principais processos de preparação são a urdição e a engomagem (FIEMG, 2014).

A urdição tem como propósito produzir um conjunto de fios paralelos, rigidamente individualizados, com igual tensão e de mesmo comprimento, ordenados no sentido longitudinal na exata ordem que o tecido final precisa. Esses fios são enrolados em um eixo, que é intitulado rolo de urdume. Em seguida, o rolo de urdume pode ser colocado na parte posterior dos teares ou pode ser encaminhado para a próxima etapa de preparação, a engomagem (FIEMG, 2014). Caso um fio arrebentar, o processo é interrompido até encontrar o local exato para que a emenda dos fios seja identificada e a correção seja feita. Esse procedimento de parar o tear, localizar a emenda e fazer a retomada da operação demanda muito tempo, por essa razão, alguns fios são reforçados na etapa de engomagem (Alcântara; Daltin, 1996).

A engomagem é um processo contínuo que se desdobra em várias etapas, com objetivos diferentes entre si, porém com apenas um propósito: engomar o fio para deixá-lo mais resistente mecanicamente por meio da adição de goma e aquecimento (FIEMG, 2014), a fim de melhorar a aderência entre as fibras (Alcântara; Daltin, 1996). Essa aplicação de revestimento de goma, quer seja natural ou sintética, é realizada sobre os fios de urdume, preparando-os para a seguinte fase de tecimento (Bastian; Rocco, 2009). A goma ideal deve apresentar as seguintes características: capacidade de aderência, forte coesão, poder de penetração, capacidade de formar película, elástica e resistente à ruptura, resistente a abrasão, fluida, flexível e maleável, resistente ao mofo, fácil de retirar e economicamente acessível (Alcântara; Daltin, 1996). É gerado despejo industrial nesse procedimento (Braile; Cavalcanti, 1993).

2.2.2.2 Tecido plano

O tecido plano é composto pelo entrelaçamento de dois conjuntos de fios em ângulo reto (90°). Ele é formado pelo urdume e pela trama, os fios de urdume são colocados no sentido longitudinal ao tecido, e já os fios da trama são aplicados no sentido transversal, perpendicular ao urdume. As principais variações do tecido plano são: liso, estampado, maquinado e jacquard (Pezzolo, 2017). Nesse processo não é formado efluente líquido, e dessa forma, é considerado um processo seco (Braile; Cavalcanti, 1993).

Os teares, empregados na tecelagem plana foram classificados em diferentes gerações, segundo a sua evolução e o surgimento de novas tecnologias. A primeira geração de teares engloba os modelos mais tradicionais, frequentemente equipados com lançadeiras, operando a uma velocidade mais baixa e com limitações na largura do tecido. No entanto, eles são capazes de produzir uma ampla variedade de tecidos planos (FIEMG, 2014).

Por outro lado, os teares mais modernos são subdivididos em duas categorias: teares de segunda geração, que englobam teares de projétil e teares de pinça, e teares de terceira geração, que incluem equipamentos mais avançados operando com jatos de ar ou jatos de água. Esses teares se destacam por sua alta velocidade de produção e pela ausência de restrições quanto à largura dos tecidos, tornando-os ideais para atender às necessidades das grandes empresas de confecção. Além disso, demonstram uma eficiência alta na etapa de produção (FIEMG, 2014).

2.2.2.3 Tecido malha

A malharia foi criada a partir do processo de mecanização da tricotagem (Alcântara; Daltin, 1996). O tecido malha é originado do entrelaçamento das laçadas de um ou mais fios, nesse tipo de tecido, os fios não se cruzam. Tecidos malha podem ser agrupados em três tipos: malhas de urdume ou teia, malhas de trama e malhas mistas (Pezzolo, 2017). Nesta operação, não há geração de despejos líquidos, portanto, é classificado com um processo seco (Braile; Cavalcanti, 1993).

As máquinas utilizadas na indústria de malharia, conhecidas como teares circulares, estão experimentando um progresso notável devido ao avanço tecnológico contínuo. A cada nova geração, esses teares se tornam mais eficazes e produtivos. O termo "circular" é devido à disposição circular dos alimentadores, resultando na produção de um tecido tubular contínuo. Além de proporcionarem um alto rendimento, eles são altamente versáteis, permitindo a fabricação de uma ampla variedade de tipos de materiais. Os teares circulares podem ser divididos em duas categorias: de grande diâmetro, adequados para a produção de malhas duplas e outros tipos de tecidos de malha; e de pequeno diâmetro, ideal para a fabricação de meias, sacos, galões, cadarços, entre outros produtos (FIEMG, 2014).

2.2.2.4 Tecido não tecido

Os tecidos não tecidos (TNT) também são chamados de tecidos não texturizados. No processo de fabricação não é utilizado a máquina de tear para a sua obtenção. Ele é feito de

elementos fibrosos compactados constituindo uma folha contínua, produzido pelo entrelaçamento das fibras ou pela ação de adesivos na fusão das fibras têxteis. No tecido não tecido, os fios não têm necessidade de serem orientados, assim, eles não apresentam uma direção definida (Pezzolo, 2017).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 13370/2017, não tecido é definido como: “estrutura plana, flexível e porosa, constituída de véu ou manta de fibras, ou filamentos, orientados direccionalmente ou ao acaso, consolidada por processo mecânico (fricção) e/ou químico (adesão) e/ou térmico (coesão), ou pela combinação destes” (ABNT, 2017).

2.2.3 Beneficiamento

O processo de beneficiamento têxtil tem como finalidade aprimorar as características físico-químicas dos substratos têxteis, que podem incluir fibras, fios, tecidos planos, tecidos malha, peças confeccionadas. Esse processo envolve uma série de etapas e procedimentos heterogêneos, já que cada material exige preparações únicas segundo a necessidade do seu aproveitamento (FIEMG, 2014). Dessa forma, na etapa final, é possível conferir características singulares a cada substrato têxtil (Pezzolo, 2017).

Portanto, o beneficiamento inclui todas as fases de modificação do tecido, incluindo melhorias na aparência, aumento da resistência, sensação ao toque, capacidade de absorver água, entre outros. Essas etapas compreendem o pré-tratamento, a tinturaria, a estamparia e o acabamento final (Alcântara; Daltin, 1996).

2.2.3.1 Beneficiamento primário

A fase inicial do beneficiamento têxtil é conhecida como beneficiamento primário ou preparação ou etapa inicial. Durante essa etapa, o tecido é preparado para ser submetido às operações posteriores, tornando-se apto para receber coloração parcial ou total, e, por conseguinte, para o acabamento final. Para alcançar esse estágio, os tecidos passam por uma variedade de processos a fim de remover óleos, ceras, pigmentos, marcações e sujeiras oriundos das etapas de fiação e tecelagem (FIEMG, 2014). Os principais processos envolvidos no beneficiamento primário são: limpeza, desengomagem, alveijamento, navalhagem, chamuscagem e mercerização.

A limpeza (ou purga, cozimento) tem finalidade de eliminar substâncias indesejáveis que as acompanham (Pezzolo, 2017), principalmente materiais oleosos (Alcântara; Daltin, 1996), através da emulsão, saponificação e solvência (Bastian; Rocco, 2009). Durante esse processo é gerado esgoto industrial (Braile; Cavalcanti, 1993).

A desengomagem é o processo de eliminar a "goma" que foi sobreposta ao fio de urdume durante o procedimento de engomagem de fios, realizado para facilitar a tecelagem (Bastian; Rocco, 2009). É realizada com substâncias bioquímicas ou químicas, e tem como objetivo tornar o material têxtil rígido, resistente e mais absorvente (Pezzolo, 2017). Nesse processo é gerado efluente (Braile; Cavalcanti, 1993).

O alvejamento tem por finalidade eliminar a coloração amarelada, natural, do substrato têxtil (Bastian; Rocco, 2009). Essa etapa também pode remover outras impurezas que ainda possam existir, além de preparar para os processos subsequentes: branqueamento óptico, tinturaria ou estampagem (Pezzolo, 2017). Neste processo, ocorre a geração de efluentes (Braile; Cavalcanti, 1993).

No processo de navalhagem, as pontas das fibras salientes são removidas por meio do corte. Essas fibrilas conferem uma textura áspera e dessa forma causam complicações na confecção dos estampados (Pezzolo, 2017).

A chamuscagem ou flambagem é a etapa em que as fibrilas da superfície do substrato têxtil são queimadas (Bastian; Rocco, 2009). Nesse processo não são gerados efluentes (Alcântara; Daltin, 1996).

A mercerização é um tratamento aplicado às fibras de algodão ou linho para melhorar diversas características, incluindo maior brilho, estabilidade dimensional, resistência, absorção de água e corantes, toque mais suave e eficiência de tingimento. A fibra mercerizada requer menos corante em comparação com a fibra não mercerizada, resultando em economia de corantes, especialmente em cores escuras, onde a redução pode chegar a 25-30,0% (Alcântara; Daltin, 1996). São gerados despejos industriais nessa operação (Braile; Cavalcanti, 1993).

2.2.3.2 Beneficiamento secundário

O beneficiamento secundário ou etapa secundária é composta pelas etapas de tingimento e estamparia. O tingimento ou tinturaria tem como objetivo proporcionar cor aos substratos têxteis. Já a estamparia, é realizada por vários processos, e tem como finalidade imprimir um desenho decorativo ao tecido (Pezzolo, 2017). No processo de tingimento é realizada a

coloração total do tecido, já no processo de estamparia a coloração é apenas parcial (FIEMG, 2014). Nas duas técnicas são gerados efluentes líquidos (Braile; Cavalcanti, 1993).

O tingimento tem como finalidade conferir cor ao substrato têxtil (Bastian; Rocco, 2009), para conferir cor ou mudar a cor é aplicado nesta etapa corantes ao material têxtil. Não existe fibra que seja capaz de ser colorida por todos os corantes existentes assim como não existe corante que colore todas as fibras conhecidas. O tingimento envolve uma grande diversidade de corantes e auxiliares da tinturaria e sendo assim, é considerada um dos processos mais complexos dentro dos procedimentos de beneficiamento têxtil. A tinturaria é composta por três estágios: a montagem, a fixação e o tratamento final (Alcântara; Daltin, 1996).

A etapa de montagem envolve a transferência do corante da solução para a superfície do substrato têxtil, essa operação pode ser executada por meio de esgotamento ou impregnação. Já a fixação do corante ocorre por meio da sua interação com o tecido, da conversão do corante insolúvel para uma forma solúvel ou da alteração da estrutura da fibra, passando de um estado expandido para um estado mais compacto por efeito da temperatura. Na fase final, o excesso de corante é removido através de lavagem quente com detergentes, e posterior enxágue em água corrente, isso previne que o corante não fixado na fibra se solte quando o tecido entrar em contato com umidade novamente, como suor ou lavagem, evitando manchas em outras roupas durante o mesmo ciclo de lavagem (Alcântara; Daltin, 1996).

Os corantes são classificados de diferentes formas, sendo as principais dela, aplicação no substrato têxtil e estrutura química, também podem ser classificados quanto: à solidez em geral, a exposição à luz, o tipo de excitação eletrônica, entre outros (Bastian; Rocco, 2009). Os corantes são classificados segundo a aplicação na fibra têxtil em:

Corantes ácidos: compreende uma classe de corantes aniônicos que podem conter de um a três grupos sulfônicos. São solúveis em água devido aos grupos substituintes ionizáveis e tem grande importância na forma de aplicação eficaz do corante na fibra. São substâncias que apresentam estrutura química baseada em grupos antraquinona, azina, azo, ketonimina, nitro e nitroso, triarilmetano, xanteno, que oferecem uma extensa porção de coloração e grau de fixação (Guaratini; Zanoni, 2000). Esses corantes são utilizados para fazer a tinturaria das fibras proteicas (lã e seda) e de poliamida. O processo de tingimento é realizado em banho aquoso, juntamente com o corante, um sal e um ácido, sendo que algumas classes desse corante podem ser tingidas sem o ácido (Alcântara; Daltin, 1996).

Corantes a cuba: são também chamados de corantes a tina e de redução. São insolúveis em água, contudo por meio da redução com hidrossulfito de sódio em meio básico, se transformam em leuco, derivados solúveis, e conseguem tingir as fibras celulósicas (Alcântara;

Daltin, 1996). Logo após a oxidação pelo ar, o peróxido de hidrogênio e outros são regenerados a conformação original do corante sobre o substrato têxtil. Constituem um considerável grupo de corantes com base em antraquinóides, índigos e tioindigóides. Em razão das suas propriedades ótimas de fixação em substratos têxteis podem ser aplicados em diversas fibras, porém é aplicado em maior quantidade em tingimento de algodão e possuem custo elevado. A fabricação do hidrossulfito de sódio resulta em problemas ambientais (Guaratini; Zanoni, 2000).

Corantes ao enxofre: são também denominados de corantes sulforosos. Posterior a sua aplicação são caracterizados por compostos macromoleculares contendo ligações de polissulfetos. São utilizados principalmente para tingir fibras celulósicas, e são ótimos para conferir tons escuros e intensos, como o azul, marrom, preto e verde, manifestando uma boa fixação. Não apresentam solubilidade em água e, portanto, são aplicados após serem pré-reduzidos com ditonito de sódio, o que lhes confere solubilidade, em seguida, são reoxidados sobre o material têxtil por meio do contato com o ar. No entanto, os resíduos desses corantes são extremamente tóxicos (Guaratini; Zanoni, 2000) e estão sofrendo substituição pelos corantes sulfurosos ecológicos (Alcântara; Daltin, 1996).

Corantes azóicos: são sintetizados sobre o substrato têxtil durante a etapa de tinturaria, a partir de dois compostos: o naftol e uma base não solúvel em água. O naftol é um composto insolúvel em água, no entanto ele é solubilizado pelo hidróxido de sódio, formando o naftolato de sódio, que reage com as fibras celulósicas. A base insolúvel em água é transformada em uma base diazotada por meio de sua solubilização com nitrito de sódio e ácido clorídrico. Em seguida, coloca-se a base diazotada sobre o substrato têxtil com o naftolato. São utilizados em fibras vegetais, a poliamida, a seda natural e a viscose (Alcântara; Daltin, 1996). Não são solúveis em água (Guaratini; Zanoni, 2000).

Corantes branqueadores: são também nominados como branqueadores ópticos ou branqueadores fluorescentes. Nas condições naturais as fibras têxteis são constituídas por compostos orgânicos, o que resulta em uma coloração amarelada devido à absorção de luz, especialmente em comprimentos de onda baixo. A oxidação do material têxtil é realizada na indústria têxtil ou em processos de lavanderia, utilizando alvejantes químicos ou corantes brancos para reduzir a tonalidade desse substrato. Esses corantes contêm grupos azometino, carboxílicos ou etilênicos associados a anéis aromáticos, naftalênicos, pirênicos e sistemas benzênicos (Guaratini; Zanoni, 2000).

Corantes diretos: são também conhecidos como corantes substantivos. São solúveis em água e a ligação do corante junto ao substrato têxtil é realizada por meio de interações de

Van der Waals. O tingimento é feito em um banho aquoso adicionando um eletrólito que é responsável por aumentar a força iônica do meio e, por consequência, a compatibilidade do material têxtil pelo corante. Um dos principais corantes diretos é o vermelho congo (Alcântara; Daltin, 1996). São utilizados para colorir fibras celulósicas como o algodão, e a viscose. A classe desses compostos compreende os corantes abrangendo mais de um grupo azo, como o diazo e triazo, ou pré-transformados em complexos metálicos. O principal benefício dos corantes diretos é a alta absorção no decorrer da sua aplicação e por consequência o decréscimo da quantidade de corante liberada no despejo industrial (Guaratini; Zanoni, 2000).

Corantes dispersos: não são solúveis em água, e no passado tingiam o acetato de celulose e, atualmente, são usados em fibras celulósicas e outras fibras hidrofóbicas (Alcântara; Daltin, 1996). Um exemplo dessas fibras hidrofóbicas são fibras sintéticas, como o nylon e poliéster. No processo de coloração são usados agentes dispersantes que geralmente já estão inclusos na elaboração do corante. Os agentes dispersantes possuem cadeias longas que comumente equilibram a suspensão do corante favorecendo a interação da fibra hidrofóbica com o corante (Guaratini; Zanoni, 2000). Os agentes dispersantes geralmente contêm cadeias longas que atuam para manter a suspensão do corante, promovendo o contato entre o corante e a fibra hidrofóbica (Guaratini; Zanoni, 2000).

Corantes pré-metalizados: na posição ortho contém um grupo hidroxila ou carboxila em relação ao cromóforo azo possibilitando formar complexos com íons metálicos. São utilizados em fibras proteicas e poliamida. É aproveitado a capacidade de interação entre os grupos funcionais que possuem pares de elétrons livres e o metal nesse processo de tingimento. Apresenta uma desvantagem ambiental já que nas águas residuárias é encontrada uma alta carga de metal. Os grupos de corantes pré-metalizados mais comuns são os complexos estáveis de cromo:corante (1:1) ou (1:2) (Guaratini; Zanoni, 2000).

Corantes reativos: são caracterizados por possuir um grupo eletrofilico (reativo) que é capaz de formar ligações covalentes com os grupos amino presentes em poliamidas, grupos hidroxila encontrados em fibras celulósicas, e grupos amino, hidroxila e tióis em fibras proteicas. Os principais corantes reativos têm em sua composição como grupos cromóforos as funções azo e antraquinona e como grupos reativo as funções clorotriazinila e sulfatoetilsulfonila (Guaratini; Zanoni, 2000). São solúveis em água e as reações com o material têxtil são realizadas em meio básico. As propriedades de solidez contribuem para que se obtenha uma infinidade de tons, até mesmo os mais brilhantes (Alcântara; Daltin, 1996).

Corantes naturais: são derivados de materiais animais ou vegetais, com o mínimo ou nenhum processamento químico. São classificados como do tipo mordente, à tina, diretos ou ácidos. Importante destacar que não existem corantes naturais dispersos, azóicos ou à base de enxofre (Furlan, 2008).

Para escolher o corante ideal para cada tipo de fibra, deve ser levado em conta as características a seguir (Alcântara; Daltin, 1996):

- **Afinidade:** depois da tinturaria o corante precisa ser parte integrante do material têxtil.
- **Economia:** a dosagem de corantes, produtos auxiliares e tempo de realização do tingimento não podem ultrapassar as quantidades estritamente necessárias.
- **Igualização:** em toda a dimensão do substrato têxtil a cor deve se apresentar uniforme.
- **Solidez (resistência):** o corante precisa ser resistente aos desencadeadores de desbotamento como a água clorada, lavagem, luz, suor e outros.

Os pigmentos também podem ser aplicados na coloração da fibra têxtil. Porém, diferentemente do corante, para poder fazer o uso do pigmento é necessário aplicar ligantes ao material têxtil. Esses ligantes são polímeros que irão fazer a adesão do pigmento à fibra. Dessa maneira, o que diferencia o corante do pigmento, é que o pigmento não possui afinidade física ou química com o substrato têxtil. Apesar de serem aplicáveis em diversas fibras, os pigmentos são utilizados principalmente em algodão e em misturas com poliéster na tinturaria (Alcântara; Daltin, 1996).

Na estamparia, geralmente, os padrões estampados se repetem regularmente em intervalos definidos, e cada cor é aplicada em uma etapa separada. O número usual de núcleos varia de 1 a 6, podendo chegar a 20 em produtos de alta qualidade (Beltrame, 2000).

As etapas da estamparia consistem em 5 etapas e são elas: preparação da pasta de estampar, estampagem, secagem, fixação e tratamentos posteriores (Beltrame, 2000). A estampagem é a principal operação da estamparia e ela pode ocorrer por quadro manual, quadro automático, transfer, quadro rotativo e a rolo (FIEMG, 2014).

Na estampagem quadro manual ou serigrafia, o quadro é formado por uma tela com verniz, exceto nas áreas do desenho, a pasta de estampar é aplicada no tecido fixo enquanto dois operadores movem o quadro com uma racla. Já a estampagem a quadro automático é realizada com um quadro igual ao quadro manual, a distinção desses processos, é que no método automático, o quadro se levanta automaticamente enquanto o tecido se desloca. Na estampagem a transfer ou silk um papel especial com a estampa é usado como intermediário para transferir a cor para o tecido por meio de pressão e calor, via sublimação. Na estampagem com quadro

rotativo, um quadro cilíndrico gira em torno de seu eixo à medida que o tecido se desloca. A estampagem a rolo ou cilindro gravado é uma técnica industrial amplamente empregada, na qual cilindros de aço são gravados em relevo para aplicar a pasta de estampagem nos pontos próximos do cilindro, facilitando a transferência para o tecido (FIEMG, 2014).

2.2.3.3 Beneficiamento terciário

O beneficiamento terciário ou acabamento ou etapa final compreende operações aplicadas ao substrato têxtil e têm o propósito de aprimorar as características como a estabilização dimensional, toque/brilho, impermeabilização, entre outras, aperfeiçoando o aspecto do produto final e tornando-o mais atrativo para os consumidores. As operações nessa etapa podem ser conduzidas tanto de forma seca quanto úmida, bem como de maneira contínua ou em batelada (FIEMG, 2014). Esse processo envolve diversas operações.

A calandragem tem como função eliminar os vincos e proporcionar brilho ao material têxtil, esse processo é mais utilizado em tecidos malha. A etapa de amaciamento tem finalidade de propiciar um toque agradável ao tecido. O efeito "seda" é obtido através do tratamento alcalino de poliéster, proporcionando uma textura sedosa. A sanforização ou pré-encolhimento é um processo que induz o encolhimento do material têxtil por meios físicos, com o objetivo de prevenir futuros encolhimentos das peças durante a lavagem doméstica subsequente (Bastian; Rocco, 2009).

A flanelagem ou felpagem tem por finalidade conferir ao tecido uma base felpuda. O carregamento tem como objetivo deixar o tecido mais pesado. O acabamento "lave e use" permite ao tecido não amarrotar por tempo indeterminado, dispensando o uso de ferro de passar roupa. A resinagem pode ocorrer de três formas distintas, e são elas: PVC, acrílica e termofixagem, e a escolha do tipo de resinagem depende do resultado desejado (Pezzolo, 2017).

2.2.4 Lavanderias industriais

As lavanderias industriais operam no estágio final da produção de roupas e vestuário na operação de lavagem e beneficiamento de seus produtos, especialmente para peças feitas de algodão, jeans e brim. Elas intervêm internamente para aprimorar a qualidade e criar efeitos exclusivos nas peças acabadas, que não podem ser realizadas durante a fabricação do tecido plano (FIEMG, 2014).

As peças em tecido cru adquirem características distintas, pois podem passar por diversas fases de acabamento, incluindo amaciamento e envelhecimento. Cada item possui uma receita de lavagem específica e um procedimento de beneficiamento personalizado, com a finalidade de valorizar e estilizar o produto final. As lavanderias, em sua linha de produção, empregam principalmente dois processos convencionais: lavagem e secagem, respectivamente (FIEMG, 2014).

A lavagem é o procedimento de limpeza que faz uso de água e produtos de higiene, adaptando-se às necessidades de diferentes materiais têxteis, e pode ser realizada de forma manual ou com automação, seguindo instruções específicas para cada tipo de peça, incluindo escolha de método (seco ou úmido), produtos, concentrações, pH, intensidade mecânica e temperatura. Já a secagem é o processo de eliminação da umidade presente nas roupas, utilizando centrífugas e/ou por vaporização térmica através das secadoras. As lavanderias industriais, dessa forma, são responsáveis por descartarem grande volume de despejo líquido, caracterizados por alta coloração e contendo grande quantidade de produtos químicos (FIEMG, 2014).

2.3 RESÍDUOS

Ao longo de todas as fases da produção na indústria têxtil, ocorrem interferências ambientais, principalmente na forma de efluentes líquidos, resíduos sólidos e emissões atmosféricas. Sem um controle e medidas adequadas de mitigação, esses fatores têm o potencial de causar impactos ambientais relacionados à atividade (FIEMG, 2014).

2.3.1 Resíduos sólidos

Na etapa de produção têxtil são realizadas várias operações que resultam na geração de resíduos sólidos, os quais podem variar em termos de características e quantidade. A quantidade de resíduos sólidos gerados nas indústrias têxteis depende de uma série de fatores, incluindo o tipo, tamanho, natureza e eficiência dos equipamentos utilizados, bem como a presença e eficácia dos sistemas de tratamento de efluentes e controle de emissões atmosféricas (FIEMG, 2014).

Os resíduos sólidos originados do processo produtivo, especialmente nas fases de fiação e tecelagem, consistem essencialmente em partes não utilizáveis da matéria-prima, como fibrilas, fibras, fitas, fios, pavios, entre outros. A quantidade de resíduos sólidos gerados durante

a produção está diretamente relacionada ao consumo de matéria-prima, sendo que a etapa de fiação normalmente apresenta perdas médias de cerca de 5,0%, enquanto a etapa de tecelagem tem perdas médias de aproximadamente 15,0% (FIEMG, 2014).

Além disso, há a geração de resíduos comuns e de embalagens, sendo importante evitar a sua contaminação. Outros resíduos sólidos, com potencial impacto ambiental, resultam da queima de combustíveis nas caldeiras, como cinzas, fuligem ou escória, depende da temperatura alcançada, e a quantidade de resíduos está diretamente relacionada ao tipo de combustível utilizado. É relevante destacar que o elevado volume de efluentes líquidos industriais também contribui para um impacto ambiental significativo, especialmente devido à formação de lodo nas estações de tratamento de efluentes (ETE), cuja produção é consideravelmente elevada (FIEMG, 2014).

2.3.2 Resíduos gasosos

As caldeiras desempenham um papel central nas emissões atmosféricas das indústrias têxteis, e os solventes orgânicos também têm um impacto significativo nas emissões. As emissões estão diretamente relacionadas ao tipo de combustível queimado, podendo resultar na liberação de gases e/ou material particulado. Entre os combustíveis mais comuns utilizados pelas empresas têxteis, destacam-se a lenha e o óleo de baixo ponto de fluidez, embora haja variações na fonte de abastecimento das caldeiras, incluindo o uso de biomassa, gás liquefeito de petróleo ou óleo xisto (FIEMG, 2014).

O material particulado é predominantemente originado durante a operação das caldeiras que queimam lenha ou óleo combustível, manifestando-se na forma de cinzas e fuligem. Quanto aos gases, incluem-se o dióxido de enxofre, os óxidos de nitrogênio e o monóxido de carbono (Leão et al., 2002).

Os principais equipamentos utilizados para controlar as emissões em caldeiras que queimam lenha como combustível são os ciclones e os filtros. Por outro lado, quando se trata de caldeiras que utilizam óleo como combustível, é comum empregar sistemas de lavagem de gases. Para um controle abrangente, abarcando tanto partículas quanto gases emitidos, é recomendado o uso de precipitadores eletrostáticos (FIEMG, 2014).

É fundamental destacar a importância da manutenção regular dos sistemas de controle, a fim de assegurar que operem em conformidade com os padrões regulamentares. Além disso, o gerenciamento adequado da quantidade de ar na combustão é essencial, pois o excesso ou a escassez podem resultar em ineficiência e emissões indesejadas (FIEMG, 2014).

2.3.3 Resíduos líquidos

A indústria têxtil é uma das principais fontes de efluentes líquidos, com 88,0% desse volume sendo liberado como esgoto industrial, enquanto os restantes 12,0% são perdidos devido à evaporação (Leão et al., 2002). A composição dos efluentes líquidos varia de acordo com os processos industriais, tipos de fibras e produtos químicos utilizados. O alto consumo de água resulta das atividades de lavagem, beneficiamento e limpeza das instalações (FIEMG, 2014).

Os efluentes da indústria têxtil, especialmente do beneficiamento, contêm uma variedade de substâncias contaminantes, incluindo produtos químicos, que representam risco ambiental (FIEMG, 2014). Efluentes têxteis são geralmente tóxicos e não biodegradáveis devido à concentração de substâncias orgânicas, corantes, surfactantes e aditivos (Rubinger, 2009).

Em relação a esse segmento, o principal problema encontra-se no setor de tingimento. As fibras têxteis requerem corantes com características específicas e claramente definidas, que engloba alta afinidade, coloração uniforme, resistência à descoloração e ao mesmo tempo devem ser economicamente viáveis (Wesenberg et al., 2003).

Os efluentes provenientes das atividades industriais têxteis exibem elevados valores de pH, temperatura, demanda química de oxigênio (DQO), demanda biológica de oxigênio (DBO), sólidos suspensos totais e cor (Braile, Cavalcanti; 1993). Além disso, esses efluentes são turvos e possuem um odor forte. A descarga de efluentes industriais não tratados lançados diretamente em corpos d'água pode reduzir significativamente os níveis de oxigênio dissolvido (OD) na água (Ilyas et al., 2019).

Apesar de que a maior parte dos corantes apresente baixa DQO, eles contribuem para o aporte de carbono orgânico e cor nas águas. A DBO em efluentes de tingimento geralmente varia na faixa de 200 mg/L a 3.000 mg/L, enquanto a DQO varia entre 500 mg/L e 5.000 mg/L. Os sólidos suspensos, por sua vez, costumam situar-se entre 50 mg/L e 500 mg/L, e o pH varia de 4 a 12 (Leão et al., 2002).

Para minimizar os potenciais impactos ambientais, os efluentes líquidos gerados devem ser submetidos a tratamento prévio antes de serem descartados. Esse tratamento visa reduzir as concentrações de contaminantes a níveis que estejam em conformidade com os padrões estabelecidos pela legislação ambiental, garantindo, assim, a qualidade do corpo d'água receptor. O tipo de sistema de tratamento utilizado nas estações de tratamento de efluentes pode

variar consideravelmente, principalmente em função do tipo de atividade realizada na instalação (FIEMG, 2014). Os processos mais utilizados para descolorir as águas residuárias têxteis são: adsorção, coagulação/floculação, filtração, fotodegradação e extração por solvente (Barbosa et al., 2020), outros métodos que também são utilizados incluem: precipitação, oxidação/redução, troca iônica e processo de separação por membrana (Mathivanan et al., 2021).

2.4 BOAS PRÁTICAS AMBIENTAIS NA INDÚSTRIA TÊXTIL

A busca pela sustentabilidade, a adoção de regulamentações ambientais mais rigorosas e a crescente concorrência no mercado tem motivado muitas empresas a adotarem práticas de melhoria contínua. O aprimoramento do desempenho ambiental da indústria envolve a substituição de atividades cotidianas por práticas que promovam a produção sustentável, incluindo medidas relacionadas à limpeza, organização, otimização de tempos de produção, saúde, segurança e redução do potencial poluidor, entre outras (Bastian; Rocco, 2009). Essas práticas resultam em uma série de benefícios, tanto ambientais quanto econômicos, na gestão de processos (FIEMG, 2014).

Algumas boas práticas ambientais aplicáveis ao setor industrial incluem: redução, recuperação e reutilização da água; redução e conservação de energia; uso de lavagem a seco; controle de emissões odoríferas e de ruído e vibração; recuperação de insumos; gestão de resíduos com ênfase na redução, reutilização e reciclagem; alteração de equipamentos; redução da geração de substâncias atmosféricas; armazenamento adequado de produtos perigosos; além de medidas para o controle, substituição, recuperação, redução e eliminação de produtos químicos (Bastian; Rocco, 2009).

A implementação desses processos resulta em diversos benefícios ambientais e econômicos, incluindo a redução do consumo de recursos naturais, economia de água potável, otimização dos processos de tratamento de efluentes, aumento da rentabilidade do negócio, redução de custos de produção e melhoria do relacionamento com a comunidade e com os órgãos públicos (FIEMG, 2014), bem como a diminuição do consumo de combustíveis, redução de vibrações, uso mais eficiente de produtos químicos, minimização de resíduos, diminuição do volume de lodo gerado, redução de emissões de gases poluentes e prevenção de acidentes (Bastian; Rocco, 2009).

2.5 LEGISLAÇÕES AMBIENTAIS PERTINENTES

As principais normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas são: a NBR 9800/1987 que estabelece “Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário” e a NBR 13402/1995 que faz a “Caracterização de cargas poluidoras em efluentes líquidos industriais e domésticos” (ABNT; 1987, 1995).

No âmbito nacional a Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011 que “Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA”. Os parâmetros estabelecidos por esta resolução são pH, temperatura, óleos e graxas, materiais sedimentáveis e DBO (Brasil, 2011). A Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, os efluentes lançados no corpo hídrico não devem alterar a sua classe (Brasil, 2005). E a principal legislação do estado de Minas Gerais, é a Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº 8, de 21 de novembro de 2022, que “Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências” (Minas Gerais, 2022).

Os efluentes de qualquer fonte poluidora podem ser lançados de forma direta no corpo receptor, desde que siga os padrões definidos na Resolução CONAMA nº 430/2011 e na Deliberação Normativa COPAM-CERH nº 8, os valores padrões estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Valores padrão de lançamento de efluentes de qualquer fonte poluidora.

| Parâmetro | CONAMA nº 430/2011 - Art. 16 | COPAM-CERH nº8 - Art. 32 |
|-----------------------------------|---|---|
| pH | 5,0 – 9,0 | Entre 5,0 - 9,0 |
| Temperatura | Inferior a 40°C | Inferior a 40°C |
| Materiais sedimentáveis | Até 1 mL/L | Até 1 mL/L |
| Óleos e graxas | Até 20 mg/L (óleo mineral) | Até 20 mg/L (óleo mineral) |
| | Até 50 mg/L (óleos vegetais e gorduras animais) | Até 50 mg/L (óleos vegetais e gorduras animais) |
| Materiais flutuantes | Ausentes | Ausentes |
| DBO | Remoção mínima de 60,0% | Até 60 mg/L ou eficiência de redução de no mínimo 85,0% e média anual igual ou superior a 90,0% |
| | | Até 180 mg/L ou, se tratar de efluentes de indústria têxtil, o padrão será de 250 mg/L |
| DQO | Não especificado | Não especificado |
| Cor | Não especificado | Não especificado |
| Sólidos em suspensão totais (SST) | Não especificado | Até 100 mg/L |

Fonte: adaptado de Brasil (2011) e Minas Gerais (2021).

Portanto, foi realizada uma revisão bibliográfica e foram selecionados materiais de pesquisa seguindo critérios predefinidos. Esses critérios incluíram a escolha dos processos de tratamento de efluentes, que foram a adsorção e a coagulação/floculação, bem como a escolha por estudos que abordassem técnicas sustentáveis, caracterizadas por serem de baixo custo e baseados em métodos naturais.

3 METODOLOGIA

A revisão de literatura integrativa foi conduzida com o objetivo de identificar, analisar e comparar estudos relacionados à utilização de adsorventes e coagulantes/floculantes naturais empregados para tratar efluentes da indústria têxtil. Para isso, foram coletados dados em bases científicas, com pesquisa realizada na plataforma Ebsco Discovery Service (EDS) da Universidade Federal de Uberlândia.

O Ebsco Discovery Service é um serviço de pesquisa integrada oferecido pelo Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) por meio da Ebsco. Esta plataforma permite explorar todos os recursos oferecidos pelas Bibliotecas da UFU de forma unificada e através de uma única interface. Essa ferramenta engloba fontes internas e externas. Além disso, oferece a capacidade de refinar os resultados de pesquisa por tipo de documento, dados de publicação, fonte de pesquisa e outras opções (UFU, 2022).

As bases de dados encontradas dentro do EDS e que foram utilizadas nesse trabalho foram: Academic Search Premier, Base, Complementary Index, Food Science Source, Scopus, Gale Academic OneFile, MedlineEDLINE Complete PubMed, ScienceDirect, Directory of Open Access Journals, Academic Search Premier, Food Science and Technology Abstracts.

No critério de inclusão consideraram-se os textos completos, na língua portuguesa e inglesa, que foram publicados nos últimos 5 anos (2017 a 2023), e apenas foram considerados artigos de periódicos. O critério de exclusão foram artigos de revisão, trabalhos de tratamento de efluente de curtume e estudos que não utilizavam métodos naturais, ou seja, estudos que não abordam a temática em questão.

As buscas bibliográficas foram realizadas pelo uso do método dos operados booleanos, os cruzamentos de descritores, sempre no idioma inglês, realizados para seleção dos artigos, como exemplo: (coagulant) AND (natural) AND ("textile effluent" OR "textile wastewater" OR dye), com tradução para o português, o que aumenta a amplitude, relevância e profundidade da pesquisa.

A primeira etapa consistiu na leitura dos títulos, resumos e conclusões de aproximadamente 1200 trabalhos. Na segunda etapa realizou uma avaliação criteriosa dos trabalhos, que envolveu a leitura dos resultados e discussões, o que resultou na exclusão de artigos que não se enquadravam no escopo desta pesquisa. A terceira etapa envolveu a leitura de artigos previamente selecionados na segunda etapa, com o objetivo de identificar aqueles que não se adequavam à proposta do estudo. Assim, ao final restou um total de 50 artigos que foram analisados nesta pesquisa.

A análise dos dados foi conduzida por meio da revisão e discussão das teorias, dados e resultados obtidos por autores em suas pesquisas sobre os processos de adsorção e coagulação/floculação, bem como a sua aplicação e comparação em tratamento de efluentes provenientes da indústria têxtil.

Este trabalho compilou uma variedade de estudos científicos, tanto nacionais quanto internacionais, relacionados ao tratamento de efluentes têxteis utilizando os processos de adsorção e coagulação/floculação. Essa abordagem proporcionou uma análise abrangente da maneira como esse tema é abordado em todo o mundo. O estudo comparou diferentes concentrações de adsorventes e coagulantes/floculantes, avaliou a eficiência na remoção dessas substâncias, bem como a identificação das vantagens e desvantagens de cada metodologia. Além disso, foram apresentados os limites dos parâmetros aceitos para o descarte estabelecidos pelos órgãos ambientais nacionais. Este compilado desempenha um papel fundamental na divulgação e disseminação do conhecimento sobre o tratamento de efluentes industriais têxteis.

4 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES UTILIZADOS NA INDÚSTRIA TÊXTIL

4.1 TRATAMENTOS DE EFLUENTES INDUSTRIAIS

As lavanderias industriais, de maneira geral, utilizam predominantemente métodos de tratamento físico-químicos. Por outro lado, fábricas envolvidas no beneficiamento têxtil, como tinturarias e estamparias, frequentemente adotam um tratamento que envolve etapas de tratamento biológico, físico, químico, ou uma combinação desses processos (FIEMG, 2014).

4.1.1 Processos físicos

Os métodos físicos se fundamentam em diversos processos de separação de fases, que incluem a sedimentação ou decantação, filtração, centrifugação e flotação. Além disso, abrangem processos de transição de fases, como destilação, evaporação e cristalização, bem como processos de transferência de fases, como extração por solventes e adsorção. Também incluem técnicas de separação molecular, que envolvem o uso de membranas seletivas, como microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração, osmose reversa e diálise (Furlan, 2008).

No geral, esses procedimentos possibilitam a depuração das águas residuárias, embora não promovam a degradação ou eliminação das substâncias contaminantes. Em vez disso, transferem esses poluentes para uma nova fase. Embora a concentração de poluentes seja reduzida nessa nova fase, o problema persiste, pois as substâncias poluentes permanecem intactas. No entanto, a utilização de processos físicos, como etapas de pré-tratamento ou polimento na fase final, desempenha uma importância fundamental na realização de um tratamento eficiente (Furlan, 2008).

4.1.2 Processos químicos

Os métodos químicos se baseiam na aplicação de substâncias químicas para decompor as substâncias poluentes. Entre os mais comuns, destacam-se a floculação, precipitação química, oxidação química, cloração, correção do pH (Sottoriva, 2002), adsorção e coagulação (Beltrame, 2000).

Esses processos têm sido objeto de pesquisa para o tratamento de efluentes resistentes, especialmente quando comparados aos métodos biológicos. Normalmente, eles são

complementares a outros tipos de tratamento, sejam eles de natureza física ou biológica (Furlan, 2008).

4.1.3 Processos biológicos

Os tratamentos biológicos são amplamente adotados devido à sua capacidade de tratar grandes volumes de efluentes a um custo relativamente baixo (Furlan, 2008). No entanto, embora esses processos tenham a capacidade de reduzir a DBO e a DQO de efluentes da indústria têxtil, a remoção de cor costuma ser limitada, uma vez que a maioria dos corantes não se decompõe facilmente (Beltrame, 2000; Furlan, 2008).

No tratamento biológico, microrganismos removem a matéria orgânica dissolvida, bem como parte da matéria inorgânica, na forma de nitrogênio e fósforo, juntamente com sólidos em suspensão (Beltrame, 2000). Os processos biológicos são subdivididos conforme via metabólica empregada pelo microrganismo, sendo categorizados como aeróbios, que requerem a presença de oxigênio, anóxicos, que sobrevivem na presença de pouca quantidade de oxigênio e aeróbios que vivem na ausência oxigênio (Gupta; Suhas, 2009).

Os processos anaeróbios englobam biodigestores, como leitos fluidizados e leitos de lodo, além de filtros biológicos e lagoas anaeróbias, entre outros métodos. Por outro lado, os processos aeróbios incluem sistemas como lodo ativado, lagoas aeróbias e filtros biológicos, sendo os processos aeróbios, em especial o sistema de lodo ativado, os mais comumente empregados no tratamento de efluentes industriais têxteis (Beltrame, 2000).

É importante destacar que as aplicações desses tratamentos são frequentemente restritas devido aos requisitos de espaço significativos e à influência das variações diurnas, bem como à toxicidade de certos produtos químicos (Furlan, 2008).

4.2 PROCESSOS FISÍCO-QUÍMICOS COM CARACTERÍSTICAS SUSTENTÁVEIS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS

4.2.1 Processo de adsorção

A adsorção é um processo no qual ocorre a transferência de massa da fase líquida ou gasosa para a superfície de um sólido devido a forças atrativas não compensadas na superfície do sólido. Há dois mecanismos de adsorção: fisissorção e quimissorção. Na fisissorção, não ocorrem ligações químicas (Furlan, 2008), é um processo reversível que permite a reutilização

do adsorvente empregado (Schimmel, 2008). Já na quimissorção, a substância a ser adsorvida reage com a superfície do adsorvente, resultando na formação de ligações químicas devido ao rearranjo dos elétrons entre o fluido e o sólido (Furlan, 2008), na prática é um método considerado irreversível e endotérmico (Schimmel, 2008).

A adsorção física é um método eficiente para tratar despejos industriais têxteis, e esse processo pode ser influenciado pela área superficial do adsorvente, características estruturais e morfológicas, interação adsorvente/corante, tamanho da partícula, pH, temperatura e tempo de contato. Dessa forma, a capacidade de remoção do adsorvente é dependente do grupo de corantes empregues (Pereira et al., 2001).

Os adsorventes são originados de matérias primas sintéticas ou naturais. O adsorvente precisa apresentar características que justifiquem o seu uso, tais como área superficial elevada, alta densidade, afinidade com o adsorbato, capacidade baixa de aglomeração, custo baixo, inércia química grande, perda de carga reduzida e resistência mecânica alta (Ruthven, 1984; Freitas, 2002).

Os tipos mais comuns de adsorventes são o carvão ativado em pó e o carvão ativado granulado por causa da sua capacidade alta de adsorção, mas o uso do carvão ativado é caro devido à sua produção comercial e à dificuldade de regeneração. Por isso, a busca por adsorventes mais econômicos e eficazes na remoção de cor continuam. Recentemente, foram alcançadas taxas de remoção de cor diversas por meio de materiais de menor custo, como resíduos de frutas, caroço de damasco, casca de noz, sabugo de milho, casca de amendoim, casca de arroz, resíduos de algodão e outros subprodutos agrícolas. Esses adsorventes podem ser aplicados diretamente ou modificados por diferentes métodos para aumentar sua área superficial e ajustar sua capacidade de adsorção (Írdemez, 2022).

Com o propósito de compreender o mecanismo de adsorção do corante no adsorvente, são realizados estudos cinéticos, termodinâmicos, de equilíbrio e isoterma. Além disso, diversas técnicas de análise de erros são empregadas para avaliar a eficácia da adsorção de diferentes tipos de adsorventes (Sonai, 2012; Bansal et al., 2020). A capacidade de adsorção desempenha um papel fundamental na expansão do processo de adsorção, desde a escala laboratorial até as etapas piloto e industriais (Agarwal et al., 2023).

Nos últimos anos, houve um aumento significativo na acumulação de resíduos sólidos urbanos provenientes de resíduos agrícolas. Portanto, diversos estudos têm se concentrado no aproveitamento desses resíduos. Eles apresentam elevados teores de carbono, possibilitando a produção de adsorventes com propriedades químicas excelentes, alta eficiência de adsorção e baixo teor de cinzas (Solih, 2023).

4.2.2 Processo de coagulação/floculação

O processo de coagulação envolve a adição de um coagulante, responsável por neutralizar as cargas elétricas negativas presentes nos coloides. Isso reduz o potencial de repulsão entre as partículas, levando-as a se aglutinarem. Em seguida, ocorre a floculação, que pode ou não envolver o uso de um floculante, esse processo organiza as partículas em aglomerados maiores e mais densos, tornando possível sua posterior remoção por meio de filtração e/ou decantação (Zhang, 2018).

Os processos de coagulação e floculação são influenciados por diversos fatores, incluindo o tipo de coagulante e dosagem, floculante e dosagem, o tempo, a velocidade de mistura tanto na fase de mistura rápida e lenta e as características do efluente (Joaquin, Nirmala, Kanakasabai; 2020). Além disso, a turbidez, a temperatura e as condições de mistura também podem influenciar esses processos. A turbidez mais elevada exige menor quantidade de coagulante devido ao aumento das chances de colisões entre partículas. Quanto mais baixa a temperatura, maior a viscosidade e menor a velocidade de sedimentação. As condições de mistura devem ocorrer em duas etapas: uma rápida para dispersar uniformemente o coagulante e promover a colisão entre partículas, e seguida por outra lenta para permitir o crescimento dos flocos (Beltrame, 2000).

A seleção do coagulante é determinada pelas características das águas a serem tratadas, dos custos envolvidos e disponibilidade do produto. A dosagem deve ser estabelecida por meio de testes específicos com a água em questão, sendo um dos métodos o Jar-test utilizados para esse fim (Beltrame, 2000). Em alguns casos, o uso de auxiliares de coagulação pode ser necessário para otimizar a eficiência do tratamento (Gomes et al., 2015).

Os coagulantes podem ser classificados como inorgânicos e orgânicos, sendo que o último pode ser dividido entre coagulantes naturais e sintéticos. Os coagulantes inorgânicos ou são chamados também de coagulantes químicos, empregados no tratamento são cloreto férrico, sulfato de alumínio, cal e cloreto de poli alumínio (Lima; Almeida; Vincentini, 2020). Apesar da eficiência dessas substâncias serem comprovadas, elas não são biodegradáveis, podendo gerar problemas ambientais e de saúde pública (Heller; Pádua, 2016). A ingestão de alumínio em alta concentração, por exemplo, pode provocar em doenças neuropáticas como a doença de Alzheimer (Okolo et al., 2015).

Já os coagulantes orgânicos naturais ou também nomeados polieletrólitos utilizados no tratamento de efluentes são *Moringa oleifera*, quitosana, *Prosopis juliflora*, *Jatropha Curcas*,

goma guar, *Clidemia angustifolia*, *Calotropis procera* e *Cactus latifaria*, são principalmente polissacarídeos ou proteínas, apresentando vantagens por serem biodegradáveis (Lima; Almeida; Vincentini, 2020). Além disso, o lodo é facilmente biodegradável e menos volumoso, chegando a apenas 20,0 a 30,0% do que é gerado pelos coagulantes metálicos, como os sais de alumínio (Graham; Gang; Watts, 2008; Saranya; Ramesh; Gandhimathi, 2013). Também é possível fazer o aproveitamento do subproduto (lodo) gerado no processo, ele pode ser usado como fertilizante e condicionador de solo na agricultura (Muniz, Borges, Silva; 2020). Os polímeros naturais, geralmente, são obtidos sem a necessidade de passar por processos químicos complexos, sendo viável economicamente, assim como podem gerar menos impactos de ordem ambiental e até mesmo de saúde pública quando comparados aos inorgânicos (Di Bernardo, 2000; Vishali; Karthikeyan, 2014). E os coagulantes naturais também são empregues em associação com coagulantes inorgânicos pois podem aumentar a eficiência do tratamento e reduzir os impactos. Nesse contexto, os coagulantes naturais surgem como alternativa aos inorgânicos (Lima; Almeida; Vincentini, 2020), sendo vantajosos por serem de custo baixo e de fonte farta (Adewuyi; Adewumi, 2018).

4.3 APLICAÇÃO DOS PROCESSOS FÍSICO-QUÍMICOS COM CARACTERÍSTICAS SUSTENTÁVEIS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS

4.3.1 Adsorção

A tabela 2 apresenta as respectivas publicações agrupadas demonstrando as informações sobre os artigos incluídos, tais como referência, título, local de realização do estudo, e nome da revista/periódico. Na tabela 3 são fornecidos dados sobre a referência, o efluente tratado, o adsorvente utilizado, a sua dosagem ideal, e as eficiências de remoção de determinados parâmetros. Já a tabela 4 mostra as condições ótimas de tratabilidade dos ensaios de adsorção, incluindo o tempo de contato, pH ideal, temperatura, capacidade de adsorção e se o adsorvente foi ativado.

Apenas uma minoria significativa, representando 20,0% dos estudos analisados, optou por utilizar efluentes reais em suas pesquisas. Estes trabalhos, conduzidos por Agarwal et al. (2023), Costa et al. (2021), Heylmann et al. (2021), Khellouf et al. (2020), e Neves et al. (2022), merecem destaque por sua abordagem mais próxima da realidade industrial. Apenas Neves et al. analisou efluente sintético e real na sua pesquisa. Pode-se concluir que poucos trabalhos utilizam efluentes reais (Agarwal et al., 2023). E a maioria das pesquisas foram desenvolvidas

em escala pequena, restringindo-se a experimentos de laboratório. Contudo, nas operações diárias de tratamento de águas residuais têxteis, o processo é contínuo. Por isso, é fundamental investigar a prática de adsorventes na remoção de corantes (Solih et al., 2023).

A análise dos trabalhos revela que a grande maioria, representando 80,0% das pesquisas, optou por empregar efluentes sintéticos contendo corantes em seus estudos. No entanto, grande parte desses sistemas são únicos, contendo apenas um tipo de corante. E esses sistemas podem não corresponder aos efluentes têxteis reais que geralmente apresentam uma variedade de poluente e características complexas (Sharma et al., 2018).

Além disso, é relevante destacar que 38,1% dos estudos que utilizaram efluentes sintéticos empregaram o mesmo corante, o corante azul de metileno. Os estudos de Barbosa et al. (2022) e Neves et al. (2022) trabalharam com o corante remanzol amarelo ouro. A escolha por esses dois tipos de corante é devido a sua ampla exploração na literatura (Low, Tan; 2018). Ao todo, foram empregados 17 corantes sintéticos diferentes e a concentração desses corantes nas águas residuárias analisadas estava na faixa de 5 a 500 mg/L.

Giordono et al. (2021), Neves et al. (2022), Solih et al. (2023), Unugul e Nigiz (2020) e Wakkal et al. (2019) analisaram dois tipos de corantes em seus trabalhos. Unugul e Nigiz (2020) trabalharam com os corantes azul de metileno e laranja de metila. No entanto, para o corante laranja de metila não foram realizados estudos de adsorção apropriados pois o adsorvente utilizado, casca de mexerica, apresentou ser mais eficiente na remoção de azul de metileno (Unugul, Nigiz; 2020).

A análise dos estudos revela que a concentração média dos corantes utilizados nos efluentes sintéticos foi de 93,8 mg/L, e a concentração mais frequentemente empregada pelos pesquisadores foi de 100 mg/L. O trabalho de Raji et al. (2022) se destacou por utilizar a maior concentração, 500 mg/L, ao empregar o corante aniônico laranja de metila, nesse caso, a semente de moringa foi utilizada como adsorvente na concentração de 1000 mg/L, resultando em uma remoção de cor de 84,0%. Por outro lado, o estudo de Unugul e Nigiz (2020) apresentou a menor concentração, que foi de apenas 5 mg/L, utilizando o corante azul de metileno e a casca de mexerica como adsorvente na concentração de 5000 mg/L.

Os estudos analisados apresentaram uma variedade significativa de adsorventes utilizados. Diversos materiais foram empregados, incluindo folhas de ardo e eucalipto em estudos conduzidos por Bansal et al. (2020) e Kapoor e Sivamani (2021), respectivamente. Também foram utilizados caroços de frutas, como os de acerola, pêssigo e abacate, conforme os estudos de Barbosa et al. (2022), Heylmann et al. (2021) e Munyegaju et al. (2022). Costa et al. (2021) e Yadav et al. (2021) utilizaram o mesmo adsorvente, proveniente do bagaço da cana-

de-açúcar. As cascas de diferentes frutas, como abacate, soja, arroz, limão e mexerica, foram empregadas como adsorventes em estudos conduzidos por Georgin et al. (2017), Giordano et al. (2021), Malik et al. (2021), Neves et al. (2022) e Unugul e Nigiz (2020), respectivamente. A semente de abóbora foi utilizada por İrdemez et al. (2022), enquanto Raji et al. (2022) optaram pela semente de moringa oleífera. Outros adsorventes menos convencionais foram obtidos a partir de matérias-primas como berinjela, cone cipreste, madeira de algodão-bravo, cachos de frutos de dendezeiro, trigo, beterraba, quiabo e tamareira. Dessa forma, a eficiência desses adsorventes pode variar de acordo com suas características e origens e de acordo com o tipo de corante utilizado (Pereira et al., 2001). Também, é necessário considerar as propriedades do efluente e as condições de tratamento, sendo essencial para alcançar resultados eficientes (FIEMG, 2014).

Os estudos analisados apresentaram uma ampla variação das concentrações para os adsorventes utilizados. A concentração mais alta registrada foi de 15.000 mg/L, empregada por Costa et al. (2021) ao utilizar o bagaço de cana-de-açúcar, alcançando remoções de cor de 93,0%. Por outro lado, a menor concentração de adsorvente foi de 66 mg/L, conforme o estudo de Shanmugarajah et al. (2019), que utilizou cachos de frutos vazios de dendezeiro e obteve uma eficiência significativa de remoção de cor (88,0%).

A concentração média de adsorvente entre os estudos foi de 2900,4 mg/L, e a concentração mais comumente utilizada foi de 2000 mg/L. A diferença na concentração de adsorventes utilizados nos trabalhos pode ser explicada devido a saturação do adsorvente pelo corante. A adição na quantidade de adsorvente aumentou a eficiência de remoção do corante, devido ao aumento dos sítios ativos disponíveis na superfície do adsorvente. No entanto, a remoção do corante parou quando o equilíbrio de adsorção foi atingido. A adição de mais adsorvente não resultou em um aumento adicional na remoção do corante, devido à saturação dos sítios ativos. Assim, a dosagem ideal é determinada (Munyegaju et al., 2022).

O único trabalho que utilizou dois adsorventes naturais foi o Solih et al. (2023) que usou a casca de banana em conjunto com o caroço de abacate (800 mg/L) para tratar um efluente sintético, contendo os corantes catiônicos remanzol brilhante azul R e vermelho reativo 120 (100 mg/L).

Apenas três estudos avaliaram a DQO, todos utilizando efluentes têxteis reais. Agarwal et al. (2023) alcançou uma notável remoção de 91,9% da DQO ao empregar um adsorvente derivado da palha de trigo (2000 mg/L) para tratar um efluente de tingimento de algodão. Em contraste, Costa et al. (2021) obteve uma remoção de apenas 55,0% da DQO usando um adsorvente obtido do bagaço da cana (15000 mg/L) para tratar um efluente de lavagem de jeans.

Khellouf et al. (2020) registrou uma remoção de 19,0% da DQO ao empregar um adsorvente derivado de cone de cipreste (2000 mg/L). Além disso, Khellouf et al. (2020) foram os únicos a avaliar a turbidez, com o cone de cipreste alcançando uma remoção de 67,1% deste parâmetro.

Outro estudo que analisou um parâmetro diferente foi o de Tejada-Tovar et al. (2023). Nesse estudo, o cromo hexavalente foi investigado em uma concentração de 100 mg/L, e o farelo de trigo (3000 mg/L) foi utilizado como adsorvente, resultando na remoção de 85,1% desse poluente. A análise desse parâmetro é relevante pois é comumente encontrado metal na composição de efluentes têxteis (Alves et al., 2019).

A média da remoção de cor foi significativamente alta, e foi de 87,0%. Todos os trabalhos conseguiram uma remoção de cor superior a 55,0%, demonstrando a eficácia dos adsorventes provenientes de resíduos agroindustriais nessa aplicação. E 55,5% dos estudos alcançaram uma remoção de cor superior a 90,0%, mostrando a eficiência desses adsorventes. No entanto, o estudo de Barbosa et al. (2022), que usou um efluente sintético contendo o corante remanzol amarelo ouro (60 mg/L) e um adsorvente derivado do caroço de acerola (212,5 mg/L), apresentou a menor remoção de cor, 56,0%.

O estudo de Unugul, Nigiz (2020) se destaca ao usar um efluente sintético com o corante azul de metileno (5 mg/L) e uma alta dosagem de casca de mexerica como adsorvente (5000 mg/L), obtendo uma remoção de cor de 99,8%. A quantidade de adsorvente utilizada foi consideravelmente maior, sendo mil vezes superior à concentração de corante.

Por outro lado, o estudo de Giordano et al. (2021) utilizou uma concentração de corante amarelo reativo 145 de 270 mg/L e uma dosagem de adsorvente de 333 g/L, o que representa uma proporção de 1,2 entre o adsorvente e a quantidade de corante. Embora essa proporção seja menor em comparação com outros estudos, ainda assim conseguiu uma remoção eficaz de cor (96,5%). Isso sugere que diferentes proporções de adsorvente podem ser eficazes, dependendo das características do adsorvente e do corante específicos (Pereira et al., 2001).

Dos estudos analisados, 24,0% foram conduzidos na Índia, 20,0% no Brasil, 20,0% na Turquia e 8,0% na Malásia, enquanto outros países, como Argélia, Paquistão, Ruanda, Marrocos, Bangladesh e Colômbia, contribuíram com 28,0% das pesquisas. Esses estudos foram conduzidos em países menos desenvolvidos e abrangem regiões na Ásia, América do Sul e África.

O menor tempo de contato dos estudos analisados foi de 10 min empregue no estudo de Heylmann et al. (2021), enquanto o maior tempo foi de 600 min (Üner et al., 2017). O tempo médio de contato foi de 132,3 min. Já o tempo de contato mais utilizado pelos autores foi de 60

min. O tempo de contato desempenha um papel fundamental na definição de parâmetros cinéticos de adsorção (Bansal et al., 2020).

O menor pH foi de 2,0, e esse valor também foi o mais utilizado nos estudos, mostrando que a maioria dos ensaios de adsorção ocorreram em meio ácido, já o maior pH foi de 11, utilizado na pesquisa de Khellouf et al. (2020). Segundo Kannaujiya et al. (2021), o pH da solução é um importante fator a ser considerado no processo de adsorção.

A menor temperatura foi de 16,6°C empregado por Solih et al. (2023). O valor utilizado nos trabalhos foi de 25°C. E a maior temperatura foi de 200 °C, utilizado na pesquisa de Tejada-Tovar et al. (2023). De acordo com Kapoor e Sivamani (2021), o aumento da adsorção em temperaturas elevadas pode ser atribuído ao incremento na disponibilidade de sítios na superfície, da elevada porosidade do adsorvente e do aumento do volume de poros.

A maior capacidade de adsorção foi de 434,8 mg/g encontrada na pesquisa de Agarwal et al. (2023), utilizando a palha de trigo como adsorvente para tratar um despejo têxtil real. Já a menor capacidade de adsorção (3,2 mg/g) foi achada no trabalho de Kapoor e Sivamani (2021), eles empregaram a folha de eucalipto para tratar um efluente sintético contendo corante catiônico vermelho direto 31.

Bansal et al. (2020), Giordono et al. (2021), İrdemez et al. (2022), Mathivanan et al. (2021) e Solih et al. (2023) não utilizaram métodos de ativação nos adsorventes estudados. Porém, de acordo com Barbosa et al. (2022) processos de ativação são utilizados para originar compostos adsorventes mais eficientes.

Tabela 2: Artigos selecionados sobre adsorção, demonstrando a referência, título do artigo, local de desenvolvimento do trabalho e periódico publicado.

| Referência | Título | País | Periódico |
|--------------------------|---|-------------|---|
| Agarwal et al. (2023) | <i>Removal of COD and color from textile industrial wastewater using wheat straw activated carbon: an application of response surface and artificial neural network modeling</i> | Índia | <i>Environmental Science and Pollution Research</i> |
| Bansal et al. (2020) | <i>Methylene blue dye removal from wastewater using ailanthus excelsa roxb as adsorbent</i> | Índia | <i>Water Conservation Science and Engineering</i> |
| Barbosa et al. (2022) | <i>Adsorption of remazol golden yellow dye from aqueous solution by acerola core: kinetic and equilibrium studies</i> | Brasil | Ciência e Natura |
| Costa et al. (2021) | <i>Preparation of activated carbon from sugarcane bagasse and removal of color and organic matter from real textile wastewater</i> | Brasil | <i>Water, Air, & Soil Pollution</i> |
| Georgin et al. (2017) | <i>Removal of procion red dye from colored effluents using H₂SO₄-/HNO₃-treated avocado shells (Persea americana) as adsorbent by using soybean hull as adsorbent</i> | Brasil | <i>Environmental Science and Pollution Research</i> |
| Giordono et al. (2021) | <i>A new alternative and efficient low-cost process for the removal of reactive dyes in textile wastewater</i> | Argentina | <i>Water, Air, & Soil Pollution</i> |
| Heylmann et al. (2021) | <i>Production, characterization, and application of activated charcoal from peach kernel in textile effluent treatment</i> | Brasil | Engenharia Sanitária e Ambiental |
| İrdemez et al. (2022) | <i>Comparison of bomaplex blue cr-1 removal by adsorption using raw and activated pumpkin seed shells</i> | Turquia | <i>Ecological Chemistry and Engineering S</i> |
| Kannaujiya et al. (2021) | <i>Extensive analyses of mass transfer, kinetics, and toxicity for hazardous acid yellow 17 dye removal using activated carbon prepared from waste biomass of Solanum melongena</i> | Índia | <i>Biomass Conversion and Biorefinery</i> |
| Kapoor e Sivamani (2021) | <i>Exploring the potential of Eucalyptus citriodora biochar against direct red 31 dye and its phytotoxicity assessment</i> | Índia | <i>Biomass Conversion and Biorefinery</i> |
| Khellouf et al. (2020) | <i>A new activated carbon prepared from cypress cones and its application in the COD reduction and colour removal from industrial textile effluent from industrial textile effluent</i> | Argélia | <i>Environment, Development and Sustainability</i> |
| Malik et al. (2021) | <i>Adsorption study of orange G dye on thermally modified rice husk from aqueous medium</i> | Paquistão | <i>Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research</i> |

| | | | |
|-----------------------------|--|------------|--|
| Mathivanan et al. (2021) | <i>Ipomoea carnea: a novel biosorbent for the removal of methylene blue (MB) from aqueous dye solution: kinetic, equilibrium and statistical approach</i> | Índia | <i>International Journal of Phytoremediation</i> |
| Munyejaju et al. (2022) | <i>Textile effluent treatment using avocado seeds based activated carbon</i> | Ruanda | <i>Journal of Applied Research in Water and Wastewater</i> |
| Neves et al. (2022) | <i>Biosorption textile wastewater employing lemon peel derivatives: data analysis and kinetic modeling</i> | Brasil | <i>Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental</i> |
| Raji et al. (2022) | <i>Efficient adsorption of methyl orange on nanoporous carbon from agricultural wastes: characterization, kinetics, thermodynamics, regeneration and adsorption mechanism</i> | Marrocos | <i>Journal of Composites Science</i> |
| Roy et al. (2022) | <i>Synthesis, characterizations, and RSM analysis of Citrus macroptera peel derived biochar for textile dye treatment</i> | Bangladesh | <i>South African Journal of Chemical Engineering</i> |
| Shanmugarajah et al. (2019) | <i>Valorization of palm oil agro-waste into cellulose biosorbents for highly effective textile effluent remediation</i> | Malásia | <i>Journal of Cleaner Production</i> |
| Solih et al. (2023) | <i>Carbonaceous material from agricultural waste for treating colored wastewater: characterization and adsorption performance evaluations</i> | Malásia | <i>Chemical Papers</i> |
| Tejada-Tovar et al. (2023) | <i>Removal of metals and dyes in water using low-cost agro-industrial waste materials</i> | Colômbia | <i>Applied Sciences</i> |
| Türk et al. (2022) | <i>Removal of basic yellow 51 dye by using ion exchange resin obtained by modification of byproduct sugar beet pulp</i> | Turquia | <i>Sugar Tech</i> |
| Üner et al. (2017) | <i>Adsorptive removal of rhodamine B with activated carbon obtained from okra wastes</i> | Turquia | <i>Chemical Engineering Communications</i> |
| Unugul e Nigiz (2020) | <i>Preparation and characterization an active carbon adsorbent from waste mandarin peel and determination of adsorption behavior on removal of synthetic dye solutions</i> | Turquia | <i>Water, Air, & Soil Pollution</i> |
| Wakkel et al. (2019) | <i>Textile wastewater treatment by agro-industrial waste: equilibrium modelling, thermodynamics and mass transfer mechanisms of cationic dyes adsorption onto low-cost lignocellulosic adsorbent</i> | Tunísia | <i>Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers</i> |
| Yadav et al. (2021) | <i>Biosorption of methylene blue dye from textile-industry wastewater onto sugarcane bagasse: response surface modeling, isotherms, kinetic and thermodynamic modeling</i> | Índia | <i>American Society of Civil Engineers</i> |

Fonte: a autora (2023).

Tabela 3: Artigos selecionados contendo informações sobre características do efluente, adsorventes e eficiência de remoção.

| Referência | Tipo de Efluente | Característica do efluente | Concentração do corante (mg/L) | Adsorvente - Resíduo | Dosagem de adsorvente mg/L | Eficiência de remoção (%) |
|--------------------------|------------------|---|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------|---|
| Agarwal et al. (2023) | Real | Tingimento de algodão - Efluente diluído em 10% | - | Palha de trigo | 2000 | Cor (94,5); DQO (91,9) |
| Bansal et al. (2020) | Sintético | Corante catiônico azul de metileno | 100 | Folhas de ardu | 5000 | Cor (68,0) |
| Barbosa et al. (2022) | Sintético | Corante remanzol amarelo ouro | 60 | Caroço de acerola | 212,5 | Cor (56,0) |
| Costa et al. (2021) | Real | Lavanderia de jeans saída tanque de equalização | - | Bagaço da cana de açúcar | 15000 | Cor (93,0); DQO (55,0) |
| Georgin et al. (2017) | Sintético | Corante procion vermelho | 100 | Casca de abacate | 300 | Cor (82,0) |
| Giordano et al. (2021) | Sintético | Corante amarelo reativo 145 (AR145) e azul reativo 21 (AR21) | AR145 (270); AR21 (160) | Casca de soja | 333 | Cor (AR145 96,5; AR21 94,4) |
| Heylmann et al. (2021) | Real | Corantes aniônico preto reativo 5 (PR5) e o catiônico azul de metileno (AM) | - | Caroço de pêssego | 10000 | Cor (AM 93,0; PR5 60,0) |
| İrdemez et al. (2022) | Sintético | Corante bomaplex blue CR-L | 100 | Casca da semente de abóbora | 10000 | Cor (73,0) |
| Kannaujiya et al. (2021) | Sintético | Corante amarelo ácido 17 | 15 | Planta de beringela | 2000 | Cor (Acima de 97,0) |
| Kapoor e Sivamani (2021) | Sintético | Corante aniônico vermelho direto 31 | 40 | Folha de eucalipto | 8000 | Cor (97,0) |
| Khellouf et al. (2020) | Real | Após pré-tratamento | - | Cone cipreste | 2000 | Cor (80,4); DQO (19,0); turbidez (67,1) |
| Malik et al. (2021) | Sintético | Corante laranja G | 80 | Casca de arroz | 2000 | Cor (57,6) |
| Mathivanan et al. (2021) | Sintético | Corante catiônico azul de metileno | 30,48 | Madeira do algodão-bravo | 3100 | Cor (83,9) |

| | | | | | | |
|-----------------------------|------------------|---|------------------------|---------------------------------------|---|---|
| Munyegeju et al. (2022) | Sintético | Corante sal sódico laranja 2 | 10 | Caroço de abacate | 500 | Cor (96,5) |
| Neves et al. (2022) | Sintético e real | Corantes (azul metileno (AM) e remanzol amarelo (RYG)) e Efluente bruto | - | Casca de limão | Corantes (AM 1600; RYG 1200); Real (1600) | Cor (Sintético (AM 100,0; RYG 82,2); Real 94,2) |
| Raji et al. (2022) | Sintético | Corante azo aniônico laranja de metila | 500 | Semente de moringa | 1000 | Cor (84,0) |
| Roy et al. (2022) | Sintético | Corante catiônico azul de metileno | 20 | Casca de mexirica | 200 | Cor (85,5) |
| Shanmugarajah et al. (2019) | Sintético | Corante catiônico azul de metileno | 50 | Cachos de frutos vazios de dendezeiro | 66 | Cor (88,0) |
| Solih et al. (2023) | Sintético | Corantes catiônicos remanzol brilhante azul R e vermelho reativo 120 | 100 | Casca de banana + caroço de abacate | 800 | Cor (70,0) |
| Tejada-Tovar et al. (2023) | Sintético | Corante catiônico azul de metileno (AM) e cromo hexavalente (Cr (VI)) | AM (40), Cr (VI) (100) | Farelo de trigo | 3000 | Cor (97,4); Cr(VI) (85,1) |
| Türk et al. (2022) | Sintético | Corante básico amarelo 51 | 100 | Polpa de beterraba | 1000 | Cor (94,0) |
| Üner et al. (2017) | Sintético | Corante rodamina B | 100 | Quiabo | 800 | Cor (99,6) |
| Unugul e Nigiz (2020) | Sintético | Corante catiônico azul de metileno (AM) e laranja de metila (LM) | AM (5) | Casca de mexerica | AM (5000) | Cor (99,8) |
| Wakkel et al. (2019) | Sintético | Corantes violeta básico 3 (VB3) e vermelho básico 2 (VB2) | 60 | Pedras de tamareira | 1000 | Cor (VB3 98,0; VB22 91,0) |
| Yadav et al. (2021) | Sintético | Corante catiônico azul de metileno | 30 | Bagaço da cana-de-açúcar | 1500 | Cor (98,4) |

Fonte: a autora (2023).

Tabela 4: Condições ideais do ensaio de tratabilidade de adsorção.

| Referência | Tempo de contato (min) | pH ideal | Temperatura (°C) | Capacidade de adsorção (mg/g) | Ativação |
|-----------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------------|----------|
| Agarwal et al. (2023) | 80 | 7,0 | 40,0 | 434,8 | Sim |
| Bansal et al. (2020) | 180 | 10,0 | 27,0 | 18,8 | Não |
| Barbosa et al. (2022) | 360 | 2,0 | 25,0 | 119,4 | Sim |
| Costa et al. (2021) | 60 | 6,0 | - | - | Sim |
| Georgin et al. (2017) | 60 | 6,5 | 25,0 | 212,6 | Sim |
| Giordano et al. (2021) | AR145 e AR21 (300) | AR145 e AR21 (2,0) | AR145 e AR21 (25,0) | AR145 (87,0) AR21 (149,0) | Não |
| Heylmann et al. (2021) | 10 | 4,0 | 40,0 | PR5 (73,2); AM (50,1) | Sim |
| İrdemez et al. (2022) | 60 | 2,0 | 30,0 | 7,3 | Não |
| Kannaujiya et al. (2021) | 80 | 5,0 | 25,0 | 93,5 | Sim |
| Kapoor e Sivamani (2021) | 30 | 2,0 | 45,0 | 3,2 | Sim |
| Khellouf et al. (2020) | 90 | 11,0 | 50,0 | - | Sim |
| Malik et al. (2021) | 60 | 4,0 | 30,0 | 23,0 | Sim |
| Mathivanan et al. (2021) | 160 | 7,0 | 49,0 | 39,4 | Não |
| Munyegaju et al. (2022) | 60 | 3,0 | 40,0 | 37,8 | Sim |
| Neves et al. (2022) | 360 | 2,0 | 25,0 | 9,9 | Sim |
| Raji et al. (2022) | 125 | 5,0 | 25,0 | 367,8 | Sim |
| Roy et al. (2022) | 75 | 8,0 | 25,0 | 139,7 | Sim |
| Shanmugarajah et al. (2019) | 20 | 10,0 | 30,0 | 50,9 | Sim |
| Solih et al. (2023) | 30 | 10,0 | 16,6 | 46,1 | Não |
| Tejada-Tovar et al. (2023) | - | MB (10,0); Cr(VI) (2,0) | 200,0 | MB (90,7); Cr (VI) (186,4) | Sim |
| Türk et al. (2022) | 120 | 8,0 | 50,0 | 200 | Sim |
| Üner et al. (2017) | 600 | Original da solução | 25,0 | 321,5 | Sim |
| Unugul e Nigiz (2020) | 180 | 6,9 | 25,0 | 196,1 | Sim |
| Wakkal et al. (2019) | 15 | VB3 (7,3); VB2 (7,7) | 35,0 | VB3 (138,0); VB2 (93,0) | Sim |
| Yadav et al. (2021) | 60 | 6,0 | 35,0 | - | Sim |

Fonte: a autora (2023).

Em suma, a análise dos estudos sobre a aplicação de adsorventes provenientes de resíduos agroindustriais na remoção de corantes de efluentes têxteis revela uma diversidade significativa nas abordagens metodológicas adotadas. A minoria dos estudos optou por utilizar efluentes reais, destacando-se pela aproximação com a realidade industrial. A predominância do uso de efluentes sintéticos, muitas vezes limitados a um único tipo de corante, pode não representar adequadamente a complexidade dos efluentes têxteis reais. A variedade de adsorventes e concentrações utilizadas evidencia a importância de encontrar a dosagem adequada para cada tipo de adsorvente. A eficácia geral dos adsorventes na remoção de corantes sugere um potencial promissor para esses materiais na aplicação prática. Contudo, a necessidade de considerar a diversidade de poluentes, características do efluente e condições operacionais destaca a importância de futuras pesquisas direcionadas a uma abordagem mais representativa e padronizada para avaliar a eficiência desses adsorventes em escala industrial.

4.3.2 Coagulação/Floculação

Na tabela 5, são listadas as informações das publicações que incluem referências, títulos, locais de realização do estudo e nomes das revistas/periódicos correspondentes. A tabela 6 apresenta informações sobre a referência, o tipo de efluente tratado e as suas características, o coagulante/floculante usado, a dosagem ótima e as remoções obtidas. E na tabela 7, são destacados os resultados do ensaio de tratabilidade do efluente, incluindo o pH ideal do efluente, as etapas de coagulação (mistura rápida), floculação (mistura lenta), sedimentação e a possível aplicação de tratamento químico do coagulante.

Em relação a origem dos efluentes dos estudos, destaca-se que a maioria (56,0%) utilizou amostras de efluentes reais coletadas diretamente de fábricas têxteis. Sendo que uma parcela de 14,3% foram de efluentes provenientes de lavanderias industriais, conforme exemplificado pelos trabalhos de Dotto et al. (2019) e Roveli et al. (2020). Além disso, 7,1% dos estudos abordaram efluentes de lavagem de jeans, como mostrado na pesquisa de Rambe et al. (2018). No entanto, é importante destacar que a maioria dos trabalhos não forneceu informações detalhadas sobre a localização específica da coleta dos efluentes dentro das plantas industriais e de qual o processo que o efluente era proveniente.

Ainda sobre a origem dos efluentes nos estudos, 44,0% dos autores optaram por utilizar efluentes sintéticos. Dentro desse grupo, Gautam et al. (2020) e Otálora et al., (2022), não empregaram corantes nos efluentes sintéticos. Apenas dois estudos (18,2%), os de Kristianto et al. (2019) e Kristanda et al. (2020), escolheram o mesmo corante, o vermelho congo, para

compor o efluente sintético. Além disso, Correa-Mahecha et al. (2023) foi o único estudo que avaliou dois tipos de corantes diferentes: o azo vermelho ácido e o amarelo ácido. No total, foram utilizados 10 corantes diferentes nos estudos analisados.

As concentrações de corante compreenderam a faixa de 10 a 300 mg/L. Gaayda et al. (2022) e Kristianto et al. (2018) empregaram as concentrações mais baixas de corantes, utilizando os corantes amido preto 10B e drimarene vermelho escuro, respectivamente. Por outro lado, Kolhe e Ingole (2020) utilizaram a maior concentração de corante, empregando o corante vermelho básico 5001 B.

Analisando os coagulantes utilizados nos estudos, observa-se que 64,0%, são derivados de sementes, com um total de 9 tipos diferentes de sementes empregadas. Dentre esses coagulantes de origem semente, chama a atenção o fato de que 43,7% deles são provenientes da semente da moringa oleífera, sugerindo uma preferência considerável por essa fonte específica. Além da moringa oleífera, outras sementes utilizadas incluem a laranja, a Cassia fistula, a planta de noz, a leucena, o mamão, a tanchagem, a bucha e a mostarda branca.

É interessante notar que 16,0% dos autores optaram por utilizar resíduos agroindustriais como coagulantes. Esses resíduos incluíam materiais como café, semente de Cassia fistula, casca de berinjela e casca de cacto, conforme demonstrado nos estudos de Correa-Mahecha et al. (2023), Dao et al. (2021), Methneni et al. (2020) e Otálora et al. (2022). Já 16,0% dos trabalhos escolheram o cacto como componente em seus tratamentos de efluentes. Adachi et al. (2023) utilizou o cacto como floculante, enquanto nos demais estudos ele foi empregado como coagulante. Outros 12,0% dos trabalhos empregaram cascas como coagulantes, abrangendo cascas de berinjela, noz e cacto, conforme relatado por Methneni et al. (2020), Okey-Onyesolu et al. (2022) e Otálora et al. (2022), respectivamente. Além desses materiais, foram utilizados no tratamento de efluentes a azinheira (Adachi et al., 2023), a babosa (Kolhe, Ingole; 2020), o feijão (Obiora-Okafo et al., 2020) e o inhame (Yusoff et al., 2021), demonstrando uma abordagem diversificada para a escolha de coagulantes naturais nos estudos analisados.

Em relação à forma de aplicação dos coagulantes nos estudos analisados, observa-se que 24,0% dos trabalhos optaram por utilizar uma solução para o tratamento do efluente. Esses estudos, conduzidos por Adachi et al. (2023), Kolhe e Ingole (2020), Kristianto et al. (2019), Rambe et al. (2018), Redha (2020) e Roveli et al. (2020), apresentaram dosagem variando de 10 ml/L a 1250 ml/L, sendo a maior dose utilizada por Rambe et al (2018) e a menor utilizada por Kristianto et al. (2019) e Roveli et al. (2021).

Por outro lado, a maioria dos estudos, representando 80,0% do total, empregou coagulantes na forma de pó. A concentração média desses coagulantes em pó foi de 2709 mg/L,

sendo que a concentração mais comum adotada pelos autores foi de 800 mg/L. Vale destacar que um dos estudos, conduzido por Muhammad et al. (2021), utilizou uma concentração excepcionalmente alta de 24.000 mg/L de semente de moringa oleífera para tratar um efluente real. Além disso, foi identificado que a menor concentração de coagulante em pó, 12 mg/L, foi empregada por Otálora et al. (2022) ao utilizar resíduo de casca de cacto para tratar um efluente sintético desprovido de corante. É observado um aumento na quantidade de remoção de determinados parâmetros até uma dose específica na presença de coagulantes, a seguir essa remoção diminui na presença de coagulantes. Esses resultados podem ser atribuídos às características físicas e químicas do coagulante, que exercem um efeito significativo no processo de remoção (Mahmoudabadi et al., 2019).

Os estudos que empregaram dois adsorventes naturais incluíram Adachi et al. (2023), Kolhe e Ingole (2020) e Obiora-Okafo et al. (2019). No estudo de Adachi et al. (2023), a bolota de azinheira (500 mg/L) atuou como coagulante, enquanto o cacto (15 ml/L) foi empregue como floculante no tratamento de um efluente real. Kolhe e Ingole (2020) empregaram o cacto (20 ml/L) e a babosa (100 ml/L) como floculantes para tratar um efluente sintético contendo o corante vermelho básico 5001 B (44,1 mg/L). Por sua vez, Obiora-Okafo et al. (2019) utilizaram feijão-frade e abóbora canelada para tratar um efluente sintético contendo o corante crystal ponceau 6R (100 mg/L).

A dosagem de coagulante é um dos parâmetros mais relevantes a ser considerado nos ensaios de tratabilidade, e é importante para determinar o desempenho no processo de coagulação (Mahmoudabadi et al., 2019). Uma dosagem muito baixa ou muito alta resulta em resultados insatisfatórios do processo. Dessa forma, é imprescindível determinar a dosagem ideal para reduzir os custos de dosagem e minimizar a formação de lodos (Muhammad et al., 2021).

Apenas cinco dos trabalhos revisados não abordaram a análise do parâmetro cor em seus estudos. Akpomie et al. (2018) e Muhammad et al. (2021) se concentraram na avaliação da remoção de DQO e turbidez em amostras de efluentes reais. Gautam et al. (2020) realizou análises voltadas para a remoção de turbidez em um efluente bruto. Padhiyar et al. (2020) investigou a eficiência na remoção de DQO, enquanto Rambe et al. (2018) abordou parâmetros como DQO, SST e turbidez em seus estudos, ambos conduzidos utilizando amostras de efluentes reais.

O estudo de Okey-Onyesolu et al. (2022) usando casca de noz bambara alcançou uma faixa baixa de remoção de turbidez de 20,0% a 45,0% no tratamento de um efluente sintético. Padhiyar et al. (2020) obtiveram remoções relativamente baixas de DQO, totalizando 34,0%,

ao empregar sementes de moringa oleífera no tratamento de um efluente real. Da mesma forma, Akpomie et al. (2018) também não atingiu resultados muito satisfatórios ao usar sementes de laranja no tratamento de um efluente real. É válido salientar, conforme Redha (2020), alguns estudos que aplicaram coagulantes/floculantes naturais obtiveram resultados relativamente eficazes em efluentes sintéticos, entretanto, a eficiência de remoção foi limitada quando aplicados a efluentes reais.

Muhammad et al. (2021) e Yusoff et al. (2021) avaliaram um parâmetro diferente, a DBO. Muhammad et al. (2021) conseguiram uma remoção de 84,6% de DBO e obtiveram resultados satisfatórios na remoção de DQO (79,1%) e turbidez (87,1%) ao tratarem um efluente bruto com o coagulante semente de moringa oleifera (24000 mg/L). Por outro lado, Yusoff et al. (2021) alcançaram uma eficiência de remoção de DBO de 28,0% e obtiveram uma remoção de 64,0% na cor e de 94,0% na turbidez ao utilizarem inhame para tratar um efluente bruto.

As remoções de cor variaram de 49,8% a 99,9%. Correa-Mahecha et al. (2023) alcançaram a menor remoção de cor ao usar resíduo de café (15 mg/L) para tratar um efluente sintético contendo o corante amarelo ácido. Em contraste, o trabalho de Kristianto et al. (2019) obteve a maior remoção de cor ao empregar um efluente sintético contendo o corante vermelho congo (50 mg/L) com o coagulante de semente de leucena (10 ml/L).

Os países onde os estudos foram realizados foram: 20,0% Nigéria, 16,0% Indonésia, 12,0% Índia, 8,0% Brasil, 8,0% Marrocos, 8,0% Colômbia. Outras localidades que produziram estudos científicos foram: Vietnã, Paquistão, Irã, Tunísia, Reino do Barém, China e Malásia. Portanto, os estudos foram conduzidos em países que abrangem áreas geográficas na África, América do Sul e Ásia, indicando uma concentração de pesquisa em determinada parte do globo.

O pH é um parâmetro significativo a ser considerado nos ensaios de tratabilidade (Kristianto et al., 2018). Na análise dos estudos, a faixa de pH variou de extremamente ácida a altamente alcalina, abrangendo valores de 2 a 13. O pH 7 foi o valor mais frequentemente empregado nas pesquisas.

Os processos de coagulação/floculação são afetados pelo tempo e pela velocidade de mistura rápida e lenta (Joaquin, Nirmala, Kanakasabai; 2020). O tempo de mistura rápida mais longo foi de 5 min, a 200 rpm, utilizado por Dao et al. (2021). A maior velocidade de mistura rápida registrada foi de 520 rpm, durante 1 min empregue no trabalho de Adachi et al. (2023). O tempo de mistura rápida mais curto foi de 1 min, e a velocidade de mistura rápida mais baixa

foi de 100 rpm. O tempo e a velocidade de mistura rápida mais comuns encontradas nos trabalhos foi de 2 min a 100 rpm, respectivamente.

O tempo de mistura lenta mais extenso foi de 30 min, empregado em diversos estudos. Por outro lado, o menor tempo de mistura lenta foi de 5 min, a 20 rpm, conforme utilizado por Dao et al. (2021). No que se refere à velocidade de mistura lenta mais elevada, observou-se a taxa de 70 rpm, empregada por Akpomie et al. (2018) (10 minutos) e por Otálora et al. (2022) (20 minutos). Enquanto a velocidade de mistura lenta mais baixa registrada foi de 20 rpm, utilizada em vários estudos. O tempo e a velocidade de mistura lenta mais frequentemente encontrados em estudos foram de 20 minutos a 30 rpm, respectivamente.

No que diz respeito ao processo de sedimentação, o menor tempo foi adotado no estudo de Correa-Mahecha et al. (2023), com duração de 15 min. Por outro lado, o maior tempo de sedimentação foi observado nas pesquisas de Nnaji et al. (2020) e Obiora-Okafo et al. (2019), onde atingiu 300 min. O intervalo de 60 min foi o tempo de sedimentação mais comumente empregado.

Em relação aos métodos de extração de coagulantes/floculantes, observou que 56,0% dos autores preferiram utilizar o coagulante in natura, envolvendo simples processos de secagem, trituração e peneiramento, o que representa uma alternativa de custo baixo. No entanto, em 40,0% dos trabalhos, foi realizada alguma modificação química nos coagulantes/floculantes, indicando uma busca por melhorias ou adaptações específicas. E, apenas 4,0% dos estudos não forneceram informações detalhadas sobre os tratamentos químicos aplicados aos coagulantes, como observado no estudo de Gaayda et al. (2022).

Tabela 5: Artigos selecionados sobre coagulação/floculação, demonstrando a referência, título do artigo, local de desenvolvimento do trabalho e periódico.

| Referência | Título | País | Periódico |
|------------------------------|---|-------------|---|
| Adachi et al. (2023) | <i>Cactus and holm oak acorn for efficient textile wastewater treatment by coagulation-flocculation process optimization using box-benhken design</i> | Marrocos | <i>Journal of Ecological Engineering</i> |
| Akpomie et al. (2018) | <i>Coagulation-Flocculation process of Citropsis articulata seed powders as natural coagulant for textile effluent</i> | Nigéria | <i>Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies</i> |
| Correa-Mahecha et al. (2023) | <i>Removal of azo dyes through a natural coagulant obtained from coffee waste (Coffea Arabica)</i> | Colômbia | <i>Chemical Engineering Transactions</i> |
| Dao et al. (2021) | <i>Pilot-scale study of real domestic textile wastewater treatment Using Cassia fistula seed-derived coagulant</i> | Vietnã | <i>Journal of Chemistry</i> |
| Dotto et al. (2019) | <i>Performance of different coagulants in the coagulation/flocculation process of textile wastewater</i> | Brasil | <i>Journal of Cleaner Production</i> |
| Gaayda et al. (2022) | <i>Optimization of turbidity and dye removal from synthetic wastewater using response surface methodology: Effectiveness of Moringa oleifera seed powder as a green coagulant</i> | Marrocos | <i>Journal of Environmental Chemical Engineering</i> |
| Gautam et al. (2020) | <i>Coagulation influencing parameters investigation on textile industry discharge using Strychnos potatorum seed powders</i> | Índia | <i>Environment, Development and Sustainability</i> |
| Hussain e Haydar (202) | <i>Textile effluent treatment using natural coagulant o Opuntia stricta in comparison with alum</i> | Paquistão | <i>Clean Soil Air Water</i> |
| Kolhe e Ingole (2020) | <i>Colour removal from textile industry wastewater by coagulation-flocculation technique</i> | Índia | <i>Journal of Water Resource Engineering & Pollution Studies</i> |
| Kristanda et al. (2020) | <i>Optimization study of leucaena leucocephala seed extract as Natural coagulant on decolorization of aqueous congo red solutions</i> | Indonésia | <i>Arabian Journal for Science and Engineering</i> |
| Kristianto et al. (2018) | <i>Utilization of papaya seeds as natural coagulant for synthetic Textile coloring agent wastewater treatment</i> | Indonésia | <i>International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology</i> |
| Kristianto et al. (2019) | <i>Removal of Congo red aqueous solution using Leucaena leucocephala seed's extract as natural coagulant</i> | Indonésia | <i>Applied Water Science</i> |
| Mahmoudabadi et al. (2019) | <i>Effectiveness of Plantago major extract as a natural coagulante in removal of Reactive Blue 19 dye from wastewater</i> | Irã | <i>International Journal of Environmental Science and Technology</i> |

| | | | |
|-----------------------------|--|----------------|---|
| Methneni et al. (2020) | <i>Assessment of natural coagulants to remediate Tunisian textile wastewater by combining physicochemical, analytical, and toxicological data</i> | Tunisia | <i>Environmental Science and Pollution Research</i> |
| Muhammad et al. (2021) | <i>Treatment of textile effluent using naturally prepared coagulant from moringa oleifera seed</i> | Nigéria | <i>International Journal of Advanced Academic Research</i> |
| Nnaji et al. (2020) | <i>Luffa cylindrica seed: biomass for wastewater treatment, sludge generation study at optimum conditions</i> | Nigéria | <i>Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly</i> |
| Obiora-Okafo et al. (2019) | <i>Evaluation of bio-coagulants for colour removal from dye synthetic wastewater: characterization, adsorption kinetics, and modelling approach</i> | Nigéria | <i>Water SA</i> |
| Okey-Onyesolu et al. (2022) | <i>Removal of acid red 27 (amaranth dye) from synthetic wastewater using natural coagulants</i> | Nigéria | <i>Journal of Engineering and Applied Sciences,</i> |
| Otálora et al. (2022) | <i>Evaluation of turbidity and color removal in water treatment: a comparative study between opuntia ficus-indica fruit peel mucilage and FeCl₃</i> | Colombia | <i>Polymers</i> |
| Padhiyar et al. (2020) | <i>Parametric and kinetic investigations on segregated and mixed textile effluent streams using Moringa oleifera seed powders of different sizes</i> | Índia | <i>Journal of Water Process Engineering</i> |
| Rambe et al. (2018) | <i>The use of the Kelor Seeds (Moringa oleifera) as alternative coagulant in waste delivery process of textile industrial waste</i> | Indonésia | <i>Conference Series: Materials Science and Engineering</i> |
| Redha (2020) | <i>Multi-response optimization of the coagulation process of real textile wastewater using a natural coagulant</i> | Reino do Barém | <i>Arab Journal of Basic and Applied Sciences</i> |
| Roveli et al. (2021) | <i>Utilization of moringa oleifera seeds extract in textile effluent Treatment</i> | Brasil | <i>Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology</i> |
| Tie et al. (2019) | <i>Removal of an anionic azo dye direct black 19 from water using white mustard seed (Semen sinapis) protein as a natural coagulant</i> | China | <i>Journal of Water Reuse and Desalination</i> |
| Yusoff et al. (2021) | <i>Dioscorea hispida starch as a novel natural coagulant in textile wastewater treatment</i> | Malásia | <i>Journal of Engineering and Technological Sciences</i> |

Fonte: a autora (2023).

Tabela 6: Artigos selecionados contendo informações sobre características do efluente, coagulantes/floculantes e eficiência de remoção.

| Referência | Efluente | Característica do efluente | Concentração de corante (mg/L) | Coagulante | Dosagem ótima | Eficiência de remoção (%) |
|------------------------------|------------------|--|--------------------------------|--|---|---|
| Adachi et al. (2023) | Real | Efluente bruto | - | Coagulante (bolota de azinheira), floculante (suco de cacto) | Coagulante (500 mg/L); floculante (15 ml/L) | Cor (69,0); turbidez (90,0) |
| Akpomie et al. (2018) | Real | Efluente bruto | - | Semente de laranja | 10000 mg/L | DQO (48,3); turbidez (59,2) |
| Correa-Mahecha et al. (2023) | Sintético | Corantes azos vermelho ácido (VA) e amarelo ácido (AA) | 15 | Resíduo de café (polpa desidratada e café verde trilhado) | 15 mg/L | Cor (VA - 59,4; AA 49,8) |
| Dao et al. (2021) | Real | Efluente bruto | - | Resíduo da semente de Cassia fistula | 900 mg/L | Cor (93,8) |
| Dotto et al. (2019) | Real | Lavanderia industrial | - | Semente de moringa oleifera | 2010 mg/L | Cor (82,2); DQO (83,0); turbidez (75,0) |
| Gaayda et al. (2022) | Sintético | Corante aniônico amido black 10B | 10 | Semente de moringa oleifera | 200 mg/L | Cor (92,2); turbidez (98,5) |
| Gautam et al. (2020) | Sintético e real | Efluente sintético sem corante e Efluente bruto | - | Semente da planta da árvore de noz | 600 mg/L | Turbidez (Sintético 46,-78,0; Real 50,0 - 84,0) |
| Hussain e Haydar (2021) | Real | Efluente bruto | - | Cacto | 162,2 mg/L | Cor (77,3); DQO (58,4); SST (80,2) |
| Kolhe e Ingole (2020) | Sintético | Corante vermelho básico 5001 B | 300 | Floculantes - Cacto (suco), babosa (suco) | Cacto (20 ml/L); babosa (100 ml/L) | Cor (suco de cacto 90,7; suco de babosa 94,4) |
| Kristanda et al. (2020) | Sintético | Corante vermelho congo | 44,1 | Semente de leucena | 183,52 mg/L | Cor (88,6) |
| Kristianto et al. (2018) | Sintético | Corante drimarene dark red | 10 | Semente de mamão | 570 mg/L | Cor (84,8) |
| Kristianto et al. (2019) | Sintético | Corante vermelho congo | 50 | Caroço da semente de leucena | 10 ml/L | Cor (99,9) |
| Mahmoudabadi et al. (2019) | Sintético | Corante azul reativo 19 | 40 | Semente de tanchagem | 1200 mg/L | Cor (69,0) |

| | | | | | | |
|-----------------------------|-----------|---|----------|---|------------------|---|
| Methneni et al. (2020) | Real | Efluentes de 3 indústrias têxteis diferentes - Diluídos | - | Resíduo da casca da beringela | 800 mg/L | Cor (78,2) |
| Muhammad et al. (2021) | Real | Efluente bruto | - | Semente de moringa oleifera | 24000 mg/L | DBO (84,6); DQO (79,1); turbidez (87,1) |
| Nnaji et al. (2020) | Real | Efluente bruto | - | Semente de bucha | 1400 mg/L | Cor/SST (87,8); DQO (96,1) |
| Obiora-Okafo et al. (2019) | Sintético | Corante crystal Ponceau 6R | 100 | Feijão-frade (FF) e abóbora canelada (AC) | 800 mg/L | Cor (FF 93,5; AC 90,7) |
| Okey-Onyesolu et al. (2022) | Sintético | Corante acid red 27 | 20 - 200 | Casca de noz bambara | 2000 - 6000 mg/L | Turbidez (20,0 - 45,0) |
| Otálora et al. (2022) | Sintético | Não foi utilizado corantes | - | Resíduo da casca de cacto | 12 mg/L | Cor (71,8), turbidez (82,7) |
| Padhiyar et al. (2020) | Real | Etapas diferentes do processamento têxtil | - | Semente de moringa oleifera | 3000 mg/L | DQO (34,0) |
| Rambe et al. (2018) | Real | Lavagem de jeans | - | Semente de moringa oleifera | 1250 ml/L | DQO (75,9); SST (83,7); turbidez (77,8) |
| Redha (2020) | Real | Efluente bruto | - | Semente de moringa oleifera | 13 ml/L | Cor (77,0); turbidez (81,0) |
| Roveli et al. (2021) | Real | Lavanderia industrial saída tanque de estabilização | - | Semente de moringa oleifera | 10 ml/L | Cor (89,0); turbidez (90,0) |
| Tie et al. (2019) | Sintético | Corante azo aniônico direct black 19 | 100 | Semente de mostarda branca | 36 mg/L | Cor (90,9) |
| Yusoff et al. (2021) | Real | Efluente bruto | - | Inhamê | 2500 mg/L | Cor (64,0); DBO (28,0); turbidez (94,0) |

Fonte: a autora (2023).

Tabela 7: Ensaio de tratabilidade em condições ótimas.

| Referência | pH ótimo | Coagulação (Mistura rápida) | Floculação (Mistura lenta) | Sedimentação (min) | Tratamento químico |
|------------------------------|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Adachi et al. (2023) | 7,0 | 1 min, 520 rpm | 15 min, 30 rpm | 30 | Não |
| Akpomie et al. (2018) | 8,4 | 2 min, 150 rpm | 10 min, 70 rpm | 120 | Sim |
| Correa-Mahecha et al. (2023) | VA (5,2); AA (7,1) | 1 min, 120 rpm | 20 min, 35 rpm | 15 | Sim |
| Dao et al. (2021) | 3,0 | 5 min, 200 rpm | 5 min, 20 rpm | 30 | Sim |
| Dotto et al. (2019) | 2,0 | 2 min, 100 rpm | 20 min, 20 rpm | 60 | Sim |
| Gaayda et al. (2022) | 7,0 | 3 min, 120 rpm | 20 min, 40 rpm | 60 | - |
| Gautam et al. (2020) | 7,0 | 2 min, 150 rpm | 30 min, 30 rpm | 60 | Não |
| Hussain e Haydar (2021) | 10,3 | 2 min, 200 rpm | 25 min, 60 rpm | 30 | Não |
| Kolhe e Ingole (2020) | 12,0 | 2 min, 140 rpm | 25 min, 50 rpm | - | Não |
| Kristanda et al. (2020) | 4,0 | 2 min, 200 rpm | 30 min, 30 rpm | 60 | Sim |
| Kristianto et al. (2018) | 2,0 | 1 min, 200 rpm | 30 min, 60 rpm | 60 | Não |
| Kristianto et al. (2019) | 3,0 | 3 min, 200 rpm | 30 min, 60 rpm | 60 | Sim |
| Mahmoudabadi et al. (2019) | 9,0 | 90 s, 120 rpm | 20 min, 30 rpm | 60 | Sim |
| Methneni et al. (2020) | 7,0 | 1 min, 100 rpm | 10 min, 30 rpm | 20 | Não |
| Muhammad et al. (2021) | 6,5 | - | - | - | Sim |
| Nnaji et al. (2020) | 2,0 | 2 min, 150 rpm | 30 min, 25 rpm | 300 | Não |
| Obiora-Okafo et al. (2019) | 2,0 | 4 min, 100 rpm | 25 min, 40 rpm | 300 | Sim |
| Okey-Onyesolu et al. (2022) | 4,0 | 5 min, 400 rpm | 15 min, '- | 30 | Não |
| Otálora et al. (2022) | 13,0 | 1 min, 100 rpm | 20 min, 70 rpm | 20 | Sim |
| Padhiyar et al. (2020) | 8,0 | 2 min, 100 rpm | 30 min, 40 rpm | 30 | Não |
| Rambe et al. (2018) | 7,8 | -, 100 rpm | -, 40 rpm | - | Não |
| Redha (2020) | 2,0 | 4 min, 100 rpm | 20 min, 30 rpm | 21 | Sim |
| Roveli et al. (2021) | 9,0 | 3 min, 100 rpm | 15 min, 30 rpm | 30 | Sim |
| Tie et al. (2019) | 4,0 | 1 min, 120 rpm | 20 min, 45 rpm | 120 | Sim |
| Yusoff et al. (2021) | 7,0 | 5 min, 120 rpm | 30 min, 20 rpm | 60 | Sim |

Fonte: a autora (2023)

Em resumo, a análise dos estudos sobre o tratamento de efluentes revela uma diversidade significativa nas fontes e características dos efluentes estudados, assim como nas estratégias de tratamento adotadas. A maioria dos trabalhos se concentrou em amostras de efluentes reais de fábricas têxteis, com destaque para a preferência por coagulantes de origem semente, especialmente da moringa oleífera. A diversidade de coagulantes naturais, incluindo resíduos agroindustriais, demonstra uma abordagem inovadora na busca por soluções sustentáveis. As variações nas concentrações de coagulantes e a escolha de diferentes corantes em efluentes sintéticos indicam a complexidade na otimização do processo de coagulação. A geografia dos estudos também reflete uma distribuição global, destacando a necessidade de abordagens adaptadas a contextos regionais específicos. No entanto, é evidente que ainda há lacunas na apresentação de informações detalhadas sobre a origem específica dos efluentes industriais e nos tratamentos químicos aplicados aos coagulantes. Essas considerações são importantes para a replicabilidade e compreensão abrangente dos resultados, sugerindo a importância de um padrão mais consistente na apresentação de dados em futuras pesquisas nesse campo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de ser uma das indústrias de maior relevância econômica no Brasil, a indústria têxtil também é uma das mais poluentes devido à grande quantidade de efluentes que gera. No entanto, a legislação brasileira ainda não aborda de forma muito específica esse setor, optando por regulamentações mais abrangentes para o tratamento de efluentes industriais em geral. O parâmetro cor, por exemplo, que é característico dos efluentes têxteis não possui limites estabelecidos. A falta de limites claros na regulamentação torna a lei mais flexível e deixa margem para dificuldades no monitoramento dessa indústria.

A aplicação de adsorventes naturais se mostrou um processo eficiente e de baixo custo para a eliminação de poluentes de efluentes, possibilitando a recuperação de biomateriais sem a geração de substâncias tóxicas. Isso contribui para a valorização dos princípios da química verde e da economia circular sustentável.

A utilização de coagulantes naturais também apresenta vantagens significativas no tratamento de efluentes têxteis, pois é uma tecnologia ecologicamente correta e econômica para a remoção de corantes. Esses coagulantes/floculantes naturais são biodegradáveis, amplamente disponíveis, eficientes, reduzem a quantidade de lodo gerado e podem ser produzidos a partir de resíduos da agroindústria, promovendo um tratamento mais sustentável e seguro para a saúde humana.

O processo de adsorção utilizou, em sua maioria, efluentes sintéticos contendo corantes. Essa escolha pode ser atribuída à conveniência e controle que os efluentes sintéticos oferecem sobre as condições experimentais. No entanto, essa abordagem pode gerar incertezas sobre a aplicabilidade prática dos resultados, uma vez que os efluentes reais apresentam composições mais complexas e variadas. Já no método de coagulação/floculação os autores optaram por amostras de efluentes reais, uma vez que os resultados são mais representativos.

A concentrações de corantes nos efluentes sintéticos variam de 5 a 500 mg/L, esse intervalo indica que ambos os métodos de tratamento trabalham com uma faixa de concentração semelhante. A variação nas concentrações de adsorventes e coagulantes/floculantes, desde valores baixos até altos, ressalta a importância da dosagem adequada para alcançar eficiência na remoção de poluentes, sem desperdício de recursos.

A diversidade de adsorventes e coagulantes/floculantes naturais utilizados nos estudos demonstra uma diversidade de abordagens e busca por alternativas sustentáveis. Os resíduos

agroindustriais, foram amplamente explorados no processo de adsorção, refletindo a preocupação com a eficácia e a economicidade das soluções propostas.

No que diz respeito aos parâmetros de remoção, os estudos se concentraram principalmente na análise de cor, que é um dos principais poluentes em efluentes têxteis. No entanto, é relevante avaliar outros parâmetros para uma compreensão mais abrangente do desempenho dos métodos de tratamento. Além disso, foram apresentadas as condições ótimas do ensaio de tratabilidade de cada processo de tratamento de efluente têxteis.

A produção de conhecimento científico nessa área, durante o intervalo de tempo considerado, foi concentrada em determinadas regiões do mundo. A ausência de trabalhos provenientes da América do Norte, Europa e Oceania, em contraste com a predominância de estudos da Ásia, África e América do Sul, mostrou uma concentração geográfica na pesquisa. Esse fenômeno pode ser interpretado como um reflexo dos desafios ambientais e econômicos enfrentados por essas regiões, o que motiva uma maior investigação de soluções para questões relacionadas ao tratamento de efluentes têxteis. Além disso, a localização da indústria têxtil nessas regiões também contribuiu para essa concentração localizada na produção de conhecimento científico.

A literatura apresenta uma escassez de estudos voltados para o tratamento de efluentes têxteis reais, uma vez que a maioria das pesquisas é conduzida em efluentes sintéticos, os quais diferem dos efluentes reais. Isso implica que muitos dos resultados obtidos em tais estudos podem não ser diretamente aplicáveis em escala industrial, devido a outras variáveis que influenciam o processo e podem resultar em ineficiência. Além disso, a maioria das investigações se concentrou em experimentos de bancada, com estudos em escala piloto e em escala real ainda sendo limitados. Portanto, apesar de os adsorventes e coagulantes/floculantes naturais apresentarem potencial como alternativas eficazes no tratamento de diversos efluentes têxteis, é fundamental a realização de estudos adicionais em escala real para obter resultados mais consistentes e precisos para melhor compreensão da ação e benefícios dos mesmos.

REFERÊNCIAS

- ADACHI, A. et al. Cactus and holm oak acorn for efficient textile wastewater treatment by coagulation-flocculation process optimization using box-benhken design. **Journal Of Ecological Engineering**, [S.L.], v. 24, n. 6, p. 315-328, 1 jun. 2023. Wydawnictwo Naukowe Gabriel Borowski (WNGB). <http://dx.doi.org/10.12911/22998993/162784>.
- ADEWUYI, A. S.; ADEWUMI, J. R. Optimization of coagulation-flocculation process for the treatment of wastewater using inorganic and three natural coagulants. **Journal Of Engineering And Engineering Technology**. [S.L.], p. 260-265. 2 dez. 2018.
- AGARWAL, S. et al. Removal of COD and color from textile industrial wastewater using wheat straw activated carbon: an application of response surface and artificial neural network modeling. **Environmental Science And Pollution Research**, [S.L.], v. 30, n. 14, p. 41073-41094, 11 jan. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-022-25066-2>.
- AKPOMIE, K. G. Coagulation-Flocculation process of Citropsisarticulata seed powders as natural coagulant for textile effluent. **Leonardo Electronic Journal Of Practices And Technologies**, S. L., v. 32, p. 271-284, 30 jun. 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/326160820>. Acesso em: 20 set. 2023.
- ALCÂNTARA, M. R.; DALTIM, D. **A química do processamento têxtil**. Química Nova, v. 19, n. 3, p. 320-330, 1996.
- ALMEIDA, E. J. R. et al. **A indústria têxtil no Brasil**: Uma revisão os seus impactos ambientais e possíveis tratamentos para os seus efluentes. Projeto Qualidade da Água, Boletim das Águas - Ministério Público Federal, Brasília/DF, p. 1 - 18, nov. 2016.
- ALVES, A. T. A. et al. Revisão sistemática de literatura: estudo de caso sobre a remoção de cor de águas residuais têxteis. **Geama**, Recife, v. 5, n. 3, p. 4-17, 28 dez. 2019.
- ABIT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO. **Perfil do Setor**. 2023. Disponível em: <https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acesso em: 30 set. 2023.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9800**. Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, p. 3.1987.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13402**. Caracterização de cargas poluidoras em efluentes líquidos industriais e domésticos. Rio de Janeiro, p. 7.1995.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13370**. Nãotecido - Terminologia. Rio de Janeiro, p. 13. 2017.
- BANSAL, S. et al. Methylene blue dye removal from wastewater using ailanthus excelsa roxb as adsorbent. **Water Conservation Science And Engineering**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 1-9, 4 nov.

2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s41101-020-00097-3>.

BARBOSA, A. A. et al. Adsorption of remazol golden yellow dye from aqueous solution by acerola core: kinetic and equilibrium studies. **Ciência e Natura**, [S.L.], v. 43, p. 1-29, 9 fev. 2022. Universidad Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/2179460x64900>.

BASTIAN, E. Y. O.; ROCCO, J. L. S. **Guia técnico ambiental da indústria têxtil - Série P+L**. São Paulo: CETESB: SINDITÊXTIL, 2009.

BELTRAME, L. T. C. **Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento**. 161 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2000.

BERNARDO, L.; DANTAS, A. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. São Carlos: Rima, 2005. 792 p.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. 18. ed. São Paulo: CETESB, 1979.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. 18 ed., São Paulo: CETESB, 1993.

BRASIL. Ministério da Economia/Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Portaria Inmetro nº 118, de 11 de março de 2021**. Aprova o Regulamento Técnico Mercosul sobre Etiquetagem de Produtos Têxteis - Consolidado. por cento) das vagas oferecidas nos concursos públicos [...]. Brasília, DF: Presidência da República, 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-inmetro-n-118-de-11-de-marco-de-2021-309644935>. Acesso em: 25 ago. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. CONAMA. **Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 2005. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2747>. Acesso em: 4 ago. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. CONAMA. **Resolução n.º 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Diário Oficial da União, Brasília, 2011. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/CONAMA/RE0430-130511.PDF>. Acesso em: 4 ago. 2023.

CHIOU, M.; KUO, W.; LI, H. Removal of Reactive Dye from Wastewater by Adsorption Using ECH Cross-Linked Chitosan Beads as Medium. **Journal of Environmental Science and Health Part A**, v. 38, p. 2621-2631, 2007.

CHOY, K. K. H.; PORTER, J. F.; MCKAY, G. Langmuir, isotherms models applied to the multicomponent sorption of acid dyes from effluent onto activated carbon. **Journal of Chemical & Engineering Data**, v. 45, p. 575–584, 2000.

COSTA, W. K, O. C. et al. Preparation of activated carbon from sugarcane bagasse and removal of color and organic matter from real textile wastewater. **Water, Air, & Soil Pollution**, [S.L.], v. 232, n. 9, p. 1-13, 25 ago. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-021-05306-w>.

CORREA-MAHECHA, F. et al. Removal of azo dyes through a natural coagulant obtained from coffee waste (*Coffea Arabica*). **Chemical Engineering Transactions**, [S.L.], v. 99, p. 103-108, maio 2023. AIDIC: Italian Association of Chemical Engineering. <http://dx.doi.org/10.3303/CET2399018>.

DAO, M-T et al. Pilot-scale study of real domestic textile wastewater treatment using cassia fistula seed-derived coagulant. **Journal Of Chemistry**, [S.L.], v. 2021, p. 1-8, 20 jul. 2021. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2021/7608856>.

DI BERNARDO, A. S. **Influência das condições de aplicação de polímeros catiônicos na eficiência da floculação**. 2000. 207 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

DOTTO, J. et al. Performance of different coagulants in the coagulation/flocculation process of textile wastewater. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 208, p. 656-665, jan. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.112>.

FIEMG - FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Guia técnico ambiental da indústria têxtil**. Minas Gerais, 2014.

FREITAS, K. R. **Caracterização e reúso de efluentes do processo de beneficiamento da indústria têxtil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

FUJITA, Renata Mayumi Lopes; JORENTE, Maria José. A indústria têxtil no Brasil: uma perspectiva histórica e cultural. **Modapalavra E-Periódico**, [S.L.], v. 8, n. 15, p. 153-174, 1 jan. 2015. Universidade do Estado de Santa Catarina. <http://dx.doi.org/10.5965/1982615x08152015153>.

FURLAN, F. R. **Avaliação da Eficiência do Processo de Coagulação-Floculação e Adsorção no Tratamento de Efluentes têxteis**. 2008. 151 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008

GAAYDA, J. E. et al. Optimization of turbidity and dye removal from synthetic wastewater using response surface methodology: effectiveness of moringa oleifera seed powder as a green coagulant. **Journal Of Environmental Chemical Engineering**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 106988, fev. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2021.106988>.

GAUTAM, S. et al. Coagulation influencing parameters investigation on textile industry discharge using *Strychnos potatorum* seed powders. **Environment, Development And Sustainability**, [S.L.], v. 23, n. 4, p. 5666-5673, 28 jun. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10668-020-00836-5>.

GEORGIN, J. et al. Removal of procion red dye from colored effluents using h₂so₄-/hno₃-treated avocado shells (*Persea americana*) as adsorbent. **Environmental Science And Pollution Research**, [S.L.], v. 25, n. 7, p. 6429-6442, 16 dez. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-017-0975-1>.

GIORDANO, E. D. V. et al. A new alternative and efficient low-cost process for the removal of reactive dyes in textile wastewater by using soybean hull as adsorbent. **Water, Air, & Soil Pollution**, [S.L.], v. 232, n. 5, p. 1-25, 16 abr. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-021-05085-4>.

GOMES, Luciano; et al. *Opuntia ficus indica* as a polyelectrolyte source for the treatment of tannery wastewater. **Desalination And Water Treatment**, [S.L.], v. 57, n. 22, p. 10181-10187, 20 abr. 2015. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/19443994.2015.1035677>.

GRAHAM N, GANG F, GEOFFREY F, WATTS M. Characterisation and coagulation performance of a tannin-based cationic polymer: A preliminary assessment. **Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp.** 2008 Sept; 327 (1-3):9-16.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. **Corantes têxteis**. Química Nova, Araraquara, p.71-78, 2000.

GUPTA, V. K.; SUHAS. Application of low-cost adsorbents for dye removal – a review. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 8, p. 2313-2342, 2009.

HELLER, L; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2016. v. 1 e 2 (Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos: EESC – USP. 2007.

HEYLMANN, K. K. A. et al. Produção, caracterização e aplicação de carvão ativado de caroço de pêssogo no tratamento de efluente têxtil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 26, n. 3, p. 485-494, jun. 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-415220190226>.

HUSSAIN, G.; HAYDAR, S. Textile effluent treatment using natural coagulant *Opuntia stricta* in comparison with alum. **Clean – Soil, Air, Water**, [S.L.], v. 49, n. 10, p. 1-10, 21 ago. 2021. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/clen.202000342>.

IEMI - INTELIGÊNCIA DE MERCADO. **Brasil Têxtil 2022**: Relatório Setorial. Brasil. 2022.

ILYAS, M.; AHMAD, W.; KHAN, H.; YOUSAF, S.; YASIR, M.; KHAN, A. Environmental and health impacts of industrial wastewater effluents in Pakistan: a review. **Reviews On Environmental Health**, [S.L.], v. 34, n. 2, p. 171-186, 16 abr. 2019. Walter de Gruyter GmbH. <http://dx.doi.org/10.1515/reveh-2018-0078>.

İRDEMEZ, Ş. et al. Comparison of bomaplex blue cr-l removal by adsorption using raw and activated pumpkin seed shells. **Ecological Chemistry And Engineering s**, [S.L.], v. 29, n. 2, p. 199-216, 1 jun. 2022. Walter de Gruyter GmbH. <http://dx.doi.org/10.2478/eces-2022-0015>.

JOAQUIN, A.; NIRMALA, G.; KANAKASABAI, P. Response surface analysis for sewage wastewater treatment using natural coagulants. **Polish Journal Of Environmental Studies**, [S.L.], v. 30, n. 2, p. 1215-1225, 20 jan. 2021. HARD Publishing Company. <http://dx.doi.org/10.15244/pjoes/120515>.

KANNAUJIYA, M. C. et al. Extensive analyses of mass transfer, kinetics, and toxicity for hazardous acid yellow 17 dye removal using activated carbon prepared from waste biomass of Solanum melongena. **Biomass Conversion And Biorefinery**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 99-117, 2 jan. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13399-020-01160-8>.

KAPOOR, R. T. SIVAMANI, S. Exploring the potential of Eucalyptus citriodora biochar against direct red 31 dye and its phytotoxicity assessment. **Biomass Conversion And Biorefinery**, [S.L.], v. 13, n. 9, p. 8011-8022, 5 jul. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13399-021-01681-w>.

KHELLOUF, M. et al. A new activated carbon prepared from cypress cones and its application in the COD reduction and colour removal from industrial textile effluent. **Environment, Development And Sustainability**, [S.L.], v. 23, n. 5, p. 7756-7771, 20 ago. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10668-020-00944-2>.

KOLHE, P.P; INGOLE, N. W. Colour removal from textile industry wastewater by coagulation- flocculation technique. **Journal Of Water Resource Engineering & Pollution Studies**, S. L., v. 5, n. 1, p. 20-47, abr. 2020. Disponível em: <http://www.researchgate.net/publication/340548896>. Acesso em: 21 set. 2023.

KRISTANDA, J. et al. Optimization study of Leucaena leucocephala seed extract as natural coagulant on decolorization of aqueous congo red solutions. **Arabian Journal For Science And Engineering**, [S.L.], v. 46, n. 7, p. 6275-6286, 16 out. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13369-020-05008-1>.

KRISTIANTO, H. et al. Utilization of papaya seeds as natural coagulant for synthetic textile coloring agent wastewater treatment. **International Journal On Advanced Science, Engineering And Information Technology**, [S.L.], v. 8, n. 5, p. 2071, 7 out. 2018. Insight Society. <http://dx.doi.org/10.18517/ijaseit.8.5.3804>.

KRISTIANTO, H. et al. Removal of congo red aqueous solution using Leucaena leucocephala seed's extract as natural coagulant. **Applied Water Science**, [S.L.], v. 9, n. 4, p. 1-7, 13 maio 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13201-019-0972-2>.

LEÃO, M. D. et al. **Controle ambiental na indústria têxtil: acabamento de malhas**. 1 edição. Projeto Minas Ambiente. Segrac Editora e Gráfica Ltda. Belo Horizonte, 2002.

- LIMA, P. R.; ALMEIDA, I. V.; VICENTINI, V. E. P. Os diferentes tipos de coagulantes naturais para o tratamento de água: uma revisão. Evidência: **Biociências, saúde e inovação**, [S.L.], 3 ago. 2020. Universidade do Oeste de Santa Catarina. <https://doi.org/10.18593/eba.24704>
- LOW, S. K.; TAN, M. C. Dye adsorption characteristic of ultrasound pre-treated pomelo peel. *J. Environ. Chem. Eng.*, v. 6, n. 2, p. 3502–3509, 2018.
- MAHMOUDABADI, T. Z. et al. Effectiveness of plantago major extract as a natural coagulant in removal of reactive blue 19 dye from wastewater. **International Journal Of Environmental Science And Technology**, [S.L.], v. 16, n. 12, p. 7893-7900, 4 fev. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13762-018-02201->
- MALIK, A. et al. Adsorption study of orange g dye on thermally modified rice husk from aqueous medium. **Pakistan Journal Of Scientific And Industrial Research**, S. L., v. 66, n. 1, p. 45-51, 24 maio 2021.
- MATHIVANAN, M. et al. Ipomoea carnea: a novel biosorbent for the removal of methylene blue (mb) from aqueous dye solution. **International Journal Of Phytoremediation**, [S.L.], v. 23, n. 9, p. 982-1000, 4 fev. 2021. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/15226514.2020.1871322>.
- METHNENI, N. et al. Assessment of natural coagulants to remediate Tunisian textile wastewater by combining physicochemical, analytical, and toxicological data. **Environmental Science And Pollution Research**, [S.L.], v. 27, n. 32, p. 40088-40100, 12 jul. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-020-10000-1>.
- MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental. Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº 8, de 21 de novembro de 2022**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Belo Horizonte, MG: Presidência do Conselho Estadual de Política Ambiental e do Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais, 2022. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=56521>. Acesso em: 20 ago. 2023.
- MUHAMMAD, U. et al. Treatment of textile effluent using naturally prepared coagulant from moringa oleifera seed. **International Journal Of Advanced Academic Research**, [S.L.], p. 9-20, 15 fev. 2021. IJAAR Publishing. <http://dx.doi.org/10.46654/ij.24889849.e725>.
- MUNIZ, G. L.; BORGES, A. C.; SILVA, T. C. F. Performance of natural coagulants obtained from agro-industrial wastes in dairy wastewater treatment using dissolved air flotation. **Journal Of Water Process Engineering**, [S.L.], v. 37, p. 101453, out. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101453>
- MUNYEGAJU, J. et al. Textile effluent treatment using avocado seeds based activated carbon. **Journal Of Applied Research In Water And Wastewater**, [s. l], v. 9, n. 1, p. 83-90, 29 jun. 2022.

NEVES, N. S. C. S. et al. Biosorption textile wastewater employing lemon peel derivatives: data analysis and kinetic modeling. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [S.L.], v. 26, p. 1-33, 26 dez. 2022. Universidade Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/2236117065265>.

NNAJI, P.C. et al. Luffa cylindrica seed: biomass for wastewater treatment, sludge generation study at optimum conditions. **Chemical Industry And Chemical Engineering Quarterly**, [S.L.], v. 26, n. 4, p. 349-358, 2020. National Library of Serbia. <http://dx.doi.org/10.2298/ciceq190623012n>.

OBIORA-OKAFO, I. A. Evaluation of bio-coagulants for colour removal from dye synthetic wastewater: characterization, adsorption kinetics, and modelling approach. **Water SA**, S. L., v. 46, n. 2, p. 300-312, 10 dez. 2019. <http://dx.doi.org/10.17159/wsa.2020.v46i2.8246>.

OKEY-ONYESOLU, C. F. et al. Removal of acid red 27 (amaranth dye) from synthetic wastewater using natural coagulants. **Journal Of Engineering And Applied Sciences**, S. L., v. 21, n. 1, p. 942-951, dez. 2022.

OKOLO, B. I. et al. A kinetic investigation of the pulverized okra pod induced coag-flocculation in treatment of paint wastewater. **American Journal Of Analytical Chemistry**. [S.L.], p. 610-622. 20 jun. 2015.

OTÁLORA, M. C. et al. Evaluation of turbidity and color removal in water treatment: a comparative study between opuntia ficus-indica fruit peel mucilage and FeCl₃. **Polymers**, [S.L.], v. 15, n. 1, p. 217, 31 dez. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/polym15010217>.

PADHIYAR, H. et al. Parametric and kinetic investigations on segregated and mixed textile effluent streams using Moringa oleifera seed powders of different sizes. **Journal Of Water Process Engineering**, [S.L.], v. 34, p. 101159, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101159>.

PEREIRA, M. F. R. et al. **Remoção da cor em efluentes da indústria têxtil por adsorção em carvões ativado modificados**. In: Adsorbentes en la solución de algunos problemas ambientales” Ed. CYTED. Madri Espanha. 2001.

PEZZOLO, D. B. **Tecidos: história, tramas, tipos e usos**. 5.ed. São Paulo: Ed. Senac, 2017.

RAMBE, A. M. et al. The use of the Kelor Seeds (Moringa oleifera) as alternative coagulant in waste delivery process of textile industrial waste. **Iop Conference Series: Materials Science and Engineering**, [S.L.], v. 309, p. 012075, fev. 2018. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899x/309/1/012075>.

RAJI, Y. et al. Efficient adsorption of methyl orange on nanoporous carbon from agricultural wastes: characterization, kinetics, thermodynamics, regeneration and adsorption mechanism. **Journal Of Composites Science**, [S.L.], v. 6, n. 12, p. 385, 12 dez. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/jcs6120385>.

REDHA, Z. M. Multi-response optimization of the coagulation process of real textile wastewater using a natural coagulant. **Arab Journal Of Basic And Applied Sciences**, [S.L.],

v. 27, n. 1, p. 406-422, 1 jan. 2020. Informa UK Limited.
<http://dx.doi.org/10.1080/25765299.2020.1833509>.

REVANKAR, M. S., LELE, S.S. Synthetic dye decolorization by white rot fungus, *Ganoderma sp. WR-1*, **Bioresourse Technology**, v.98, p.775-780, 2007.

RICHTER, C. A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo: Blucher, 2009. 340 p.

ROVELI, A. R. et al. Utilization of *Moringa oleifera* seeds extract in textile effluent treatment. **Scientific Journal Of Environmental Sciences And Biotechnology**, S. L., v. 7, n. 1, p. 67-72, 30 abr. 2021.

ROY, H. et al. Synthesis, characterizations, and RSM analysis of *Citrus macroptera* peel derived biochar for textile dye treatment. **South African Journal Of Chemical Engineering**, [S.L.], v. 41, p. 129-139, jul. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sajce.2022.05.008>.

RUBINGER, C. F. **Seleção de métodos biológicos para avaliação toxicológica de efluentes industriais**. 2009. 90 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

RUTHVEN, D. M. **Principles of adsorption and adsorption processes**. New York: John Wiley & Sons, 1984.

SARANYA P., RAMESH ST., GANDHIMATHI, R. Effectiveness of natural coagulants from non-plant-based sources for water and wastewater treatment. **Desalination and Water Treatment**. 2013; 52:6030- 39.

SCHIMMEL, D. **Adsorção dos corantes reativos azul 5G e azul turquesa QG em carvão ativado comercial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, PR, 2008.

SHANMUGARAJAH, B. et al. Valorization of palm oil agro-waste into cellulose biosorbents for highly effective textile effluent remediation. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 210, p. 697-709, fev. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.342>.

SHARMA, K.; VYAS, R. K.; SINGH, K.; DALAI, A. K. Degradation of a synthetic binary dye mixture using reactive adsorption: Experimental and modeling studies. *J. Environ. Chem. Eng.*, v. 6, n. 5, p. 5732–5743, 2018.

SHEELA, T. et al. Kinetics and thermodynamics studies on the adsorption of Zn (II), Cd (II) and Hg (II) from aqueous solution using zinc oxide nanoparticles. **Powder Technology**, v. 217, p. 163-170, 2012.

SOLIH, F. A. et al. Carbonaceous material from agricultural waste for treating colored wastewater: characterization and adsorption performance evaluations. **Chemical Papers**, [S.L.], v. 77, n. 6, p. 2985-3001, 2 fev. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11696-023-02682-x>.

SONAI, G. G. **Ativação de adsorventes carbonosos para a remoção de corantes de efluentes têxteis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

SOTTORIVA, P. R. S. **Degradação de corantes reativos utilizando-se processos oxidativos avançados**. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Paraná, PR, 2002.

SOUZA, J.B., DANIEL, L.A. Comparação entre hipoclorito de sódio e ácido peracético na inativação de E. Coli, colifagos E C. perfringens em água com elevada concentração de matéria orgânica. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, p. 111-117, 2005.

TEJADA-TOVAR, C. et al. Removal of metals and dyes in water using low-cost agro-industrial waste materials. **Applied Sciences**, [S.L.], v. 13, n. 14, p. 8481, 22 jul. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/app13148481>.

TIE, J. et al. Removal of an anionic azo dye direct black 19 from water using white mustard seed (Semen sinapis) protein as a natural coagulant. **Journal Of Water Reuse And Desalination**, [S.L.], v. 9, n. 4, p. 442-451, 24 jul. 2019. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/wrd.2019.018>.

TÜRK, F. N. et al. Removal of basic yellow 51 dye by using ion exchange resin obtained by modification of byproduct sugar beet pulp. **Sugar Tech**, [S.L.], v. 25, n. 3, p. 569-579, 5 set. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12355-022-01207-2>.

UFU - UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA. **Tem Base? Tem o EDS!** 2022. Disponível em: [https://bibliotecas.ufu.br/acontece/2022/10/tem-base-tem-o-eds#:~:text=O%20Ebsco%20Discovery%20Service%20\(EDS,e%20em%20uma%20%C3%BAnica%20interface](https://bibliotecas.ufu.br/acontece/2022/10/tem-base-tem-o-eds#:~:text=O%20Ebsco%20Discovery%20Service%20(EDS,e%20em%20uma%20%C3%BAnica%20interface). Acesso em: 15 set. 2023.

ÜNER, O. et al. Adsorptive removal of rhodamine b with activated carbon obtained from okra wastes. **Chemical Engineering Communications**, [S.L.], v. 204, n. 7, p. 772-783, 16 maio 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00986445.2017.1319361>.

UNUGUL, T. NIGIZ, F. U. Preparation and characterization an active carbon adsorbent from waste mandarin peel and determination of adsorption behavior on removal of synthetic dye solutions. **Water, Air, & Soil Pollution**, [S.L.], v. 231, n. 11, p. 1-14, 22 out. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-020-04903-5>.

VISHALI, S.; KARTHIKEYAN, R. Cactus opuntia(ficus-indica): an eco-friendly alternative coagulant in the treatment of paint effluent. **Desalination And Water Treatment**, [S.L.], v. 56, n. 6, p. 1489-1497, 6 ago. 2014. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/19443994.2014.945487>.

WAKKEL, M. et al. Textile wastewater treatment by agro-industrial waste: equilibrium modelling, thermodynamics and mass transfer mechanisms of cationic dyes adsorption onto low-cost lignocellulosic adsorbent. **Journal Of The Taiwan Institute Of Chemical Engineers**, [S.L.], v. 96, p. 439-452, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtice.2018.12.014>.

WESENBERG, D.; KYRIAKIDES, I.; AGATHOS, S. N. White rot fungi and their enzymes for the treatment of industrial dye effluents. **Biotechnol. Adv.**, n. 22, p.161-187. 2003.

YADAV, V. et al. Biosorption of Methylene Blue Dye from Textile-Industry Wastewater onto Sugarcane Bagasse: response surface modeling, isotherms, kinetic and thermodynamic modeling. **Journal Of Hazardous, Toxic, And Radioactive Waste**, [S.L.], v. 25, n. 1, p. 1-9, jan. 2021. American Society of Civil Engineers (ASCE).
[http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)hz.2153-5515.0000572](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)hz.2153-5515.0000572).

YUSOFF, M. S. et al. Dioscorea hispida starch as a novel natural coagulant in textile wastewater treatment. **Journal Of Engineering And Technological Sciences**, [S.L.], v. 53, n. 2, p. 285-301, 27 abr. 2021. The Institute for Research and Community Services (LPPM) ITB.
<http://dx.doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2021.53.2.7>.

ZHANG, M. L. Z. et al. Roles of magnetic particles in magnetic seeding coagulation-flocculation process for surface water treatment. **Elsevier**, v. 212, p. 337-343, 2018.