



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
CURSO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

PEDRO VICTOR DANTAS DE BRITO

ESTUDO SOBRE O MÉTODO DE ADSORÇÃO NA INDÚSTRIA TÊXTIL

ANGICOS-RN

2022

PEDRO VICTOR DANTAS DE BRITO

ESTUDO SOBRE O MÉTODO DE ADSORÇÃO NA INDÚSTRIA TÊXTIL

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Orientadora: Prof. Dra Lidiane Alves de Moraes

ANGICOS-RN

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

B862e Brito, Pedro Victor Dantas de.

Estudo sobre o método de adsorção na indústria têxtil / Pedro Victor Dantas de Brito. - 2022.

42 f. : il.

Orientadora: Lidianne Alves de Moraes.
Monografia (graduação) - Universidade Federal

Rural do Semi-árido, Curso de , 2022.

1. Água. 2. Corantes. 3. Carvão ativado. I.
Alves de Moraes, Lidianne , orient. II. Título.

**Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador
automático em conformidade com AACR2 e os
dados fornecidos pelo) autor(a).**

Biblioteca Campus Angicos

Bibliotecário: Helder Romero Maia Duarte

CRB: 15/673

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

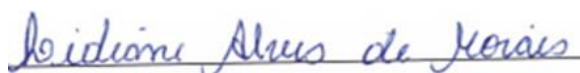
PEDRO VICTOR DANTAS DE BRITO

ESTUDO SOBRE O MÉTODO DE ADSORÇÃO NA INDÚSTRIA TÊXTIL

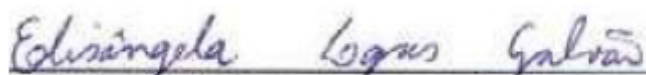
Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 13 /06/ 2022.

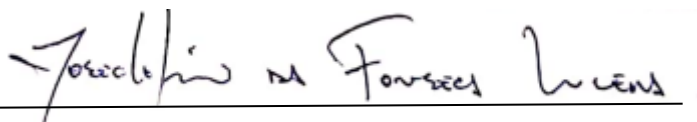
BANCA EXAMINADORA



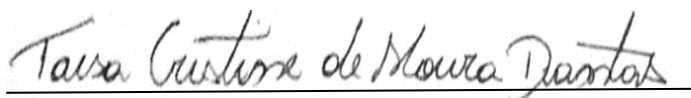
Prof. Dra. Lidiane Alves de Moraes (UFERSA)
Presidente



Prof. Dra. Elisângela Lopes Galvão (UFERSA)
Membro Examinador



Prof. Me. Joseclebio da Fonseca Lucena (IFRN)
Membro Examinador



Dra. em Química Taisa Cristine de Moura Dantas
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre estar ao meu lado me guiando por toda essa trajetória de vida e ser sempre presente nas horas boas ou ruins.

A minha família, especialmente a minha mãe, Jacirene Gomes Dantas de Brito, ao meu pai, Jalmir Pereira de Brito e ao meu amor mais novo, minha irmã, Yamilly Maria Dantas de Brito, que sempre me disponibilizaram apoio, incentivo e principalmente, muito amor e carinho.

Aos meus avós paternos e maternos, por todo o acolhimento durante essa trajetória e sempre acreditarem na minha capacidade, em especial pra o meu avô, José Gomes Dantas (In Memoriam), que sempre me motivou com suas palavras e seus relatos de vida, sei que cumpri o nosso sonho e o senhor está muito orgulhoso de mim.

Aos meus amigos que estiveram comigo durante todo o processo, sendo de forma presencial ou não, enfrentando várias dificuldades e também comemorando várias alegrias.

Sou bastante grato por todos os professores que fizeram parte do meu processo de formação, em especial, a minha orientadora, Lidiane Alves de Moraes, por sempre estar presente me auxiliando com toda sua atenção e carisma para a criação desse trabalho, agradeço de coração por todo conhecimento compartilhado e por acreditar na minha capacidade.

Agradeço ao professor Clébio Fonseca Lucena, por ter aceitado o convite para fazer parte da banca examinadora deste referido trabalho.

RESUMO

Desde a antiguidade que as pessoas utilizam de alguma forma a sua força braçal e intelectual para produzirem artefatos tanto para seu uso como para o comércio e isso se intensificou ainda mais no período da revolução industrial, onde a mesma alterou essa forma de produção, tornando a produção mais rápida e em larga escala através das inovações, como as máquinas a vapor, principalmente no âmbito têxtil. Ao gerar maior produção nas indústrias têxteis, as pessoas começaram a utilizar diversos produtos químicos, como os corantes, e os mesmos começaram e continuam sendo descartados de forma errada, contribuindo ainda mais para a poluição das águas disponíveis, sem falar que a mesma é pioneira em consumo de água entre os setores industriais. Através disto, o referente trabalho foi desenvolvido com o propósito de fazer um levantamento teórico sobre a cadeia produtiva têxtil atrelada ao seu consumo e descarte da água que se utiliza, dando ênfase no método de adsorção, sendo o mesmo, um método de tratamento de efluentes. Portanto, o método de adsorção é um tratamento bastante eficiente para efluentes industriais, principalmente têxteis, visto que se consegue devolver a água da mesma forma que é retirada das suas fontes.

Palavras-Chave: Água. Corantes. Carvão ativado.

ABSTRACT

Since antiquity, people have somehow used their physical and intellectual strength to produce artifacts both for their own use and for commerce, and this intensified even more in the period of the industrial revolution, where it altered this form of production, making the faster and larger-scale production through innovations such as steam engines, especially in the textile sector. By generating greater production in the textile industries, people began to use various chemicals, such as dyes, and they began and continue to be discarded in the wrong way, contributing even more to the pollution of available water, not to mention that it is a pioneer in water consumption among industrial sectors. Through this, the referente work was developed with the purpose of making a theoretical survey on the textile production chain linked to its consumption and disposal of the water that is used, emphasizing the adsorption method, being the same, a method of treatment of effluents. Therefore, the adsorption method is a very efficient treatment for industrial effluents, mainly textiles, since it is possible to return the water in the same way that it is withdrawn from its sources.

Keywords: Water. Dyes. Activated charcoal.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Fluxograma geral da indústria têxtil	14
Figura 2	–	Fluxograma de classificação dos tipos de fibras	15
Figura 3	–	Fluxograma dos Principais Segmentos do Complexo Têxtil.....	16
Figura 4	–	Fluxograma da Sequência Operacional dos Processos por Impregnação.....	20
Figura 5	–	Interação iônica entre o corante e a fibra de lã.....	22
Figura 6	–	Interação de hidrogênio entre o corante e a fibra de lã	22
Figura 7	–	Interação covalente entre o corante e a fibra de algodão	23
Figura 8	–	Principais grupos químicos na superfície do carvão ativado.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Diferenças básicas entre métodos de impregnação e esgotamento	19
Tabela 2	–	Classes de corantes e respectivas fibras	23
Tabela 3	–	Resumo dos processos de tratamento de efluentes	27
Tabela 4	–	Vantagens e desvantagens de métodos utilizados na remoção de corantes têxteis	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIT	Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção
Sebrae	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
IPT	Instituto de Pesquisa Tecnológicas
Ph	Potencial Hidrogeniônico
NBR	Norma Brasileira
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
PHPzc	Ponto de Carga Zero

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1212
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVOS GERAIS	13
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	13
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	1414
3.1 INDÚSTRIA TÊXTIL	14
3.1.1 Fibra Têxtil	15
3.2 PROCESSOS QUÍMICOS TÊXTEIS	17
3.2.1 Processo de Tingimento	19
3.3 CORANTES	20
3.4 ÁGUA NA INDÚSTRIA TÊXTIL	2424
3.5 EFLUENTES TÊXTEIS	2525
3.6 MÉTODOS DE TRATAMENTOS PARA EFLUENTES TÊXTEIS	26
3.7 ADSORÇÃO	28
3.7.1 Fatores que Influenciam na Adsorção	30
3.7.1.1 Propriedades do Adsorvente	30
3.8 MATERIAIS ADSORVENTES	31
3.8.1 Carvão Ativado	31
3.8.2 Biomassa como Adsorvente	333
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	355
REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

Com a revolução industrial, a indústria têxtil foi afetada com esse desenvolvimento de máquinas para melhorar e agilizar a produção, visto que a mesma é responsável por transformar as fibras em produtos têxteis que são utilizados por diversos setores da população, inclusive as vestimentas humanas. Antes do período da revolução industrial, os processos eram executados de forma mecânica e com isso, Edmundo Cartwright inventou um tear elétrico, na qual o mesmo passaria a utilizar o vapor de água para realizar a tecelagem dos fios, garantindo aos mesmos uma maior resistência, sendo a mesma necessária no processo posterior, que seria o de beneficiamento, processo esse que contém uma elevada taxa de contaminação das águas por não serem tratadas e descartadas de forma correta (FCEM, 2019).

Referente ao consumo de água por parte da indústria, o setor têxtil consome em média 15% da água total. Segundo Toledo (2004), os setores de tinturaria e acabamento dos materiais têxteis, são os que contém um maior potencial contaminante da água quando comparados com a tecelagem e fiação, pelo fato de que os mesmos utilizam produtos químicos e corantes (TWARDOKUS, 2004).

Os corantes utilizados na indústria têxtil são considerados extremamente perigosos devido a sua toxicidade e por ter uma baixa taxa de degradabilidade. Com isso, vários métodos de tratamentos de efluentes têm sido colocados em prática, nas quais o seu uso irá depender do nível de contaminação que se encontra o efluente, onde se dividem em primário, secundário e terciário, ou seja, quanto mais avançado o nível, mais eficiente deverá ser o método, logo, o método de adsorção apresenta bastante eficiência para processos complexos, apenas com o intuito de devolver a água da forma mais limpa possível aos rios (PEIXOTO; MARINHO; RODRIGUES, 2013).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Fazer um levantamento da bibliografia disponível sobre a poluição das águas provenientes da cadeia produtiva da indústria têxtil e analisar o método de adsorção que são utilizados como tratamento.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar um levantamento sobre a cadeia produtiva da indústria têxtil e seus processos químicos;
- Estudar os resíduos gerados pela indústria têxtil;
- Estudar o método de tratamento por adsorção aplicado nos efluentes gerados na indústria têxtil.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

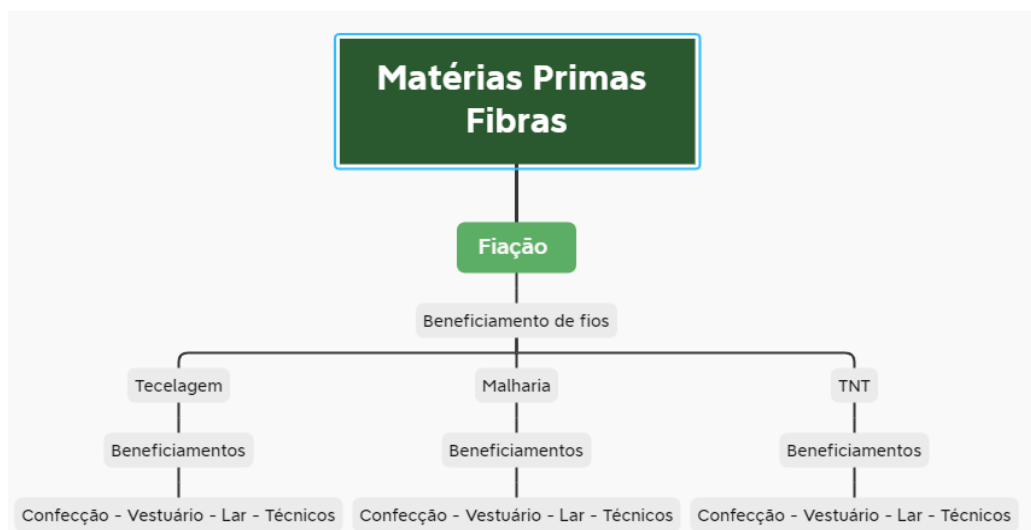
3.1 INDÚSTRIA TÊXTIL

De acordo com Dathein (2003), um dos primeiros exemplos de maquinismo foi a da indústria têxtil por volta do século de 1730, na qual houve um aperfeiçoamento do tear de tecidos planos, o que permitiu produzir peças mais largas e uma alta rapidez nas produções. Porém, o grande avanço da indústria têxtil se deu a partir da Primeira Revolução Industrial. Em meados do ano de 1767, foram lançadas duas máquinas para melhorar o setor de fiação, e as máquinas foram nomeadas de “spinning-jenny” e “water-frame”. Havendo também durante essas invenções das máquinas de fiação, um avanço na parte química, como, a industrialização do processo de estamparia, o qual se possibilitou a fabricação de produtos mais sofisticados, quando relacionados a sua aparência.

A indústria têxtil é responsável pela transformação das fibras, independentemente de sua origem, seja ela natural ou química, e compreende os processos de fiação, tecelagem, malharia e beneficiamentos (BEZERRA, 2014). Os artigos depois de produzidos são destinados às áreas de confecção, vestuário, cama, mesa e banho e, para produtos técnicos, na área da medicina, construção civil, esportes, transportes, dentre outros.

O setor têxtil possui uma cadeia produtiva bastante diversificada, na qual apresenta vários setores e cada um tem o seu importante papel no produto final. Pode-se subdividir, de maneira simplificada, a cadeia têxtil de acordo com a Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma geral da indústria têxtil



Fonte: Ferreira (2019)

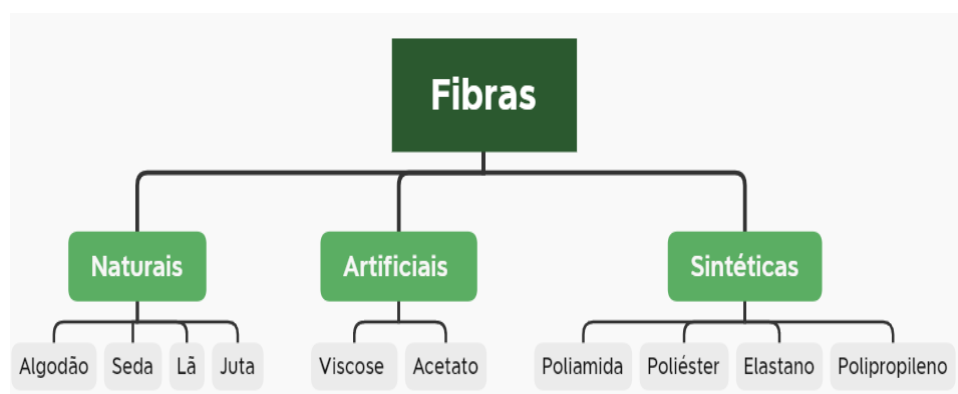
A área têxtil apresenta uma grande importância para o contexto nacional. De acordo com a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção -ABIT (2021), o Brasil abrange desde a produção de fibras até a realização de desfiles de modas e pesquisas tecnológicas com foco nas áreas técnicas, como fiações, tecelagens, malharias, beneficiamentos, confecção e varejo.

De acordo com Kieckbusch (2010), para que os excelentes resultados pudessem existir, foi necessário um alto investimento dos empresários na modernização de maquinários e qualificação de mão de obra na área têxtil, principalmente após a abertura econômica da década de 1990.

3.1.1 Fibra Têxtil

A fibra têxtil é descrita como uma unidade de matéria, caracterizada por sua flexibilidade, finura e elevada proporção entre comprimento e finura, cujas propriedades a torna capaz de ser transformada em fio. Dependendo do tipo de matéria-prima utilizada, as fibras podem ser classificadas em: fibras naturais e não naturais (artificiais e sintéticas), conforme demonstra a Figura 2.

Figura 2– Fluxograma de classificação dos tipos de fibras.



Fonte: Apud Pereira (2013)

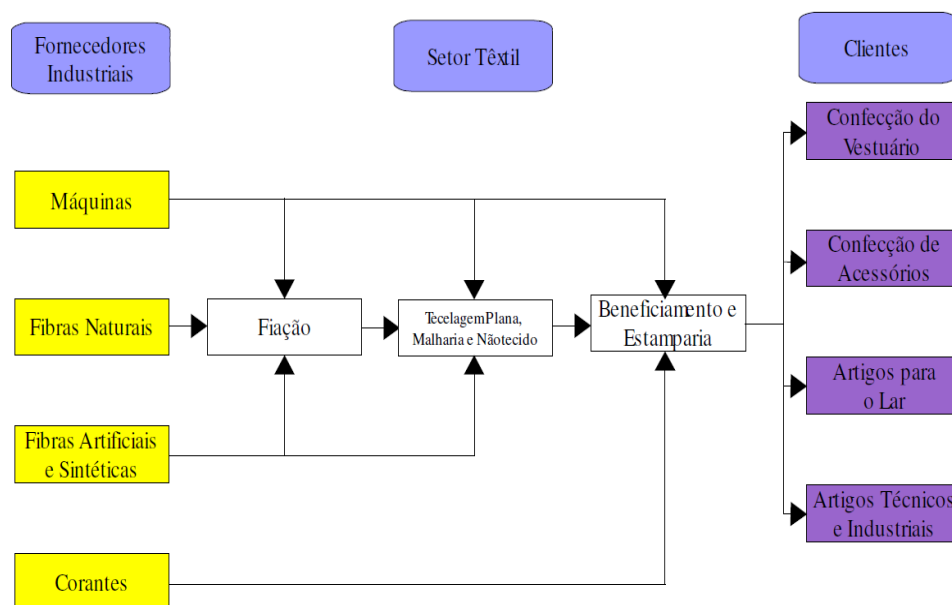
De acordo com Alcântara e Daltin (1996), as fibras naturais são fibras cuja matéria-prima é proveniente da natureza e a mesma pode ser de origem animal, vegetal e mineral. No reino vegetal, a fibra de algodão são as mais utilizadas, sendo composta pela celulose, diferentemente da fibra da seda e do amianto, que respectivamente são compostas por sericina e silicato hidratado de ferro. As fibras naturais apresentam diversas vantagens do ponto de

vista ambiental, além de serem biodegradáveis e apresentarem baixo custo, baixa densidade, boa resistência à temperatura e solventes, além de serem atóxicas.

Apesar das vantagens das fibras naturais, a partir da década de 1990 as fibras sintéticas e artificiais vêm apresentando um aumento significativo na produção mundial, decorrente da globalização e do aumento do consumo de materiais têxteis em nível mundial (BEZERRA, 2014). As fibras não-naturais, são obtidas através de processos e manipulações com compostos químicos, e se subdividem em dois grupos, as artificiais e sintéticas, nas quais as artificiais são produzidas a partir da celulose e as sintéticas a partir da indústria petroquímica.

De acordo com o Pereira (2013), os processamentos dentro da indústria têxtil mundial são compostos pelos segmentos de fiação, tecelagem e estamparia de fios e tecidos, na qual a tecelagem se subdivide em plana, malharia e não tecido. Embora os segmentos ou etapas do processo se interliguem pelas características técnicas dos produtos a serem obtidos, essas etapas não precisam necessariamente serem todas internalizadas pelas empresas. A Figura 3 apresenta os principais segmentos do complexo têxtil.

Figura 3 – Fluxograma dos Principais Segmentos do Complexo Têxtil.



Fonte: Pereira (2013)

De acordo com Pereira (2013), na etapa da fiação o produto final é o fio, apresentando como principais características o seu diâmetro ou espessura, o que é chamado tecnicamente de título do fio. Os fios têm como matéria-prima as fibras que podem ser fabricados a partir de fibras naturais, artificiais e sintéticas, sendo a fibra de algodão a mais utilizada no Brasil. Na

fiação existem várias operações nas quais as fibras são abertas, limpas e orientadas em uma única direção, paralelizadas e torcidas para que se prendam umas às outras por atrito. Ao fim do processo podem ser produzidos quatro tipos de fios, dependendo de sua finalidade. Estes podem ser denominados de fio cardado, penteado, cardado *open end* e jato de ar.

Na etapa da tecelagem, o produto final é o tecido plano e o mesmo é classificado de acordo com a matéria-prima dos fios (natural, sintética ou mista), forma de entrelaçamento dos fios, números de fios por centímetro quadrado e peso por metro quadrado. Antes que os fios sejam entrelaçados nos teares, eles passam por operações para os prepará-los para a tecelagem e essas operações se dão por urdimento e engomagem (PEREIRA, 2013).

Segundo Pereira (2013), a etapa do beneficiamento tem como finalidade melhorar as características físico-químicas do substrato independentemente de sua forma. O beneficiamento é classificado em primário, secundário e terciário. O beneficiamento primário são as operações mecânicas, físicas, químicas, bioquímicas e físico-químicas, que tem objetivo de eliminar as impurezas presentes no substrato e prepará-lo para receber coloração parcial ou total. O beneficiamento secundário se dá através de operações realizadas sobre o substrato para lhe fornecer coloração. No beneficiamento terciário ocorre a modificação e melhoria das características físico-químicas do substrato após o tingimento e/ou estamparia. É durante a etapa de beneficiamento que as fibras passam pelo processo de tingimento, onde são utilizados grandes volumes de água e corantes, fazendo com que gere uma alta quantidade de efluentes que irão ser tratados por algum método determinado pela indústria produtora, mas os tratamentos não são 100% eficazes e uma parte dos efluentes contaminados acaba indo para os meios hídricos (BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

Os efluentes contaminados não tratados quando são lançados no meio aquoso acarretam vários problemas, como a diminuição da transparência da água, que por conseguinte causa redução de penetração da radiação solar, causando danos irreversíveis para a flora e fauna que estão próximas ao descarte (OLIVEIRA, 2010).

3.2 PROCESSOS QUÍMICOS TÊXTEIS

Os processos químicos têxteis ou beneficiamentos têxteis têm por finalidade melhorar as características e aparência dos artigos e substratos têxteis, com o objetivo de torná-los mais atrativos, bonitos e úteis para os consumidores. As principais propriedades contidas nesses processos são o brilho, toque, cor, resistência, caimento, estabilidade dimensional e

durabilidade, como também se pode apresentar outras propriedades específicas para determinados usos desejáveis, como a antimicrobiana, hidrofobicidade, anti-UV, entre outras. Existem diversos fatores que influenciam diretamente nos processos a serem executados, como o tipo de matéria prima, a sensibilidade que ela apresenta sobre produtos químicos e a susceptibilidade da fibra às modificações LADCHUMANANANDASIVAM (2011).

Segundo Clark (2011), o setor de beneficiamento é o setor dentro da indústria têxtil que permite uma ampla flexibilidade dos processos, quando comparado com outros setores, e isso facilita os trabalhos de pesquisas e alterações nos mesmos. Os processos de beneficiamentos da cadeia têxtil podem ser divididos em três classes: primários, secundários e terciários (ALCÂNTARA; DALTIM, 1996. FERREIRA, 2019).

Beneficiamentos primários: são os processos iniciais que preparam os substratos para os processos químicos seguintes, com o objetivo de limpar, retirar ceras, óleos e impurezas oriundas dos materiais naturais que não foram eliminadas. Os principais beneficiamentos primários que são de suma importância para fixar a ação dos corantes de forma perfeita são os processos descritos abaixo (SALEM, 2010).

- Navalhagem;
- Escovagem;
- Chamuscagem;
- Desengomagem;
- Cozimento;
- Alvejamento.

Beneficiamentos secundários: São os processos responsáveis por aplicar “cor” ou “imagens” aos substratos. Os processos são:

- Tingimento;
- Estamparia.

Beneficiamentos terciários: São os processos responsáveis por acrescentar uma característica específica ao substrato além de suas propriedades convencionais. Alguns desses processos são:

- Funcionalidade retardante de chamas;
- Superfícies super hidrofóbicas/hidrofílicas;
- Funcionalidade antimicrobiana;
- Amaciamentos;
- Efeitos crômicos (fotocrômicos ou termocrômicos).

3.2.1 Processo de Tingimento

Segundo Salem (2010), tingimento é o beneficiamento secundário responsável por atribuir cores perceptíveis aos substratos através de alterações químicas/físicas por intermédio de corantes ou pigmentos. O processo de tingimento precisa apresentar algumas propriedades para que possua qualidade nos materiais têxteis e as mesmas são: afinidade entre corante e fibra, na qual consiste em ter características químicas iguais para que se possa ser absorvido o corante; uniformidade ou igualização, que corresponde ao substrato tingido apresentar a mesma cor ao longo da sua extensão; resistência/solidez, é a propriedade para que a cor não desbote devido ao suor, luz, lavagens ou qualquer outro fator (ALCÂNTARA; DALTIM, 1996. FERREIRA, 2019).

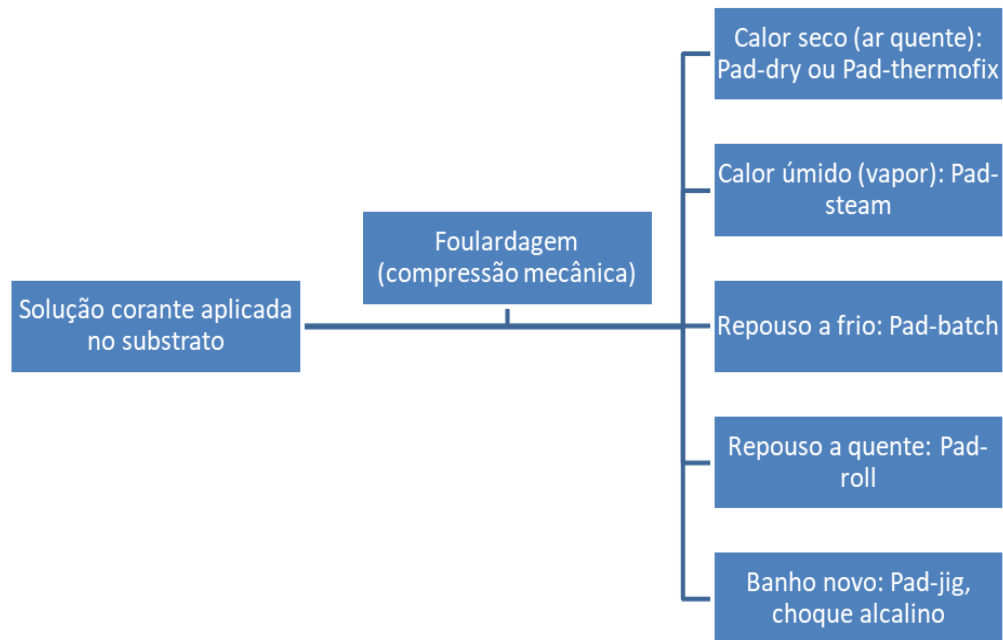
Segundo Hummel (2006), beneficiamento secundário é a coloração na qual pode ser total (tingimento), ou parcial (estamparia). O tingimento pode ser feito por meio de dois mecanismos básicos: impregnação ou esgotamento. No tingimento do tipo esgotamento, o corante utilizado apresenta uma quantidade menor quando comparado ao tingimento do tipo impregnação. No processo via impregnação, a solução corante permanece fixa enquanto o substrato passa efetivamente no banho sofrendo uma compressão mecânica (foulardagem). Logo em seguida que o substrato é comprimido, o corante pode ser fixado na fibra por vapor, repouso e novo banho ou calor à seco (SALEM, 2010). Eles apresentam diferenças para sua aplicação em cada substrato, mas contém o uso de corantes em comum, onde na Tabela 1 são apresentadas algumas das principais diferenças.

Tabela 1 – Diferenças básicas entre métodos de impregnação e esgotamento.

Impregnação	Esgotamento
Sistema contínuo/ semi-contínuo	Sistema descontínuo
Uso de força mecânica – foulardagem	Mecanismo químico
Concentrações em g/l	Concentrações em % sobre o peso do material
Corante é pressionado contra a fibra e depois fixado.	
Conceitos de Pick-up (proporção de banho que permanece no substrato após compressão, calculado através das massas da amostra seca e úmida pós-processo).	Corante se desloca do banho para a fibra – conceitos termodinâmicos, maior tempo de contato entre substrato e solução corante.

Fonte: Ferreira (2019)

Figura 4 – Fluxograma da Sequência Operacional dos Processos por Impregnação.



Fonte: Ferreira (2019)

No caso dos processos por esgotamento, os mesmos acontecem de forma diferente aos de impregnação, pelo fato de que no início há a passagem do corante contido no banho para a superfície das fibras e posteriormente ocorrem as etapas de adsorção do corante através das regiões amorfas das estruturas das fibras, a difusão do corante para o interior das mesmas e por fim, a fixação do corante no substrato (SALEM, 2010).

Diversos fatores influenciam na qualidade dos tingimentos, como a afinidade entre corante e fibra, estrutura da fibra, estrutura química do corante, tempo de processo e temperatura, eletrólitos utilizados, pH, produtos para acelerar ou retardar o processo, concentração e relação de banho (SALEM, 2010).

3.3 CORANTES

Os corantes são compostos orgânicos moleculares que apresentam dois componentes característicos: o grupo cromóforo, responsável pela cor, e o grupo funcional, que se liga às fibras do tecido sendo muito utilizados no processo de tingimento. Esses compostos são aplicados em vários substratos (materiais têxteis, papel, couro etc.) provenientes de um líquido, onde são completamente ou parcialmente solúveis (ZOLLINGER, 1991).

Existem corantes de origem natural, cuja utilização é reportada desde 3500 a.C, que são extraídos de plantas, vegetais e até de insetos. Entretanto, os corantes naturais são limitados para a indústria pelo fato de possuírem um número reduzido de cores e pelos mesmos apresentarem uma baixa solidez à luz solar e à lavagem. O primeiro corante sintético foi criado em 1586 por W.H.Perkins (KANT, 2012). Os corantes que são utilizados nos dias atuais são compostos químicos capazes de colorir um material, ou seja, modificam substratos, gerando uma reflexão de ondas eletromagnéticas que apresentam comprimentos entre 400 nm e 720 nm (cor visível) aproximadamente, e que sejam resistentes à luz e tratamentos úmidos (SALEM, 2010; ROSA, 2010).

O componente responsável pela cor, são os cromóforos: grupamento azo (exemplo 1), nitro (exemplo 2) e nitroso (exemplo 3), onde eles produzem sensações de tonalidades diferentes.

Exemplo 1: Radical – N = N – Radical

Exemplo 2: Radical – NO₂

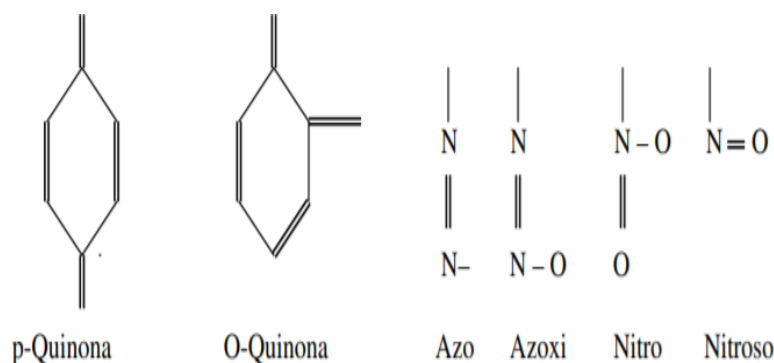
Exemplo 3: Radical – NO

De acordo com Moraes (2010), além do componente cromóforo, os corantes possuem outro grupamento chamado de auxocromo (amino, hidroxilas, carboxilas) e eles são responsáveis por definir a intensidade ou brilho das cores.

Os corantes são classificados por sua estrutura química e aplicação. A classificação referente à estrutura química diz respeito à estrutura do corante, ou seja, quantos átomos e ligações químicas ele possui e são classificados como: nitrofenol, nitrosofenol, azo, trifenilmetano, antraquinona, ftalocianina, vinilsulfônico, pirimidina e triazina. Já sua classificação referente a sua aplicação, são selecionados de acordo com a natureza da fibra que através das suas ligações químicas adquirem o corante.

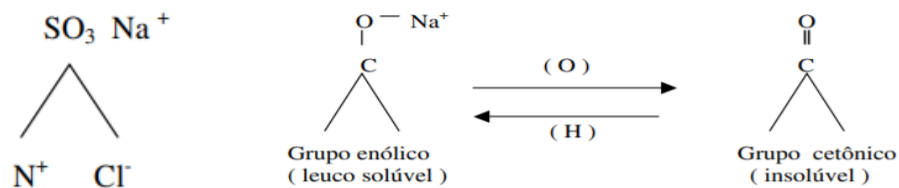
➤ Classificação dos corantes por grupos químicos:

- Grupos cromóforos:



Fonte: Twardokus (2004).

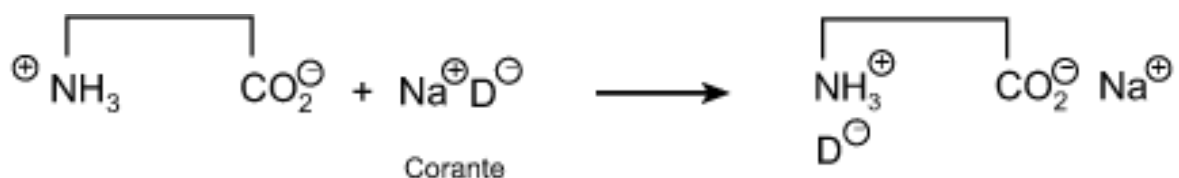
- Grupos Auxocromos:
 Amino: $-\text{NH}_2$
 Amino substituídos: $-\text{NHR}$ ou $-\text{NR}_2$
 Carboxílicos: $-\text{COOH}$
 Hidroxílicos: $-\text{OH}$
- Grupos solubilizantes:



Fonte: Twardokus (2004).

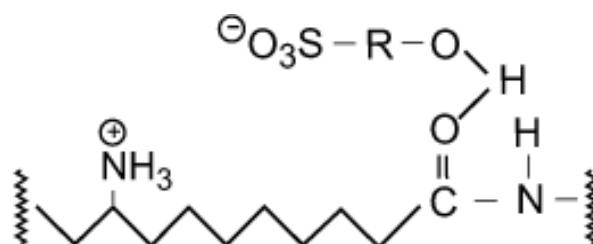
Segundo Honório (2013), a fixação dos corantes nas fibras se dá por meio de solução aquosa e pode envolver quatro tipos de interações químicas: ligações de hidrogênio, iônicas, covalentes e Van der Waals, conforme apresentado nas Figuras 5, 6 e 7. Outra característica de diferenciação dos corantes e as fibras são suas características químico-físicas, sendo aniônico, catiônico, solúvel em água, insolúvel.

Figura 5 – Interação iônica entre o corante e a fibra de lã.



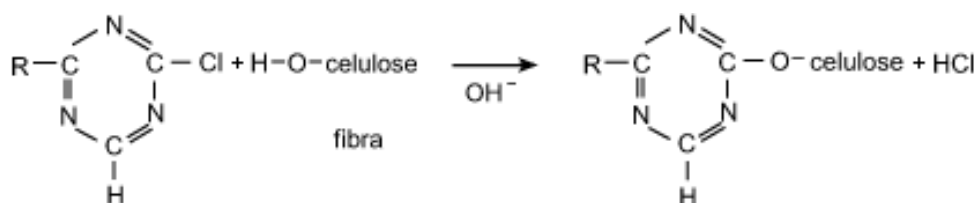
Fonte: Guaratini e Zanoni (2000)

Figura 6 – Interação de hidrogênio entre o corante e a fibra de lã.



Fonte: Guaratini e Zanoni (2000)

Figura 7 – Interação covalente entre o corante e a fibra de algodão.



Fonte: Guaratini e Zanoni (2000)

No meio comercial existe uma infinidade de corantes disponíveis no mercado e os mesmos são divididos nas suas classes de acordo com suas características. Cada classe de corante pode apresentar afinidade com um ou vários tipos de fibras. Na Tabela 2 estão representadas as principais classes de corantes utilizadas atualmente e as fibras que apresentam afinidade e sua propriedade tintorial correspondente a cada classe.

Tabela 2 – Classes de corantes e respectivas fibras.

Corante ácido	Corante reativo	Corante direto	Corante sulfuroso	Corante á cuba	Corante básico	Corante disperso
Fibras proteicas, poliamida	Fibras celulósicas e proteicas	Fibras celulósicas			Fibras acrílicas	Poliéster, poliamida, fibra acrílica e acetato de celulose

Fonte: Ferreira (2019)

➤ Classificados por aplicação:

Corantes ácidos: são também chamados de corantes aniônicos. Muitos dos corantes ácidos são sais de ácido sulfônico. Quimicamente os corantes ácidos são classificados em azo, antraquinona, trimetilmetano, xanteno, nitro, quinolina e ftalocianinas (TROTMAN, 1975).

Corantes básicos: são também conhecidos como corantes catiônicos. São solúveis em água. Os corantes básicos dividem-se em diversas classes químicas: azo, antraquinona, triarilmetano, triazina, oxima, acridina e quinolina (TROTMAN, 1975).

Corantes reativos: são compostos que contém um ou mais grupos reativos capazes de formarem ligações covalentes com um átomo de oxigênio, nitrogênio ou enxofre, de substratos como fibras celulósicas, fibras protéicas e poliamidas (TROTMAN, 1975).

Corantes diretos: também chamados de corantes substantivos. São corantes aniônicos solúveis em água e diferem dos corantes ácidos e básicos por apresentarem alta afinidade por

fibras celulósicas. A maioria são azo-compostos, similares a constituição dos corantes ácidos, não existindo uma clara delimitação entre as duas classes (TROTMAN, 1975). São aplicados em fibras celulósicas, viscose e polinósica.

Corantes ao enxofre: uma característica principal desta classe é presença de enxofre na molécula. São insolúveis em água, mas dissolve numa solução de sulfito de sódio ou hidrossulfito de sódio que atua como agente redutor (TROTMAN, 1975).

Corantes de cuba: são corantes insolúveis em água e podem ser convertidos em compostos leuco-solúveis por ação de um meio alcalino (NaOH) e agente redutor, como o hidrossulfito de sódio. Esses corantes tem afinidade com a celulose, são absorvidos pela fibra e subseqüentemente oxidados em presença de ar em um pigmento insolúvel no interior da fibra.

Corantes dispersos: são denominados corantes não-iônicos. São suspensões de compostos orgânicos finamente divididos e insolúveis em água. São aplicados em fibras sintéticas, como poliéster, nylon, diacetato de celulose e fibras acrílicas.

3.4 ÁGUA NA INDÚSTRIA TÊXTIL

A água é a substância mais abundante na Terra, correspondendo a cerca de 1.386 milhões de km³, mas grande parte da mesma é água salgada, ou seja, 97,5%, restando apenas 2,5% de água doce, sendo essa utilizada para o consumo humano. Dos 2,5% de água doce, 90% se encontram em mananciais subterrâneos e só 10% estão na superfície, fazendo com que o setor da agricultura consuma cerca de 70% de toda água doce disponível e o setor industrial 22%, restando apenas 8% para uso doméstico (TOLEDO, 2004).

De acordo com Berlin (2014), a água está presente em todos os setores industriais, e no setor têxtil ela é indispensável. O setor têxtil é responsável por 15% da água consumida pelas indústrias (SANIN,1997). Para Toledo (2004), até 2025, as indústrias serão responsáveis por 24% do consumo mundial de água. No ano de 2015, a água ou a falta da mesma causou grandes prejuízos às indústrias têxteis, e nesse período a ABIT demonstrou uma grande preocupação com a crise hídrica do país, ressaltando os prejuízos econômicos e produtivos das fábricas por estarem impossibilitadas de produzir, e questionou a influência da falta de água numa possível falta de energia, podendo trazer muitos transtornos (FIORIO, 2015).

Dentro do setor têxtil, a água começa a ser utilizada a partir do início da cadeia produtiva com o cultivo das fibras naturais até as etapas de beneficiamentos nas indústrias, o que os tornam responsáveis pelo alto gasto do recurso hídrico. No cenário industrial brasileiro, somos um dos maiores produtores mundiais de malha, o que gera uma alta produção de artigos têxteis, chegando a 2,04 milhões de toneladas (ABIT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO, 2021). Isso pode acarretar em um número elevado de produtos que passam pelos processos de beneficiamento, podendo com isso, consumir uma alta quantidade de água para que os mesmos sejam finalizados (LEITE et al., 2013).

3.5 EFLUENTES TÊXTEIS

Conforme a definição da NBR 9800 (1987), efluente líquido industrial é o derramamento provindo do estabelecimento industrial, envolvendo efluentes do processo produtivo, águas de refrigeração poluídas, águas pluviais poluídas e esgoto doméstico. Várias indústrias lançam efluentes nos meios hídricos com alta carga poluidora contendo contaminantes orgânicos e inorgânicos, como também substâncias recalcitrantes no ambiente, gerando um elevado risco à saúde humana e animal (GIL; HERNÁNDEZ, 2015). Contudo, os descartes dos efluentes industriais devem seguir padrões estabelecidos na Resolução do CONAMA 430 (2011) de forma a se evitar que o resíduo gerado cause problemas ambientais.

Nessas perspectivas, o setor da indústria têxtil apresenta um alto nível referente ao consumo de água e produtos químicos em seus processos durante a produção, que podem gerar efluentes com uma quantidade considerável de produtos químicos. Estes efluentes apresentam vários resíduos tóxicos ao meio hídrico receptor deles, gerando assim um elevado potencial de poluição. Segundo Leão et al. (2002), para se produzir um quilo de tecido existe uma demanda de consumo de cerca de 150 litros de água, descartando 88% do volume de efluente gerado e 12% perdido durante a evaporação no processo produtivo.

Os efluentes gerados na indústria têxtil tem origem nos processos de lavagem, tingimento e acabamento dos tecidos, logo, a característica visual mais notável do efluente têxtil é a cor, o que se associa à presença de corantes, principalmente os que são solúveis em água, pois não se fixam totalmente na fibra do tecido durante o processo de tingimento e lavagem, sendo então transferidos para o efluente (NAGEL-HASSEMER; CORAL, L; LAPOLLI, F. 2012).

Segundo Coughlin, Kinkle e Bishop (2003), aproximadamente 4% da produção de corantes orgânicos provenientes dos processos de síntese e aplicação são desperdiçados para o meio ambiente, gerando águas fortemente coloridas e conseqüentemente, a presença deles dificulta que os raios solares penetrem o que irá resultar em uma prejudicação do metabolismo de algumas espécies e também afetando os seres humanos, seja de forma direta, com a propagação de doenças ou indireta, com mudanças climáticas. Nesta situação, considera-se que os corantes orgânicos são recalcitrantes e carcinogênicos.

Segundo Silva (2008), o descarte indevido desses contaminantes pode causar danos rigorosos ao meio ambiente, principalmente nos recursos hídricos superficiais, causando uma alteração na transferência de oxigênio deles, diminuindo o seu poder de autodepuração. Além disso, os corantes podem alterar a coloração e diminuir a transparência das águas. Na pior das hipóteses, esses corantes podem permanecer nesses ambientes por cerca de 50 anos.

3.6 MÉTODOS DE TRATAMENTOS PARA EFLUENTES TÊXTEIS

De acordo com Oliveira (2010), um dos fatores que apresentam maiores dificuldades pelo setor industrial é o tratamento dos efluentes provenientes de suas produções e a indústria têxtil não seria diferente, pois ela é detentora de alto uso de água e produtos químicos. Estima-se que pelo menos cerca de 1% a 15% dos corantes utilizados nas indústrias têxteis são desperdiçados na etapa do processo de tingimento e conseqüentemente liberados no efluente.

Grande parte das indústrias utilizam métodos clássicos (primários) de tratamento de efluentes como etapas iniciais no processo e prosseguem o tratamento com etapa biológica (BRUNO, 2008). De acordo com Carvalho (2010), os efluentes oriundos da indústria têxtil, apresentam grandes quantidades de corantes insolúveis, que geralmente são tratados por métodos clássicos como a coagulação ou flotação, entretanto, as grandes dificuldades no tratamento estão relacionadas aos corantes que são solúveis em água. Na Tabela 3 estão descritos os tratamentos e tipos de processo utilizados no setor de efluentes.

Tabela 3 – Resumo dos processos de tratamento de efluentes.

Tratamento	Tipo de Processo	Operação Unitária
Primário	Físico	Equalização Gradeamento Clarificação Sedimentação Flotação
	Químico	Neutralização Coagulação Sedimentação
Secundário	Biológico	Lodos Ativados Filtros Biológicos Lagoas de Estabilização
	Físico/Químico	Adsorção
Terciário	Químico	Coagulação Precipitação Ozonização Cloração
	Físico	Clarificação Ultrafiltração
Avançado	Físico	Osmose Reversa Evaporação

Fonte: Saturnino (2020)

O tratamento biológico tem sua funcionalidade através de microrganismos que atuam em meio aeróbico ou anaeróbico para degradar o contaminante. Contudo, quando se relaciona aos corantes, existe uma desvantagem devido os microrganismos atuarem de maneira limitada contra os compostos orgânicos, não os degradando totalmente ou até mesmo alterando-os e transformando-os em produtos mais tóxicos (RAMYA et al., 2008; ROBINSON et al., 2001).

Segundo Mohan et al.(2002), existe a opção de se utilizar os métodos químicos, como a oxidação. Este método dispõe de resultados satisfatórios, mas apresenta um custo bastante elevado e requer a necessidade do uso de grandes quantidades de agentes oxidativos. Na Tabela 4 estão representadas as vantagens e desvantagens de cada método utilizado na remoção dos corantes têxteis.

Tabela 4 – Vantagens e desvantagens de métodos utilizados na remoção de corantes têxteis.

Método	Vantagem	Desvantagem
Reagente de Fenton	Descoloração eficiente de corantes solúveis e insolúveis	Geração de lodo
Ozonização	Aplicado no estado gasoso: não há alteração de volume	Meia-vida curta (20 min)
Fotoquímico	Não produz lodo	Forma subproduto
Hipoclorito de sódio (NaOCl)	Inicia e acelera a clivagem da ligação azo	Libera amina aromática
Cucurbituril	Boa capacidade de adsorção para vários corantes	Custo alto
Destruição eletroquímica	Compostos da decomposição química não são perigosos	Custo alto de eletricidade
Carvão ativado	Boa remoção de grande variedade de corantes	Custo alto
Turfa	Bom adsorvente por causa da estrutura celular	Área superficial específica para adsorção é menor que a do carvão ativado
Cavaco de madeira	Boa capacidade de adsorção para corantes ácidos	Requer muito tempo de retenção
Sílica-gel	Remoção eficiente para corantes básicos	Reações laterais impedem aplicação comercial
Filtração - membranas	Remove todos os tipos de corantes	Produção concentrada de lodo
Troca iônica	Regeneração: não há perda de adsorvente	Não é eficiente para todos os corantes
Irradiação	Oxidação eficiente em escala laboratorial	Requer muito O_2 dissolvido
Coagulação eletrocinética	Eficiente economicamente	Produção grande de lodo

Fonte: Saturnino (2020)

3.7 ADSORÇÃO

Segundo Ruthven (1984), a adsorção é definida como um procedimento em que ocorre transferência de massa, na qual um sólido concentra em sua superfície as substâncias existentes dos fluídos gasosos ou líquidos, ocorrendo assim à separação dos elementos. Adsorção é uma operação de transferência de massa, baseada na habilidade de certos sólidos

em concentrar na sua superfície algumas substâncias já existentes em fluidos comumente líquidos ou gasosos, permitindo a separação dos componentes desses fluidos (NASCIMENTO, 2015). O material acumulado nos sólidos é conhecido como adsorbato ou adsorvato, e o material em que o adsorvato se acumula é conhecido por adsorvente.

A adsorção pode ser classificada tanto pela natureza das forças envolvidas, quanto pela sua intensidade e divide-se em adsorção química e adsorção física. Na adsorção física, a interação entre o adsorvente e o adsorvato é observada como uma ligação relativamente fraca e é mais conhecida como forças de Van der Waals, o que são similares a forças de coesão molecular, diferentemente da adsorção química, que apresenta uma interação entre o adsorvente e adsorvato por meio de uma troca ou partilha de elétrons, resultando em uma nova ligação química muito forte (NASCIMENTO, 2015).

Segundo Nascimento (2015), a especialidade ou seletividade é um conceito bastante importante para os dois mecanismos, o que retrata a capacidade do adsorvente agir em diferentes componentes contidos no adsorbato. No caso da adsorção química, ela apresenta uma alta especificidade, pois nem todas as superfícies são capazes de adsorver quimicamente o componente, ao contrário da fisissorção que é inespecífica.

Como a fisissorção não é seletiva, a adsorção acontece por toda sua superfície e se caracteriza por não localizada, ao contrário da quimissorção, que ocorre em áreas específicas e se caracteriza como localizada (NASCIMENTO, 2015). De acordo com (ADAMSON; GAST, 1997), por mais que a fisissorção e quimissorção sejam diferentes na prática, os mecanismos podem coexistir e não serem completamente independentes.

Segundo Claudino (2003), a adsorção física ocorre quando as forças intermoleculares de atração das moléculas na fase fluida e da superfície sólida são maiores que as forças atrativas entre as moléculas do próprio fluido, e a adsorção acontece de maneira rápida e reversível, sem alteração da natureza química do adsorvato. Já na adsorção química, a mesma ocorre quando as moléculas estão unidas na superfície do adsorvente através de ligações químicas e se posiciona para causar uma grande coordenação com o substrato, causando a modificação das propriedades dos materiais envolvidos.

Os processos de adsorção são utilizados em diversos processos industriais, sendo um dos mais indicados para o tratamento de poluentes inorgânicos, orgânicos e água residuais, como por exemplo na remoção em efluentes que contém metais pesados, corantes ou fármacos. Grande parte desses poluentes são encontrados com um nível de concentração muito baixo, com isso os métodos de tratamentos físico-químicos não apresentam eficiência ou se tem uma resistência aos métodos biológicos. Deste modo, o método de adsorção surge

como uma alternativa prática para os processos de separação e purificação (NASCIMENTO, 2015). Para isso, são empregados diferentes tipos de materiais adsorventes, onde esses apresentam desde diferentes tamanhos de áreas de superfície, como distintos tamanhos de poros e distintos mecanismos de adsorção.

3.7.1 Fatores que Influenciam na Adsorção

Segundo Cooney (1999), vários fatores influenciam no processo de adsorção, como a natureza do adsorvente e do adsorvato, além das condições operacionais do sistema. Dentre as características do adsorvente, podemos citar a área superficial, densidade, tamanho do poro, e grupos funcionais presentes em sua superfície. Já no caso do adsorvato, pode-se citar a polaridade, o tamanho da molécula, a solubilidade e a acidez. Já referente às condições operacionais do sistema, pode-se citar o pH, temperatura e a natureza do solvente.

3.7.1.1 Propriedades do Adsorvente

De acordo com Domingues (2005), as características do adsorvente são peças fundamentais no processo de adsorção, sendo a taxa de adsorção e capacidade os tópicos eficientes no processo, pois as mesmas são diretamente influenciadas pela área superficial específica, polaridade, natureza do material precursor, tamanho do poro, porosidade, distribuição dos grupos funcionais.

Em relação às propriedades do adsorvato, ainda que o adsorvente apresente características excelentes, a taxa de adsorção depende do transporte intraparticular, logo, a polaridade apresenta uma forte influência e ela define se o adsorvato terá mais afinidade com o solvente ou adsorvente (DOMINGUES, 2005). Em relação a área superficial, como a adsorção é um fenômeno de superfície, espera-se que a intensidade do processo seja proporcional à área superficial específica. No caso de partículas maiores, a difusão apresenta uma resistência menor e grande parte da superfície interna da partícula não é disponibilizada para adsorção (SEKAR; SAKTHI; RENGARAJ, 2004).

Em relação ao parâmetro temperatura, esta apresenta a sua maior influência na velocidade do processo de adsorção, na qual o seu aumento pode elevar a energia cinética, como também a difusão intraparticular do adsorvato (JIMENEZ; BOSCO; CARVALHO, 2004). Além disso, de acordo com Khattri e Singh (2009), com o aumento da temperatura, a

mesma ainda pode afetar o potencial químico do adsorvato e a solubilidade. Contudo, o efeito mais importante é sobre o processo em si, havendo um aumento da taxa de difusão das moléculas do adsorvato em toda sua camada externa e interna nos poros da partícula do adsorvente e isso é ocasionado pela diminuição da viscosidade da solução. Outro ponto importante é a desobstrução dos poros, permitindo que penetrem partículas maiores do adsorvato (DOGAN; ALKAN; DEMIRBAS, 2006).

De acordo com Nascimento (2015), o pH representa o grau de distribuição das espécies químicas no processo de adsorção. As escolhas do adsorvente dependem diretamente da sua composição, logo a mesma define sua carga e essas espécies químicas tem efeito sob a superfície. Logo, o ponto de carga zero (pHPzc), é um conceito de grande importância pelo fato de que o adsorvente tende a se tornar negativamente ou positivamente carregado de acordo com o pH do meio. Segundo Apeel, Ma, Rhuel (2003), os valores de pH inferiores ao pHPzc, tem a carga superficial positiva e a adsorção de ânions é favorecida, já para valores de pH superiores ao pHPzc, a carga superficial é negativa e a adsorção de cátions é favorecida.

3.8 MATERIAIS ADSORVENTES

3.8.1 Carvão Ativado

Segundo Gonçalves et al, (2006), o carvão ativado é um sólido amorfo disponível na forma de pó ou granulado, passado por processos para que ocorra o aumento da área superficial e volume dos poros e o mesmo pode ser descrito como uma forma microcristalina e não grafítica de carbono. Após ser ativado, o carvão apresenta uma porosidade interna comparável a uma rede de túneis, no qual se bifurcam em canais menores sucessivamente.

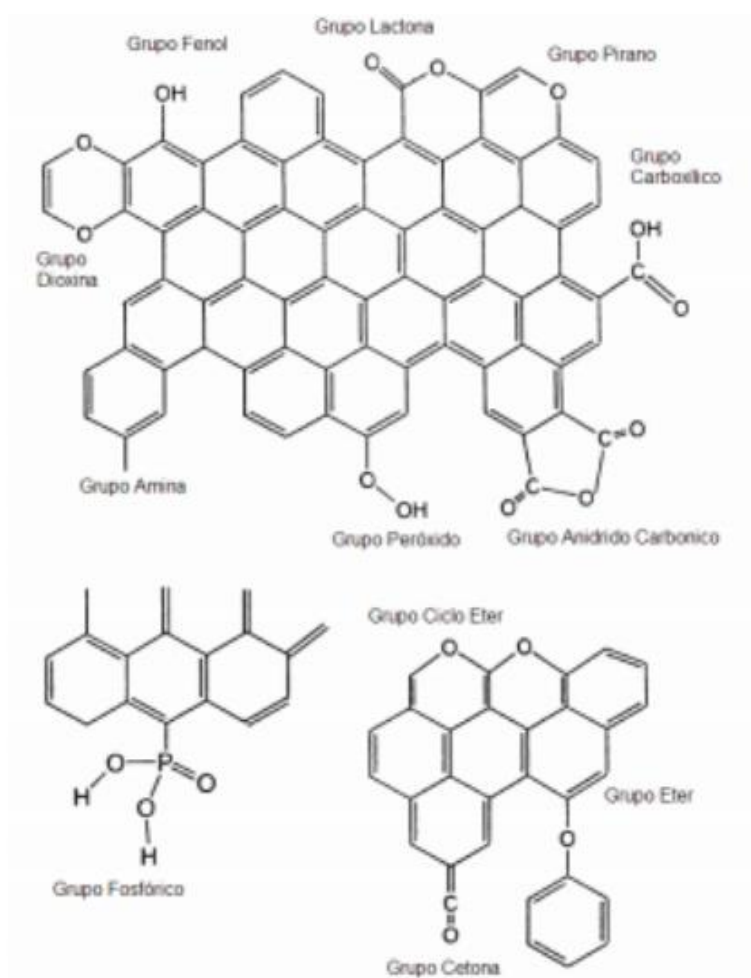
De acordo com Castro *et al.*, (2009), quando se trata de tratamento de águas residuais, o carvão ativado é um dos materiais mais populares devido a sua eficiência no processo de adsorção, apresentando uma alta diversidade de aplicações, como a utilização em tratamentos de compostos inorgânicos e orgânicos e nas operações de filtração, separação, purificação e desodorização.

A eficácia do carvão ativado sobre as águas residuais se dá pelo fato de que o mesmo apresenta uma área superficial entre 500 e 1500 m²g⁻¹, sem contar com o tratamento químico ou físico que pode melhorar as propriedades com as criações dos sítios ativos (YIN et al., 2007).

A ativação do carvão tem como objetivo a formação da estrutura porosa, sem falar do aumento da área superficial e o tamanho dos microporos. Normalmente para um material ser utilizado como carvão ativado, ele deve apresentar um alto teor de carbono e é bastante comum a utilização de materiais como a casca de coco, arroz, nozes e até mesmo carvões minerais como a antracita. Esses materiais geralmente possui um grau elevado de porosidade, com área específica que chega até $15 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ e a mesma tende a aumentar com a ativação dos átomos de carbono, chegando a uma área final de $800 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ (CLAUDINO, 2003; BALDISSARELLI, 2006). O custo é uma dificuldade para esse tipo de tratamento, pois ele não é seletivo e é ineficiente contra corantes dispersos, mas, em relação a sua recuperação, a operação é de custos elevados, complexa e arrisca a perda do adsorvente (CRINI, 2006).

As propriedades do carvão ativado dependem da estrutura porosa e da presença de grupos químicos em suas superfícies. Na Figura 8 são apresentados os grupos funcionais que se encontram nas superfícies ácidas e básicas do carvão ativado.

Figura 8. Principais grupos químicos na superfície do carvão ativado.



Fonte: Moreno-Castilla (2004)

Em relação as suas propriedades físicas e químicas, estas dependem da área superficial específica e porosidade, e da presença ou ausência de grupos ácidos e bases em sua superfície (MORENO-CASTILLA, 2004). A superfície ácida se tem a presença de grupos funcionais como: carboxílicos, fenol, carbonilo, anidrido carboxílico, ciclo peróxido, sendo obtida quando se tem um contato direto entre uma solução oxidante e o carvão ativado sob temperaturas de 300 a 400 °C. Em relação à superfície básica do carvão ativado, a mesma é caracterizada pela presença do grupo funcional Pirano, sendo formada em atmosfera inerte em temperaturas acima de 700 °C.

No estudo realizado por Oliveira et al (2013) foi utilizado o carvão ativado comercial como adsorvente na remoção do corante azul de metileno, no qual foram obtidos resultados que mostraram que o carvão ativado adsorveu quantidades expressiva do corante, reduzindo sua concentração de inicial de 9 mg/L para 3 mg/L. Esse resultado está relacionado ao fato de que o carvão ativado apresenta uma estrutura com grupos superficiais ácidos que se ionizam na presença de água produzindo sítios negativos, fazendo com que ocorra uma interação química com o azul de metileno que é um corante catiônico.

Araki, (2013) estudou a utilização do carvão ativado proveniente de resíduos de usinas de cana-de-açúcar na adsorção de corante Azul Reativo 222 presente em solução aquosa, simulando um efluente real gerado no processo de tinturaria de tecidos jeans das indústrias têxteis. Diante dos resultados das propriedades dos carvões, verificou-se que o carvão ativado com NaOH possuiu maior área específica em relação ao comercial, evidenciando sua melhor eficiência na remoção de cor. Nos testes cinéticos de adsorção do corante, as melhores condições foram obtidas com um tempo de equilíbrio correspondente a 4 horas, onde a quantidade de corante adsorvida foi de 18,52 mg de corante por grama de adsorvente utilizado, quando se trabalhava em meio básico.

3.8.2 Biomassa como Adsorvente

Biomassa é descrita como a fração biodegradável de materiais, como os resíduos agrícolas, florestais e industriais e ela apresenta uma característica adsorvente, o que faz com que a mesma seja classificada como biossorvente e seja utilizada nos processos de biossorção (VOS, 2006).

De acordo com Viera e Volesky (2008), os biossorventes são materiais naturais ou de origem biológica, como os fungos, leveduras, bactérias, entre outros. Eles são abundantes em

matéria biológica e são utilizados nos processos de remoção de metais pesados presentes nos efluentes industriais por um baixo custo. A biossorção pode ser definida como uma ligação entre o soluto e biomassa através de um processo sem o envolvimento de transporte da energia metabólica, embora cada processo possa ocorrer ao mesmo tempo quando biomassa viva é utilizada (KAUSHIK; MALIK, 2009).

Nos dias atuais para um material ser classificado como um biossorvente econômico, ele deve se apresentar de forma abundante na natureza ou facilmente encontrado em resíduo industrial (ARIEF, *et al.*, 2008). A economia é o maior atrativo, segundo Vagheti (2009), para se processar a biomassa é algo simples, apresentando um baixo custo e vários tratamentos físicos.

Chaves *et al.*, (2008) utilizaram biomassas mortas de *Aspergillus niger* como adsorvente na remoção do corante índigo carmin. Esses materiais foram ensaiados na cinética de várias formas e a que apresentou melhores resultados foi quando as mesmas foram tratadas com ácidos, na qual os resultados são equivalentes ao do carvão ativado, o que indica que o processo de biossorção fúngica pode ser um processo promissor na remoção de corantes indigóides a partir de efluentes aquoso. Os resultados obtidos através do tratamento com ácidos mostraram que o mesmo deixou a solução de corante com pH ácido (entre 3 e 5), o que indica a liberação de prótons de biomassa para a solução, contribuindo para o processo de adsorção, ao contrário de quando se utiliza tratamentos básico e salino.

Mendes, Dilarri e Pelegrini (2015) fizeram o uso de biomassa de *Saccharomyces cerevisiae* como agente adsorvente na remoção do corante direct orange 2GL. Essa levedura é um microrganismo aeróbio facultativo, ou seja, possui habilidade de se ajustar metabolicamente tanto em condições de aerobiose como de anaerobiose. Logo, os resultados foram satisfatórios, pois a mesma apresentou eficiência no tempo de tratamento do corante e por sua facilidade de decantação. Também se observou sua eficiência na remoção do corante em solução, com resultados de 0,063g absorvidos. Houve uma diferença na adsorção quando o pH variou e isso se deve ao número de sítios ativos formados diretamente proporcionais à acidificação da solução (MENDES; DILARRI; PELEGRINI, 2015).

Oliveira Neto *et al.*, (2013), estudou a casca de mandioca como adsorvente na remoção do corante têxtil turquesa remazol a partir de efluentes aquosos. Os ensaios cinéticos e isotérmicos foram feitos com 100,0 mg do adsorvente e 25,0 mL de soluções do corante sob agitação e temperatura constantes (120 rpm e 25 °C), obtendo resultado máximo de adsorção de 30 mg.g⁻¹, nas condições de pH 2,0.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho foi realizado através de um levantamento bibliográfico sobre a indústria têxtil, onde foi abordado os seus processos, com ênfase na etapa de tingimento, visto que o mesmo é detentor de um maior consumo de água dentro da indústria. O método de tratamento escolhido para estudo foi o de adsorção, no qual vem se mostrando uma metodologia promissora e eficiente, na remoção de corantes provenientes de efluentes da indústria têxtil. No conjunto de artigos e publicações encontrados na literatura foi possível analisar a eficiência do carvão ativado e da biomassa no processo de adsorção.

REFERÊNCIAS

- ABIT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO (São Paulo). **Perfil do Setor**. 2021. Disponível em: <https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acesso em: 13 dez. 2021.
- ADAMSON, A. W.; GAST, A. P. **Physical Chemistry of Surfaces**. New York: Wiley, 1997.
- ALCÂNTARA, M. R.; DALTIM, D. A Química do Processamento Têxtil. **Química Nova**, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 320-30, 1996.
- APEEL, C.; MA, L. Q.; RHUEL, R. D. **Point of zero charge determination in soils and minerals via traditional methods and detection of electroacoustic mobility**. *Geoderma*, v. 113, p. 77-93, abr. 2003. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706102003166>>. Acesso em: 17 set. 2020.
- ARAKI, P. H. H. **Adsorção de corante azul reativo 222 em carvão ativado produzido a partir do bagaço da cana-de-açúcar**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Trabalho de Conclusão de Curso. Apucarana, 2013
- ARIEF, V. O. et al. Recent progress on biosorption of heavy metals from liquids using low cost biosorbents: characterization, biosorption parameters and mechanism studies. *Clean Journal*, n. 36, p. 937-962, 2008
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9800. Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1987.
- BERLIN, L. G. A Indústria têxtil brasileira e suas adequações na implementação do desenvolvimento sustentável. **Modapalavra e-periódico**, Florianópolis, v. 7, n. 13, p. 15 - 45, 2014. Disponível em: <https://www.revistas.udesc.br/index.php/modapalavra/article/view/5117>. Acesso em: 12 abril. 2022.
- BEZERRA, F. D. Análise retrospectiva e prospectiva do setor têxtil. Informe **Macroeconomia, Indústria e Serviços**. Informe Técnico do Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE. Banco do Nordeste., v. 2, n. VIII, p. 2014, 2014.
- BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de Tratamento de águas residuárias industriais**. 18 ed., São Paulo: CETESB, 1993.
- BRUNO, M. **Utilização de zeólitas sintetizadas a partir de cinzas de carvão na remoção de corante em água**. 2008. 102f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - Autarquia Associada à Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

CASTRO, C.; GUERREIRO, M. C.; OLIVEIRA, L. C. A; GONÇALVES, M. Remoção de compostos orgânicos em água empregando carvão ativado impregnado com óxido de ferro: ação combinada de adsorção e oxidação em presença de H₂O₂. **Química Nova**, v. 32, n. 6, p. 1561-1565, 2009.

CARVALHO, T. E. M. **Adsorção de corantes aniônicos de solução aquosa em cinza leve de carvão e zeólita de cinza leve de carvão**. 2010. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares Autarquia Associada à Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

CHAVES, K. O.; MONTEIRO, C. R. L.; MUNIZ, C. R.; GOMES, R. B.; BUARQUE, H. L.B. Adsorção de índigo carmim em biomassas mortas de *Aspergillus niger*. **Nota Técnica**, Fortaleza, v. 13, n. 4, p. 351-355, 18 ago. 2008. Disponível em: file:///C:/Users/pedro/AppData/Local/Temp/Rar\$DIa1380.37418/ador%C3%A7%C3%A3o%20biomassa.pdf. Acesso em: 02 abr. 2022.

CLARK, M. (Ed.). **Handbook of Textile and Industrial Dyeing: Applications of Dyes**. Elsevier, 2011.

CLAUDINO, A. **Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/86346/192226.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 16 mar 2020.

CONAMA, Resolução. 430/2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, 2011.

COONEY, D. O. **Adsorption Design for Wastewater Treatment**. Florida: CRC Press, 1999.

COUGHLIN, M. F.; KINKLE, B. K.; BISHOP, P. L. High performance degradation of azo dye Acid Orange 7 and sulfanilic acid in a laboratory scale reactor after seeding with cultured bacterial strains. **Water Research**, v. 37, n. 11, p. 2757-2763, 2003.

CRINI, G. **Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: a review**. Bioresource Technology, 97: p. 1061-1085, 2006.

DATHEIN, R. Inovação e Revoluções Industriais: uma apresentação das mudanças tecnológicas determinantes nos séculos XVIII e XIX. **Publicações DECON Textos Didáticos**, v. 2, p. 5-7, 2003.

DOGAN, M.; ALKAN, M.; DEMIRBAS, Ö. Adsorption kinetics of maxilon blue GRL onto sepiolite. **Chemical Engineering Journal**, v. 124, p. 89-101, nov. 2006. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894706003184>>. Acesso em: 16 fev. 2020.

DOMINGUES, V. M. F. **Utilização de um produto natural (cortiça) como adsorvente de pesticidas piretróides em águas**. 2005. 224 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. 2005. Disponível em:

<<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/12811/2/Texto%20integral.pdf>>. Acesso em: 08 mar. 2020.

FCEM. **História da indústria têxtil: quais os avanços até os dias atuais?** 2019. Disponível em: <https://fcm.com.br/noticias/historia-da-industria-textil-quais-os-avancos-ate-os-diasatuais/>. Acesso em: 18 mar. 2022.

FERREIRA, I. L. S. **Tingimento de tecido de algodão com corantes reativos utilizando água do mar**. 2019. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Têxtil), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/27057/1/Tingimentotecidoalgod%c3%a3o_Ferreira_2019.pdf. Acesso em: 13 dez. 2021.

FIORIO, V. Prejuízo da falta de água na indústria têxtil é incalculável. Disponível em: <<https://www.industria hoje.com.br/prejuizo-da-falta-de-agua-na-industria-textil-e-incalculavel>>. Acesso em: 10 jan. 2022.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B., Corantes Têxteis. **Química Nova**, v. 23, n. 1, p. 71-78, 2000.

GIL, F.; HERNÁNDEZ, A. F. Toxicological importance of human biomonitoring of metallic and metalloid elements in different biological samples. **Food and Chemical Toxicology**, v. 80, p. 287-297, 2015.

GONÇALVES *et al.* Produção de carvão ativado a partir do bagaço e melaço de cana-de-açúcar. **Acta Science Technology**: Maringá, v. 28, n. 1, p. 21-27, Jan./June, 2006.

HONORIO, J. F. **Emprego da casca de soja como adsorvente na remoção de corantes reativos têxteis**. 2013. 129 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2013. Esta faltando o link

HUMMEL, J.J. The dyeing of textile fabrics. London: Adamant Media Corporation, 2006. 534 p.

JIMENEZ, R. S.; BOSCO, S. M.; CARVALHO, W. A. Remoção de metais pesados de efluentes aquosos pela zeólita natural escolecita – influência da temperatura e do pH na adsorção em sistemas monoelementares. **Química Nova**, São Paulo, v. 27, n. 5, p. 734-738, 2004. Disponível em: < <https://www.scielo.br/pdf/qn/v27n5/a11v27n5.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2020.

KANT, R. Textile dyeing industry an environmental hazard. **Natural Science**, v. 4, n. 1, p. 22–26, 2012.

KAUSHIK, P., MALIK, A., Fungal dye decolourization: Recent advances and future potential, **Environment International**, v. 35, p. 127-141, 2009.

KHATTRI, S. D.; SINGH, M. K. Colour removal from dye wastewater using sugar cane dust as an adsorbent. **Adsorption Science & Technology**, Brentwood, v. 17, n. 4, p. 269-282, 2009.

KIECKBUSCH, R. E. Cadeias de suprimentos da indústria têxtil e de confecções do médio vale do Itajaí: **comparativo entre a realidade encontrada e os referenciais teóricos**. v. 1, p. 297, 2010.

LADCHUMANANANDASIVAM, R. Processos químicos têxteis -Acabamento têxtil – Volume V. p. 117, 2011.

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

LEITE, A. S. et al. Custos ecológicos e sustentabilidade em recursos hídricos na indústria têxtil. **Revista de Ciências Gerenciais**, v. 17, n. 26, p. 103–111, 2013.

MENDES, C. R.; DILARRI, G.; PELEGRINI, R. T. Aplicação da biomassa *Saccharomyces cerevisiae* como agente adsorvente do corante Direct Orange 2GL e os possíveis mecanismos de interações adsorbato/adsorvente. **Revista Matéria**, São Carlos, v. 20, n. 4, p. 899-908, 07 maio 2015. Disponível em: file:///C:/Users/pedro/AppData/Local/Temp/Rar\$D1a14324.44571/adsortion%20biomass.pdf. Acesso em: 06 mar. 2022.

MOHAN, D. *et al.* Removal of dyes from wastewater using flyash, a low-cost adsorbent. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 41, p. 3688-3695, 2002.

MORAES, C. M. Estudo da difusão de corantes reativos em tecido de algodão. 2010. 88f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

MORENO-CASTILLA, C., **Adsorption of organic molecules from aqueous solutions on carbon materials**, Carbon, 42: 83, 2004.

NAGEL-HASSEMER, M. E.; CORAL, L. A.; LAPOLLI, F. R. Processo UV/H₂O₂ como pós-tratamento para remoção de cor e polimento final em efluentes têxteis. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 5, p. 900-904, 2012.

NASCIMENTO, P. F. P. **Aproveitamento de resíduos sólidos contendo metais originados do processo de pirólise de biomassas para adsorção de CO₂**. 2015. 124f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2015.

OLIVEIRA, E. H. C. **Adsorção de corantes da indústria têxtil (indosol) em resíduos industriais (lama vermelha e argila esmectita)**. 2010. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010. Cap. 4. Disponível em: file:///C:/Users/pedro/AppData/Local/Temp/Rar\$D1a16000.41012/arquivo121_1.pdf. Acesso em: 04 fev. 2022.

OLIVEIRA NETO, J. C. de; HOLANDA, C. A.; SANTANA, S. A. A.; BEZERRA, C. W. B.; SILVA, H. A. dos S. Adsorção do corante turquesa remazol por casca de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Cadernos de Pesquisa**, São Luís, 2013. DOI: 10.18764/2178-2229. v20, n.especial, p.44-52. Disponível em:

<http://periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/cadernosdepesquisa/article/view/1756>. Acesso em: 12 jun. 2022.

PEIXOTO, F.; MARINHO, G.; RODRIGUES, K. Corantes têxteis: Uma revisão. **Holos**, vol. 5, 2013, p. 98-106. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal-RN. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1239/729>. Acesso em: 04 mar. 2022.

PEREIRA, G. S. **Introdução à tecnologia têxtil**. Aranguá: CEFET/SC, 2013. 101 p.

RAMYA, M.; ANUSHA, B.; KALAVATHY, S. Decolorization and biodegradation of Indigo carmine by a textile soil isolate *Paenibacillus larvae*. **Biodegradation**. v. 19, p. 283-291, 2008.

ROBINSON, T; MCMULLAN, G.; MARCHANT, R.; NIGAM, P. **Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative**. Bioresource Technology. v. 77, p. 247-255, 2001.

ROSA, J. M. **Sustentabilidade no beneficiamento têxtil: Produção de tingimentos com reuso de efluente 86 tratado por fotocatalise via UV / H₂O₂**. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2010. Disponível em: http://bibliotecatede.uninove.br/bitstream/tede/171/1/B_Jorge%20Marcos%20Rosa.pdf. Acesso em 15 Fev. 22

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

SALEM, V.; **Tingimento têxtil: fibras, conceitos e tecnologias**. São Paulo: Blucher, 2010.

SANIN, L. B. B. **A Indústria Têxtil e o Meio Ambiente**. Química Têxtil, p.13-34, 1997.

SATURNINO, I. M. **Estudo da adsorção no tratamento de corantes presentes em efluentes têxteis: uma revisão sistemática das monografias da UFRN**. 2020. 69 f. TCC (Graduação em Engenharia Química), Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.

SEKAR, M.; SAKTHI, V.; RENGARAJ, S. Kinetics and equilibrium adsorption study of lead (II) onto activated carbon prepared from coconut shell. **Colloid and Interface Science**, v.279, p. 307-313, nov. 2004. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021979704005612>>. Acesso em: 2 set. 2020.

SILVA, T. C. **Tratamento de efluentes têxteis por adsorção em argilas e terra de filtro usadas**, 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Departamento de Pós-Graduação em Engenharia Química - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

TOLEDO, R. A. S., **Tecnologia da Reciclagem**. Química Têxtil, p.8-14, 2004.

TROTMAN, E. R ; **Dyeing and chemical technology of textile fibres**. 5 ed., Charles Griffin & Company Ltda, London, 1975.

TWARDOKUS, R. G. **Reuso de água no processo de tingimento da indústria têxtil**. 2004. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/88051/212455.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 21 fev. 2022.

TWARDOKUS, R. G. **Reuso de água no processo de tingimento da indústria têxtil**. 2004. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2004. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/88051/212455.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 04 maio 2022.

VAGHETTI, J. C. P.; **Utilização de biossorventes para remediação de efluentes aquosos contaminados com íons metálicos**. 2009. 99f. Tese (Doutorado em Química). Programa de Pós-Graduação em Química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

VIEIRA, R.H.S.F.; VOLESKY, B. Biosorption: a solution to pollution? **International Microbiology**, v. 3, p. 266-291, 2008.

VOS, R. Defining biomass: which types of biomass will count as renewable energy sources. **Refocus**, v. 7, n. 5, p. 58-59, 2006.

YIN, C. Y.; AROUA, M. K.; DAUD, W.M.A. Review of modifications of activated carbon for enhancing contaminant uptakes from aqueous solutions. **Separation and Purification Technology**, v. 52, p. 403-415, 2007.

ZOLLINGER, H.; **Color chemistry: syntheses, properties and applications of organic dyes and pigments**. 2. Ed., VCH Publishers, Inc., New York, 1991.