

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA

CAMPUS LAGOA DO SINO

FELIPE GOMES TASSI

**METODOLOGIAS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS – UMA
REVISÃO**

BURI

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA

CAMPUS LAGOA DO SINO

FELIPE GOMES TASSI

**METODOLOGIAS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS – UMA
REVISÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como exigência parcial para a obtenção do grau
de Bacharel em Engenharia Ambiental na
Universidade Federal de São Carlos.

Orientação: Profa. Dra. Mônica Helena Marcon
Teixeira Assumpção

BURI

2022

Tassi, Felipe Gomes

Metodologias para tratamento de efluentes têxteis - Uma
revisão / Felipe Gomes Tassi -- 2022.
56f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos,
campus Lagoa do Sino, Buri

Orientador (a): Mônica Helena Marcon Teixeira
Assumpção

Banca Examinadora: Beatriz Cruz Gonzalez, Jorge Luis
Rodrigues Pantoja Filho

Bibliografia

1. Efluentes têxteis. 2. Corantes. 3. Tecnologias
alternativas de tratamento. I. Tassi, Felipe Gomes. II.
Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Lissandra Pinhatelli de Britto - CRB/8 7539

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

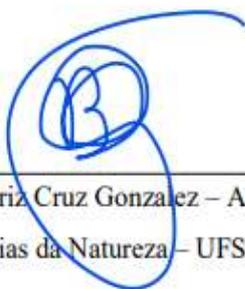
FOLHA DE APROVAÇÃO

Assinatura dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso do candidato Felipe Gomes Tassi realizado por meio de parecer técnico.

Aprovado em: 12/04/2022



Prof. Dra. Mônica Helena Marcon Teixeira Assumpção – Orientadora
Centro de Ciências da Natureza – UFSCar – *Campus* Lagoa do Sino.



Prof. Dra. Beatriz Cruz Gonzalez – Avaliadora 1
Centro de Ciências da Natureza – UFSCar – *Campus* Lagoa do Sino.



Prof. Dr. Jorge Luis Rodrigues Pantoja Filho – Avaliador 2
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE

Aos meus pais,
que nunca pouparam esforços para investir em minha educação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por toda a força, amor, suporte e oportunidades durante esses anos, não me abandonando nos momentos mais difíceis.

À minha família, em especial aos meus pais Deisimar Gomes Tassi e Nelson Odair Tassi e à minha irmã Giovanna Gomes Tassi, que foram os grandes responsáveis por mais essa etapa concluída, me apoiando desde o início e fazendo o possível para que esse sonho, que não é só meu, pudesse se tornar realidade.

À minha orientadora profa. Dra. Mônica Assumpção, por toda a paciência, carinho, oportunidades, confiança, conhecimento e apoio desde o início da minha graduação, sempre me guiando da melhor forma possível. Muito obrigado!

Aos meus amigos de república, Mateus Gomes, Mário Gabriel, Bianca Jacobe e Nicoli Gomes, a vocês eu só tenho que agradecer por cada momento que ficou registrado em minhas memórias, hoje só sou quem sou por aprender diariamente com as diferenças de cada um ao longo desses anos. Hoje posso dizer que não somos mais companheiros de república, somos uma família. Muito Obrigado por tudo!

Agradeço também aos colegas e amigos da graduação, os quais foram essenciais durante toda essa trajetória e pelas boas memórias que carrego. Obrigado Teresa Xavier, Matheus Mônaco, Vinícius Orlandi, Vinícius Rainer, Cristian Oshiro, Jackeline Ambrósio, Gabriela Ribeiro, Yuri Castro e a todos aqueles que convivi ao longo desses anos de graduação, mencionados aqui ou não, muito obrigado por existirem e marcarem esse ciclo.

Um obrigado especial e cheio de saudade à Budapeste e à pacata Gödöllő, por terem me proporcionado momentos inesquecíveis. A todos aqueles que fizeram essa experiência ser incrivelmente única, deixo registrado meu mais sincero *köszönom szépen*, em especial Priscilla Cavalcanti, Adrielle Marques, Luiz Felipe Scarpi, Leonardo Araújo, Luis Guilherme e Jack Khina, por serem minha família na Hungria. Espero revê-los em breve.

Por fim, meu mais sincero obrigado a todos aqueles que marcaram diretamente ou indiretamente a minha trajetória. Um grande abraço!

“A motivação é uma porta que se abre por dentro.”

Mário Sérgio Cortella

RESUMO

O crescimento urbano desordenado causa diariamente o descarte de elevadas quantidades de efluentes, tanto domésticos como industriais, nos corpos hídricos receptores dos centros urbanos, elevando significativamente os fatores responsáveis pela degradação ambiental. Um dos ramos industriais responsáveis pelo lançamento de grande carga poluidora é o têxtil, visto que a produção é volumosa e, em 2018, atingiu marcas de produção superiores a 2 milhões de toneladas. Seus efluentes, em sua maioria, possuem grande quantidade de corantes que não foram absorvidos durante toda a cadeia produtiva e suas características variam de fábrica para fábrica e podem conter números expressivos de compostos químicos, passando de oito mil em alguns casos, como ácidos, compostos tóxicos e corantes, sendo este último um dos maiores inconvenientes do ramo têxtil. No Brasil, em razão do baixo custo de implantação e operação, a indústria têxtil faz uso de tecnologias para tratamento de seus efluentes que muitas das vezes não são suficientes para remover todos os compostos desejados, entretanto, existem soluções alternativas para o tratamento desses resíduos que possuem boa eficiência e que não necessariamente requerem alto investimento e área de instalação, garantindo novos caminhos para solução de descarte desses efluentes. Este trabalho compilou diversos estudos científicos, nacionais e internacionais, relacionados ao tema de tratamento de efluentes têxteis, trazendo uma visão ampla sobre como o assunto vem sendo abordado em todo o mundo, comparando as diferentes tecnologias empregadas, os pontos positivos e negativos de cada metodologia e os limites dos parâmetros aceitos para descarte pelos órgãos ambientais nacionais, além de ser um compilado essencial no auxílio da divulgação e disseminação das diversas possibilidades de tratamento de efluentes industriais têxteis.

Palavras-chave: Efluentes têxteis. Corantes. Tecnologias de tratamento de efluentes.

ABSTRACT

The sharp urban growth causes daily the disposal of high amounts of effluents, both domestic and industrial, in the water bodies located in urban centers, significantly increasing the elements responsible for environmental degradation. One of the industrial branches responsible for the release of a large pollutant load is textiles, since production is voluminous and, in 2018, reached production levels of over 2 million tons. Its effluents, for the most part, have many dyes that were not absorbed throughout the production chain and their characteristics vary from factory to factory and may contain significant numbers of chemical compounds, exceeding eight thousand in some cases, such as acids, chemicals and dyes, the latter being one of the biggest drawbacks of the textile industry. In Brazil, due to the low cost of implantation and operation, the textile industry makes use of methodologies for the treatment of its effluents that many times are not enough to remove all the desired compounds, however, there are alternative solutions for the treatment of these residues that have good efficiency and do not necessarily require high investment and installation area, ensuring new ways to dispose these effluents. This study compiled several scientific studies, national and international, related to the topic of textile effluent treatment, bringing a broad view of how the subject has been approached around the world, comparing the different technologies used, the positive and negative points of each methodology and the limits of parameters accepted for disposal by national environmental agencies, in addition being an essential compilation to help the dissemination of many possibilities for treating textile industrial effluents.

Keywords: Textile effluents. Dyes. Technologies for effluents treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Rota dos corantes sintéticos em ambientes aquáticos	23
Figura 2 – Principais poluentes gerados em cada etapa do processo de produção têxtil	24
Figura 3 – Minimização de resíduos através do conceito de “triângulo invertido”	30
Figura 4 – Fluxograma do tratamento de efluentes utilizando o sistema convencional de lodos ativados	34
Figura 5 – Fluxograma do tratamento do efluente de uma indústria têxtil utilizando o tratamento físico-químico seguido do biológico por lodos ativados	36
Figura 6 – Fluxograma típico de um sistema de lagoa aerada facultativa	37
Figura 7 – Esquema representativo do tratamento utilizando osmose reversa	39
Figura 8 – Módulo de OR à nível industrial para tratamento de efluente têxtil	40
Figura 9 – Diferentes tipos de camadas de adsorvato em ambos os tipos de adsorção	41
Figura 10 – Diagrama do fluxo de processos combinados para tratamento de efluente têxtil	42
Figura 11 – Representação esquemática da fotocatalise heterogênea	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Corantes naturais utilizados para colorir fibras têxteis.....	19
Tabela 2 - Algumas das classificações de corantes de acordo com a estrutura química.....	21
Tabela 3 – Classificação dos corantes de acordo com o método de fixação	22
Tabela 4 – Características típicas de efluentes industriais têxteis reais	25
Tabela 5 – Padrão de lançamento de efluentes de qualquer fonte poluidora	27
Tabela 6 – Padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos estabelecidos pela CETESB no decreto nº 8.468 de 1976	29
Tabela 7 – Diferentes níveis do tratamento convencional de efluentes líquidos.....	31
Tabela 8 – Característica do efluente têxtil após processo de flotação	33
Tabela 9 – Comparação de rendimento entre os processos de tratamento	36
Tabela 10 – Sistemas típicos de processos oxidativos avançados.....	43
Tabela 11 – Faixas de remoções de alguns parâmetros para diferentes tipos de metodologias de tratamento de efluentes têxteis	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AATCC – Association of Textile Chemists and Colourists

ABIT – Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confeção

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

MMA – Ministério do Meio Ambiente

NTK – Nitrogênio Total Kjeldahl

OCDE – Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico

ONU – Organização das Nações Unidas

OR – Osmose Reversa

pH – Potencial Hidrogeniônico

POA – Processo Oxidativo Avançado

SDC – Society of Dyers and Colourists

SISNAMA – Sistema Nacional de Meio Ambiente

TDH – Tempo de Detenção Hidráulico

UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket

US EPA – United States Environmental Protection Agency

UV - Ultravioleta

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	17
2.1. Geral.....	17
2.2. Específicos	17
3. REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1. Indústria Têxtil.....	18
3.2. Corantes	19
3.2.1. Corantes Naturais.....	19
3.2.2. Corantes Sintéticos.....	20
3.2.3. Características	20
3.3. Problemática Ambiental	22
3.4. Caracterização dos efluentes têxteis	24
3.5. Legislação Brasileira.....	26
3.5.1. CONAMA.....	26
3.5.2. CETESB.....	28
3.6. Metodologias para tratamento de efluentes industriais têxteis líquidos	30
3.6.1. Processos físico-químicos.....	32
3.6.2. Tratamentos biológicos	33
3.6.2.1. Lodos Ativados	34
3.6.2.2. Lagoas Aeradas	37
3.6.2.3. Filtros Biológicos	37
3.6.3. Tratamentos terciários e avançados	38
3.6.3.1. Osmose reversa	39
3.6.3.2. Adsorção	41
3.6.3.3. Processos oxidativos avançados.....	43
3.6.3.3.1. Ozônio	44
3.6.3.3.2. Fotocatálise Heterogênea	45
3.7. Comparação da remoção de compostos poluentes entre as metodologias.....	47
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1. INTRODUÇÃO

Além de ser um bem escasso, único e essencial para a continuidade da vida e de diversas atividades do dia a dia, a água é ainda um dos principais recursos responsáveis pelo avanço do desenvolvimento econômico e cultural da sociedade e, por conta disso, a Organização das Nações Unidas (ONU) a classifica em um de seus dezessete objetivos, mais especificamente o sexto (água potável e saneamento), visando assegurar a disponibilidade e gestão sustentável deste recurso, além do saneamento para todas e todos (ONU, 2022).

O crescimento urbano desordenado junto aos complexos usos da água pelo homem causa diariamente o descarte de elevadas quantidades de efluentes nos corpos hídricos receptores dos centros urbanos, elevando significativamente os fatores responsáveis pela degradação ambiental (CALIJURI e CUNHA, 2013).

No cenário atual, um importante fator no aspecto da proteção ambiental dos corpos hídricos é o tratamento dos efluentes antes do seu lançamento *in natura* sobre os rios e córregos dos municípios, principalmente os de origem industrial. Dentro desse contexto, um dos ramos industriais responsáveis pela geração de grande carga poluidora é o têxtil, visto que seus efluentes, em sua maioria, possuem grande quantidade de corantes que não foram absorvidos no processo de tingimento (LIMA, LIMA, VIEIRA e SILVA, 2014).

Apesar do Brasil ser o 5º maior produtor de materiais têxteis do mundo e fazer girar uma boa parte da economia nacional, esse ramo industrial consome elevada quantidade diária de água quando comparado com diferentes setores industriais. Sabe-se ainda que a maior parte desse consumo ocorre durante o processo de tinturaria e acabamento, já que aproximadamente 15% do corante utilizado não fixa no tecido e é perdido durante o processo, gerando o equivalente a 100 litros de efluente a cada quilo de material produzido (ARSLAN-ALATON *et al.*, 2008; JAYANTHY *et al.*, 2014 *apud* ALVES *et al.*, 2019).

Por ser caracterizada como uma indústria de transformação, acaba por utilizar grande variedade de técnicas, máquinas, corantes e produtos durante o processo industrial, sendo complexa a composição da água residuária ao final do ciclo, requerendo um tratamento diferenciado dos efluentes em geral. A coloração acaba por ser uma das principais características desse tipo de resíduo e, se não for devidamente removida, pode ser responsável pela alteração da atividade fotossintética de um corpo hídrico, por exemplo, levando ao esgotamento do oxigênio ali presente (RONDON *et al.*, 2015; KHARAT, 2015 *apud* ALVES *et al.*, 2019).

Além disso, do ponto de vista ambiental, tal setor é citado como um dos principais no que se refere a poluição hídrica, visto que é um ramo que utiliza de uma enorme variedade de produtos químicos (podendo chegar a mais de oito mil), indo desde corantes à agentes dispersantes, dificultando a padronização de uma tecnologia capaz de auxiliar no completo tratamento desses resíduos (ARSLAN-ALATON *et al.*, 2008; SHARMA, SHARMA e SONI, 2021).

Alguns corantes comumente utilizados possuem propriedades que afetam não somente o meio em que foi descartado sem tratamento prévio, mas também o seu entorno, visto que possuem propriedades bioacumulativas, interferindo em toda a cadeia trófica ou ainda podendo ocasionar a morte de vários organismos, como peixes e invertebrados, devido as elevadas concentrações das substâncias químicas na água, muitas das vezes superiores a dose letal suportada (SAGGIORO *et al.*, 2012).

No geral, para disposição final deste tipo de efluente nos corpos hídricos, é comum a utilização de processos físicos, químicos e biológicos para o tratamento, como floculação, coagulação, adsorção com carvão ativado, precipitação, dentre outros, porém os efluentes provenientes de indústrias têxteis são, em sua grande maioria, resistentes a essas metodologias convencionais (SOUZA e PERALTA-ZAMORA, 2005).

Nas últimas décadas a procura por novos métodos de remoção de corante aumentaram consideravelmente, devido não somente ao seu potencial de toxicidade quando em contato com os corpos receptores, mas principalmente devido a facilidade de se notar nas águas quando uma indústria têxtil não cumpre com seus requisitos, levantando assim questionamentos públicos referente às questões ambientais (GREAVES *et al.*, 2001 *apud* BELTRAME, 2006).

Deste modo, conhecendo os malefícios relacionados ao não tratamento ou tratamento incorreto de efluentes complexos, faz-se necessário o desenvolvimento de novas técnicas que sejam eficientes no processo de descoloração para disposição final adequada destes resíduos (FIOREZE, SANTOS e SCHMACHTENBERG, 2013).

No Brasil, as indústrias devem atender a padrões de qualidade ambiental rigorosos antes de realizarem o lançamento de seus efluentes em quaisquer corpos hídricos. Esses padrões estão descritos em legislações que visam definir se determinado poluente pode estar presente no efluente, ou então, a sua concentração máxima para descarte (VALVERDE, MORAIS, CAIXETA e CARNEIRO, 2016).

Desta forma, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), no ano de 2005, promulgou a Resolução 357, que posteriormente foi complementada e alterada pela Resolução 430/2011, com a finalidade de reger os parâmetros de descarte de efluentes, delimitando as condições e padrões adequados para tal fim (CONAMA, 2011).

Além disso, tem-se ainda a Lei Federal nº 9.433/97 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e por meio dela delimita a cobrança pelo uso de águas superficiais e subterrâneas, garantindo com que todas as indústrias que realizam o descarte desses efluentes se atentem aos padrões definidos em ambos os documentos, evitando que problemas ambientais, resultantes da omissão desses parâmetros, ocorram (BRASIL, 1997).

Nota-se, portanto, que as indústrias têxteis necessitam implementar métodos novos e mais coerentes para tratamento de suas águas residuárias, evitando que grandes cargas de poluentes cheguem aos corpos hídricos e prejudiquem não somente a parcela ambiental do ecossistema, mas também a social e econômica (QUEIROZ *et al.*, 2019).

Visando a redução desses prejuízos, a introdução de novas tecnologias que possuam uma boa eficiência e baixo custo de manutenção para o tratamento desses resíduos, são essenciais, visto que ainda hoje utilizam-se de tecnologias ambientais desenvolvidas entre as décadas de 1970 e 1990 que, para a situação atual, encontram-se obsoletas e necessitam de renovações (CARREIRA, 2006).

Há uma urgência do setor pela busca dessas tecnologias, de modo que a relação seja sempre positiva para o corpo hídrico que receberá a carga industrial. Nota-se que a literatura disponível aborda frequentemente a implementação e estudo de diversas dessas novas alternativas de tratamento de efluentes têxteis (CARREIRA, 2006).

Assim, o presente trabalho visou compilar trabalhos científicos que estudem tratamentos adequados e eficientes para esses resíduos, com o intuito de discutir sobre os principais corantes utilizados, comparando-os frente aos aspectos positivos e negativos e, ainda, contribuindo na compilação, divulgação e disseminação das diversas novas possibilidades de tratamento de resíduos têxteis no Brasil.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Objetivou-se com esse trabalho fazer uma revisão bibliográfica a respeito dos diferentes métodos de tratamento de efluentes gerados pela indústria têxtil no Brasil, comparando-os em termos de eficiência e/ou porcentagem de remoção de corante.

2.2. Específicos

- Elencar os principais tipos de corantes utilizados pela indústria têxtil;
- Apresentar as legislações e padrões vigentes, a nível nacional, para descarte dos efluentes gerados pela indústria têxtil em corpos hídricos;
- Elencar quais as metodologias mais eficazes de tratamento dos efluentes em questão;
- Discutir as diferentes metodologias de tratamento levantadas considerando os seguintes aspectos: eficiência e/ou porcentagem de remoção de corante.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Indústria Têxtil

Segundo a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção – ABIT, devido a sua longa cadeia produtiva, que vai desde o campo até a confecção, o setor industrial têxtil é um dos mais complexos e tradicionais do mundo, englobando os mais diversos países, estando presente desde os mais economicamente ativos, como a China, até aqueles de menor desenvolvimento socioeconômico, como Bangladesh a exemplo (ABIT, 2017).

No mundo, de acordo com o economista industrial Biagio de Oliveira Mendes Júnior (2017), o setor de fibras têxteis vem obtendo uma média de crescimento em torno de 2,8%, com faturamento ultrapassando a ordem dos US\$ 320 bilhões, sendo a China responsável sozinha por cerca de 54% da produção mundial de materiais têxteis, seguida distantemente pela Índia que ocupa a segunda posição com 7,1% da parcela mundial de mercado desse setor.

O Brasil, apesar de ser o maior produtor do Ocidente, encontra-se na quinta posição entre os maiores produtores de materiais têxteis do mundo, porém, quando analisamos as participações desses no comércio mundial do setor, ou seja, a participação no processo de exportação de produtos, o Brasil por não conseguir competir com os preços dos países asiáticos, encontra-se na 40ª posição no ranking de exportadores mais significativos, equivalendo a 0,3% do geral exportado pelos demais países (JUNIOR, 2017).

Apesar do seu baixo ranqueamento à nível de exportação, a produção brasileira é volumosa e escoada, em sua maioria, no mercado interno, alcançando a marca de 2 milhões de toneladas confeccionadas no ano de 2018, representando um faturamento de mais de US\$ 50 bilhões e com previsão de crescimento contínuo para os anos seguintes (CAVALCANTI e SANTOS, 2021).

Analisando o panorama nacional, que em 2014 atingiu seu pico de 3045 empresas do setor em operação, nota-se que, embora o Sudeste concentre grande parte da produção do país, o estado de São Paulo é destaque, mais precisamente a Região Metropolitana de São Paulo e Campinas, empregando aproximadamente 28% da mão de obra do setor nas mais diversas etapas da cadeia produtiva e responsável por 37,4% da produção nacional, seguido por Santa Catarina, com enfoque para o Vale do Itajaí, representando 15% da mão de obra do setor e 22,6% da produção nacional, garantindo assim uma relevância socioeconômica expressiva na rotina do país (ABIT, 2017; JUNIOR, 2017).

3.2. Corantes

Apesar dos corantes naturais já serem utilizados de diversas formas há milhares de anos, como através da pintura na parede das cavernas pelos primeiros seres humanos, foi apenas em 1856 que descobriram, acidentalmente, o primeiro corante sintético, sendo então amplamente difundido no mundo (RECK e PAIXÃO, 2016).

Os corantes podem ser definidos como substâncias que, quando utilizadas junto das fibras, acabam por conferi-las a sua coloração padrão, permitindo o material resistir ao desbotamento após exposição as intempéries naturais e até mesmo aos produtos químicos. Assim, com o avanço da indústria têxtil no decorrer dos anos, houve um crescimento proporcional na utilização desses corantes sintéticos e diversos foram sendo sintetizados, somando mais de dez mil em todo o mundo (RECK e PAIXÃO, 2016).

3.2.1. Corantes Naturais

Os corantes naturais são extraídos a partir de recursos amplamente disponíveis na natureza, garantindo o baixo custo e acessibilidade. Ademais, quando comparados com os corantes sintéticos, os naturais são menos nocivos ao meio ambiente por serem facilmente biodegradáveis e produzirem efluentes atóxicos, além de não serem cancerígenos, garantindo segurança a saúde daqueles que utilizam desse tipo de material (SILVA, 2018).

Em todo o mundo, a quantidade de corantes naturais utilizados anualmente é de aproximadamente dez mil toneladas, sendo o equivalente a apenas 1% do total da produção e utilização de corante sintético, porém, apesar das baixas taxas, nos últimos anos houve um aumento na procura por esse tipo de produto, principalmente pelo setor têxtil que o utiliza no tingimento das fibras (SILVA, 2018). A Tabela 1, a seguir, traz os corantes naturais mais utilizados no tingimento de fibras têxteis.

Tabela 1 – Corantes naturais utilizados para colorir fibras têxteis

Planta	Nome Científico	Cor	Origem do Corante
Pau Brasil	<i>Caesalpinia echinata</i>	Vermelho ou Rosa	Serragem do cerne
Urucum	<i>Bixa orellana L.</i>	Laranja avermelhado	Sementes
Açafrão da terra	<i>Curcuma longa</i>	Castanho avermelhado	Rizoma
Eucalipto	<i>Eucalyptus spp</i>	Castanho amarelado	Folhas

Fonte: Adaptado de Ferreira, 1998 *apud* Silva, 2018.

Apesar das diversas vantagens relacionadas à esse tipo de corante, nota-se uma restrição frente a diversidade de cores passíveis de serem produzidas, visto que os produtos dos quais o corante será extraído já possuem uma coloração padrão, fato este que contribuiu para a limitação da expansão dos mesmos, além disso, o tempo de preparação da pigmentação e a baixa fixação após lavagem, devido as fracas ligações formadas, somam-se e acabam por inviabilizar a utilização dos corantes têxteis naturais em escala industrial (SILVA, 2018).

3.2.2. Corantes Sintéticos

Após Perkin sintetizar o primeiro corante artificial, em 1856 na Inglaterra, deu-se início a real expansão do mercado têxtil, visto que o custo de produção desses corantes é bem menor quando comparamos com o natural, além da facilidade de se conseguir as mais diversas tonalidades desejadas e maior grau de fixação às fibras têxteis (ZANONI e YAMANAKA, 2016).

Porém, sabe-se que, devido à alta complexidade envolvida na cadeia produtiva desses corantes, podendo ser superior a 500 etapas para os mais complexos, perde-se aproximadamente 2% do material produzido, todavia, quando comparamos com a capacidade e volume de produção, o investimento nos corantes artificiais ainda compensam frente aos naturais (ZANONI e YAMANAKA, 2016).

Em sua última publicação, o *Colour Index* - revista destinada a qualquer produtor de corante e/ou pigmento para registrar seus produtos e gerida pela *Society of Dyers and Colourists* (SDC) e *American Association of Textile Chemists and Colourists* (AATCC), foram registrados mais de 27 mil corantes e pigmentos produzidos em escala comercial para as mais diversas finalidades (*Colour Index*, 2021). Apesar dessa enorme quantidade de produtos, cada vez mais busca-se não realizar a síntese de novos corantes, mas sim, otimizar os processos de obtenção dos já existentes, garantindo economia nas diversas etapas de produção e enfoque em aspectos ecológicos da síntese, visando produtos menos agressivos ao meio ambiente (ZANONI e YAMANAKA, 2016).

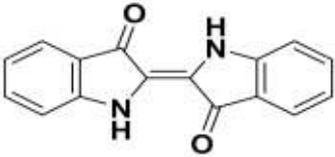
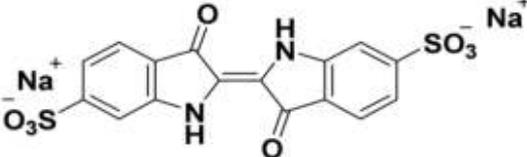
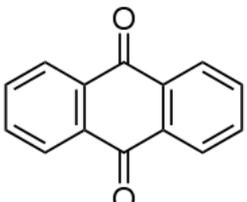
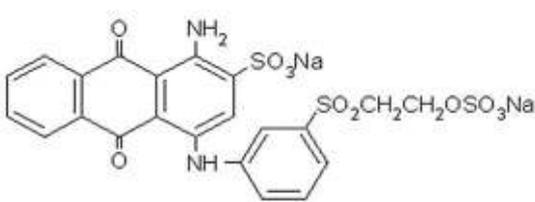
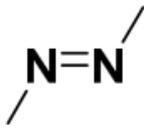
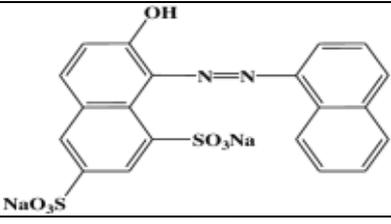
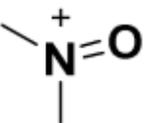
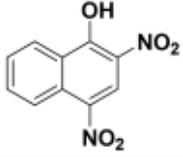
3.2.3. Características

De maneira geral, para a indústria têxtil, apesar da complexa literatura existente, o corante tem a finalidade exclusiva de colorir uma fibra e, em sua maioria, são compostos orgânicos, podendo ser classificados de duas maneiras distintas: de acordo com sua estrutura química, sendo a mais adequada devido a presença do grupo cromóforo que é de fácil análise pela

indústria têxtil, ou conforme o seu método de fixação à fibra, podendo ainda utilizar de ambas as classificações em alguns casos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA, 2011 *apud* SATURNINO, 2020; PROLA, 2016).

A Tabela 2, apresenta algumas das classificações de corantes mais relevantes e comumente utilizadas pelo setor.

Tabela 2 - Algumas das classificações de corantes de acordo com a estrutura química

Classe Química	Cromóforo	Exemplo
Índigo		
Antraquinona		
Azo		
Nitro		

Fonte: Adaptado de Prola, 2016.

A segunda classificação, além de ser a adotada pelo *Colour Index*, relaciona-se diretamente ao tipo de fibra que será usada para fixar o corante, podendo ela ser natural ou não natural. As fibras naturais podem ser provenientes de três fontes, a vegetal, como linho e algodão, a animal, como lã e couro ou, por fim, a mineral, como amianto. Já as não naturais dividem-se em artificiais e sintéticas, sendo a primeira extraída a partir da celulose e a outra oriunda da indústria petroquímica, como o poliéster (COLOUR INDEX, 2021; ZANONI e YAMANAKA, 2016).

Assim, por meio da Tabela 3, são apresentados os principais corantes classificados a partir do modo como ocorre a fixação à fibra.

Tabela 3 – Classificação dos corantes de acordo com o método de fixação

Classe	Principais campos de aplicação
À cuba	Fibras naturais e fibras artificiais
À tina	Fibras naturais
Ácidos	Alimentos, couro, fibras naturais, fibras sintéticas, lã e papel
Ao enxofre	Fibras naturais
Azoicos	Fibras naturais, fibras sintéticas
Básicos	Couro, fibras sintéticas, lã, madeira e papel
Diretos	Couro, fibras naturais, fibras artificiais e papel
Dispersos	Fibras artificiais e fibras sintéticas
Mordentes	Alumínio anodizado, lã, fibras naturais e fibras sintéticas
Reativos	Couro, fibras naturais, fibras artificiais e papel
Solventes	Ceras, cosméticos, gasolina, madeira, plásticos, solventes orgânicos

Fonte: Adaptado de Associação Brasileira da Indústria Química, 2011 *apud* Saturnino, 2020.

Do total de corante produzido mundialmente, cerca de 23,6% referem-se aos corantes reativos e, dessa parcela, 80% possuem estrutura química do tipo azo. Além disso, um importante levantamento realizado por Lewis (2014) *apud* Zanoni e Yamanaka (2016) mostrou que do total de corante reativo produzido, uma parcela significativa que varia de 30 a 50% acaba por ser descartado junto ao efluente pelas indústrias têxteis.

3.3. Problemática Ambiental

Durante todas as etapas do processo produtivo têxtil são gerados resíduos com as mais diversas composições químicas e, se não forem devidamente tratados antes de sua disposição final no aterro sanitário, para os sólidos, ou corpos hídricos para os líquidos, acabam por impactar diretamente o meio ambiente (TONIOLLO, ZANCAN e WÜST, 2015).

De todo o resíduo gerado, aquele que apresenta maior volume e conseqüentemente maior impacto ambiental é o efluente líquido, visto que, como pontuado anteriormente, pode vir a conter números expressivos de compostos químicos, passando de oito mil em alguns casos, como ácidos, sólidos solúveis, compostos tóxicos e corantes, sendo este último um dos maiores inconvenientes do ramo têxtil (SHARMA, SHARMA e SONI, 2021).

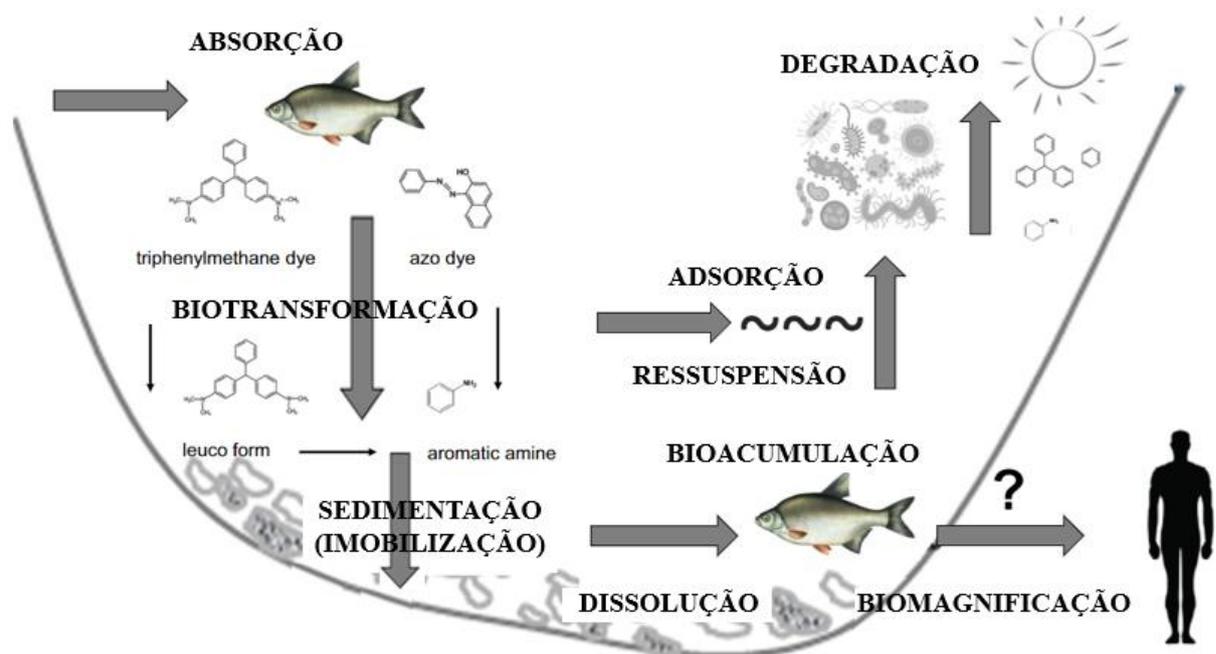
Sérios problemas ambientais podem ser causados pela presença de corantes sintéticos no ecossistema aquático e, devido à complexidade do assunto, ainda não se sabe o quanto essas substâncias realmente podem vir a afetar a fauna e flora dos corpos hídricos (TKACZYK, MITROWSKA e POSYNIK, 2020).

Utilizado majoritariamente na etapa de tingimento das fibras, atribuindo cor não somente ao material de interesse, mas também à água, o corante, principalmente sintético, reduz a transparência deste meio e que ao ser descartado como efluente acaba por ocasionar uma sequência destrutiva em toda a cadeia trófica de um corpo hídrico que recebe esse material sem um tratamento prévio adequado (TONIOLLO, ZANCAN e WÜST, 2015).

Apesar do enorme volume de corante que é transformado em resíduo líquido, chegando a 280.000 toneladas por ano, necessita-se de uma quantidade inferior a 1 mg/L para que possamos notar sua presença na água. Esses compostos, quando dispersos no meio, absorvem e refletem a luz solar, resultando na diminuição da penetração da luz e, conseqüentemente, a fotossíntese e quantidade de oxigênio dissolvido na água acabam por diminuir (TKACZYK, MITROWSKA e POSYNIK, 2020).

A Figura 1, explicita os possíveis caminhos que um corante sintético pode seguir quando em contato com a água e a biota ali presente.

Figura 1 – Rota dos corantes sintéticos em ambientes aquáticos



Fonte: Adaptado de Tkaczyk, Mitrowska e Posyniak, 2020.

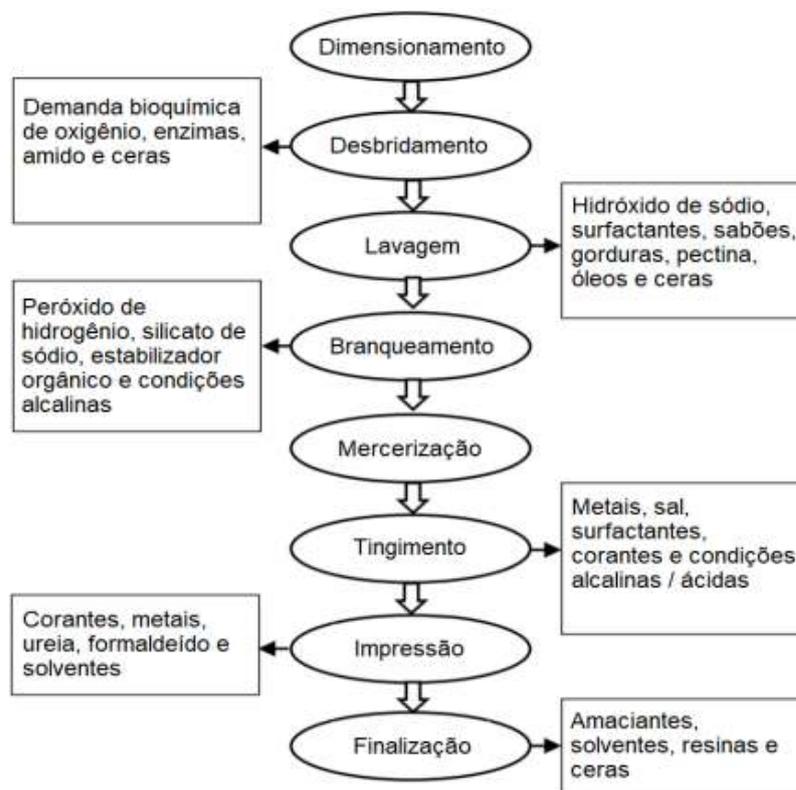
O esquema acima esclarece os caminhos que os corantes sintéticos podem ter quando em contato com os corpos hídricos, que são eles: absorção, biotransformação, bioacumulação, biomagnificação, sedimentação, dissolução e adsorção. Dentre todas as possibilidades, destaca-se a biomagnificação, processo que se dá pelo acúmulo progressivo de compostos de um nível trófico para outro, ou seja, o topo da cadeia trófica, geralmente o ser humano, tende a apresentar maiores concentrações da substância em questão, no caso, os resíduos dos corantes sintéticos têxteis, podendo vir a desencadear diversas doenças (TKACZYK, MITROWSKA e POSYNIK, 2020).

3.4. Caracterização dos efluentes têxteis

A caracterização de um efluente industrial têxtil pode ser bastante complexa, visto que sua composição tende a variar de fábrica para fábrica e de país para país, uma vez que diferentes produtos, processos e equipamentos são usados na cadeia produtiva, porém, na grande maioria das vezes, encontra-se principalmente, dissolvido em meio a água, uma mistura de corantes, metais e outros poluentes (YASEEN e SCHOLZ, 2018).

A Figura 2 mostra um diagrama esquemático da etapa de origem, no processo fabril têxtil, dos principais poluentes que são encontrados no efluente em questão.

Figura 2 – Principais poluentes gerados em cada etapa do processo de produção têxtil



Fonte: Adaptado de Holkar *et al.*, 2016.

Como dito anteriormente, a caracterização do efluente industrial têxtil não pode ser realizada de maneira única e validada como equivalente para todo tipo de produção, já que ocorre grande variação do processo, fato este que dificulta e impossibilita, até os dias de hoje, a padronização de seu tratamento (YASEEN e SCHOLZ, 2018).

A Tabela 4 traz um levantamento de diversos autores que analisaram os parâmetros físico-químicos desses efluentes.

Tabela 4 – Características típicas de efluentes industriais têxteis reais

Referência	Ghaly <i>et al.</i> (2014)	Kehinde e Aziz (2014)	Hussein (2013)	Upadhye e Joshi (2012)	Kalra <i>et al.</i> (2011)
Parâmetro					
Temperatura (°C)	35 – 45	21 – 62	33 – 45	33 – 45	35 – 45
pH	6 – 10	6,95 – 11,8	5,5 – 10,5	6 – 10	6 – 10
Cor (Pt/Co)	50 – 2500	50 – 2500	-	50 – 2500	50 – 2500
DQO (mg/L) ¹	150 – 12000	150 – 30000	150 – 10000	150 – 10000	150 – 10000
DBO (mg/L) ²	80 – 6000	80 – 6000	100 – 4000	100 – 4000	100 – 4000
Sólidos Totais (mg/L)	-	6000 – 7000	-	-	-
Sólidos Totais Suspensos (mg/L)	15 – 8000	15 – 8000	100 – 5000	100 – 5000	100 – 5000
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	2900 – 3100	2900 – 3100	1500 – 6000	1800 – 6000	2900 – 3100
NTK (mg/L) ³	70 – 80	70 – 80	70 – 80	70 – 80	70 – 80

Fonte: Adaptado de Yaseen e Scholz, 2018. ¹ Demanda Química de Oxigênio; ² Demanda Bioquímica de Oxigênio; ³ Nitrogênio Total Kjeldahl.

Apesar de alguns parâmetros apresentarem uma constância entre os trabalhos citados na tabela acima, Yassen e Scholz (2018) afirmam que as características desses efluentes acabam por apresentar mais variações se ampliarmos o leque de países e processos industriais têxteis a serem analisados, fato este que mostra a variedade de efluentes têxteis produzidos no mundo e

a dificuldade de padronizar não só o tratamento, mas também a legislação responsável por definir os valores máximos de cada parâmetro para lançamento nos corpos hídricos receptores.

3.5. Legislação Brasileira

Para todo e qualquer tipo de lançamento realizado no meio ambiente, a legislação, principalmente no que tange o descarte em corpos hídricos, impõe os limites máximos permitidos e que devem ser estritamente seguidos por quaisquer instituições públicas e/ou privadas que sejam responsáveis pelo lançamento de uma carga possivelmente nociva ao meio receptor (VON SPERLING, 2014).

Há situações em que, devido as dimensões do país, como o Brasil, é comum que estados tenham autonomia e competência para delimitarem seus próprios padrões de lançamento de efluentes para as indústrias que realizam tal ato, entretanto, todo e qualquer novo padrão estadual estabelecido não deve ultrapassar os valores estipulados pela Resolução nº 430/2011 do CONAMA, devendo sempre ser iguais ou ainda mais rigorosos (VON SPERLING, 2014; CONAMA, 2011).

O estado de São Paulo, por possuir a maior concentração de indústrias, em âmbito federal, incluindo a do ramo têxtil, delimita ainda mais os seus padrões de lançamento, sendo a CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) o órgão responsável por realizar o controle, monitoramento e fiscalização de quaisquer irregularidades ambientais encontradas, aplicando advertências ou até mesmo autos de infração quando alguma irregularidade é encontrada (SÃO PAULO, 1976).

3.5.1. CONAMA

Instituído pela Lei 6.938/81, que sistematiza sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, regulamentada pelo Decreto nº 99.274/90, o CONAMA é definido como o órgão consultivo e deliberativo do SISNAMA (Sistema Nacional do Meio Ambiente), correspondendo a um conglomerado de cinco diferentes setores, sendo eles: órgãos federais, estaduais e municipais, setor empresarial e entidades ambientalistas, tendo ainda seu conselho comandado pelo Ministro do Meio Ambiente e sua Secretaria Executiva exercida pelo Secretário Executivo do MMA (Ministério do Meio Ambiente) (MMA, 2021).

A primeira resolução que determinou os padrões e critérios para lançamento de efluentes em corpos hídricos foi a resolução CONAMA nº 20 de 18 de junho de 1986 que tinha como objetivo principal preservar os corpos hídricos através da não deterioração dos mesmos por

lançamentos sem tratamento prévio, definindo ainda as classes dos corpos hídricos e condenando os despejos de poluentes nos mananciais subterrâneos (CONAMA, 1986).

A partir dela, diversas outras atualizações foram sendo realizadas, de modo a sempre atender a demanda atual, tendo no ano 2000 sua primeira alteração pela resolução CONAMA nº 274 que foi posteriormente revogada, após um período de cinco anos, em 2005, pela resolução CONAMA nº 357, responsável por trazer diversos complementos importantes para o processo de monitoramento, como a determinação de novas classes de corpos d'água e atualização dos padrões de lançamento de efluentes estabelecidos anteriormente, além de permitir, em seu artigo 24, que os estados criassem seus próprios padrões de lançamento, com a única premissa de terem seus padrões mais rigorosos ou iguais aos estabelecidos pela legislação nacional (CONAMA, 1986; CONAMA, 2005).

Por fim, no ano de 2011 tivemos a mais recente atualização da legislação nacional, a vigente resolução CONAMA nº 430/2011, na qual relaciona o bem-estar de todo o ecossistema envolvido com os padrões de lançamento de efluentes, definindo que esses resíduos não podem modificar a qualidade do corpo receptor, visto que essa alteração pode vir a alterar todo o equilíbrio ecológico (CONAMA, 2011).

A Tabela 5 apresenta as condições e padrões de lançamento de efluentes de qualquer fonte poluidora, previstas no Art. 16 – I da resolução vigente da CONAMA.

Tabela 5 – Padrão de lançamento de efluentes de qualquer fonte poluidora

Parâmetro	Padrão
pH	Entre 5 e 9
Temperatura	Inferior a 40 °C
Materiais Sedimentáveis	Até 1 mL/L
DBO	Máximo de 120 mg/L
Regime de Lançamento	Vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor
Materiais Flutuantes	Ausência
Cor	Não especificado

Fonte: Adaptado de CONAMA, 2011.

Apesar de a legislação nacional ser bem inclusiva quantos aos padrões de lançamento, segundo Lucido e Bila (2011) ainda não há um item específico para um dos principais padrões da indústria têxtil, a coloração para descarte, porém, na CONAMA 357/2005, mais especificamente nos Art. 15-III e Art. 16-I, entende-se que na ausência de padrões estabelecidos, devem-se assumir os disponíveis para a classe em que os corpos receptores estiverem enquadrados, impedindo assim que descartes com colorações extremas sejam realizados.

3.5.2. CETESB

A CETESB é o órgão do estado de São Paulo responsável pelo controle, fiscalização, monitoramento e licenciamento de atividades geradoras de poluição e, por meio do decreto nº 8.468 de 1976 instituído pelo Regulamento da Lei nº 997, deste mesmo ano e atualizado pelo decreto 54.487 de 2009, dispõe sobre a prevenção e controle da poluição do meio ambiente (SÃO PAULO, 1976).

Seguindo o disposto nessa lei, para corpos hídricos de Classe 1 não é admitido lançamentos de efluentes independentemente da origem, mesmo que previamente tratados. Ademais, para as outras classes de corpos hídricos, o lançamento é permitido somente caso os parâmetros do efluente esteja em acordo com os definidos pela legislação, expostos na Tabela 6. Como as companhias estaduais devem adotar parâmetros iguais ou mais rígidos que os definidos a nível nacional, a CETESB utiliza os padrões pH, temperatura e materiais sedimentáveis iguais aos definidos pela Resolução CONAMA nº 430/2011 (SÃO PAULO, 1976).

Esta mesma lei também deixa claro, em seus Art. 11-II e 12-II, que tratam sobre corpos hídricos de Classe 2 e 3, respectivamente, que é proibida a presença de corantes artificiais que não sejam removíveis por processos convencionais de coagulação, sedimentação e filtração. Além disso, em seu Art. 19-C, esclarece que efluentes líquidos oriundos de processos industriais devem ser coletados separadamente, através de sistemas próprios e independentes, de acordo com sua origem e natureza e, caso haja o interesse pelo lançamento em sistemas públicos de esgotamento sanitário, a entidade responsável pelo sistema deve prover de dispositivos e amostragens frequentes para controlar se ocorre o atendimento aos padrões exigidos e dispostos em lei (SÃO PAULO, 1976).

Tabela 6 – Padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos estabelecidos pela CETESB no decreto nº 8.468 de 1976

Parâmetro	Padrão
DBO	Até 60 mg/L
Arsênico	0,2 mg/L
Bário	5,0 mg/L
Boro	5,0 mg/L
Cádmio	0,2 mg/L
Chumbo	0,5 mg/L
Cianeto	0,2 mg/L
Cobre	1,0 mg/L
Cromo total	5,0 mg/L
Estanho	4,0 mg/L
Fenol	0,5 mg/L
Ferro Solúvel (Fe ²⁺)	15,0 mg/L
Manganês Solúvel (Mn ²⁺)	1,0 mg/L
Fluoretos	10,0 mg/L
Mercúrio	0,01 mg/L
Níquel	2,0 mg/L
Selênio	0,02 mg/L
Prata	0,02 mg/L
Zinco	5,0 mg/L

Fonte: Adaptado de São Paulo, 1976.

Segundo Beltrame (2000), a CETESB realizou um levantamento no município de São Paulo com mais de 1250 indústrias, sendo 12,8% dessa parcela representada por indústrias têxteis e notou que 2,9% da carga inorgânica e 11,4% da carga orgânica total dos efluentes lançados em corpos hídricos provém das indústrias têxteis, mostrando assim a importância delas garantirem o atendimento da lei, de modo a evitar a contaminação por lançamento desses parâmetros quando apresentados em excesso nos resíduos gerados por essas indústrias a nível municipal, estadual ou federal.

3.6 Metodologias para tratamento de efluentes industriais têxteis líquidos

Com a caracterização do efluente e a comparação frente a legislação vigente realizada, deve-se adotar medidas para que esses resíduos atendam as conformidades impostas e minimizem os problemas relacionados ao descarte dos mesmos (BELTRAME, 2000).

A OCDE (Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico) e a USEPA (*United States Environmental Protection Agency*) estabeleceram um conceito que está ganhando cada vez mais espaço na cadeia de minimização de resíduos em geral, chamado de “triângulo invertido” (BELTRAME, 2000).

Amplamente difundido, a ideia é que a eliminação dos resíduos gerados por uma indústria deve iniciar em seu local de origem, porém se este fator for economicamente inviável deve-se seguir para a próxima etapa, a reciclagem; caso o resíduo não permita essa ação, procura-se reduzir seu volume e/ou toxicidade, tornando ambientalmente menos agressivo e, por fim, se todas as soluções descritas forem inviáveis, o resíduo deve ser confinado de maneira segura (BELTRAME, 2000). A Figura 3 ilustra o conceito do “triângulo invertido”.

Figura 3 – Minimização de resíduos através do conceito de “triângulo invertido”



Fonte: Adaptado de Beltrame, 2000.

Devido as características dos efluentes industriais têxteis líquidos, na grande maioria dos casos a solução mais plausível e mais utilizada no Brasil, indo de encontro com o conceito de minimização de resíduos, é a terceira etapa: o tratamento; visto que, apesar das indústrias tentarem reduzir seus contaminantes não é suficiente para que a análise se encerre nessa etapa e, com relação a reciclagem, apesar de ser um processo bem aperfeiçoado para corantes índigo com eficiência que pode variar de 2% a 93%, demanda de um investimento inicial elevado, além disso, a etapa de tratamento ainda necessitaria ser utilizada (BELTRAME, 2000).

Diante disso, quando o assunto se relaciona as metodologias convencionais de tratamento de efluentes líquidos no geral, é comum, segundo Von Sperling (1996), a sua segmentação em cinco níveis principais, como as dispostas na Tabela 7.

Tabela 7 – Diferentes níveis do tratamento convencional de efluentes líquidos

Nível	Remoção
Preliminar	- Sólidos em suspensão grosseiros (Materiais de maiores dimensões e areia)
	- Sólidos em suspensão sedimentáveis
Primário	- DBO em suspensão (Matéria orgânica componente dos sólidos em suspensão sedimentáveis)
	- DBO em suspensão (Matéria orgânica em suspensão fina, não removida no tratamento primário)
Secundário	- DBO solúvel (Matéria orgânica na forma de sólidos dissolvidos)
	- Nutrientes
	- Patogênicos
	- Compostos não biodegradáveis
Terciário	- Metais pesados
	- Sólidos inorgânicos dissolvidos
	- Sólidos remanescentes em suspensão
Avançado	- Corantes

Fonte: Adaptado de Von Sperling, 1996.

Por meio da utilização de desarenadores, grades de diferentes espessuras e até mesmo peneiras, o tratamento preliminar é responsável por retirar do efluente apenas os sólidos mais grosseiros e a areia. É indispensável a utilização desta etapa do tratamento, visto que o mesmo retém impurezas maiores eliminadas no processo produtivo e que podem diminuir a eficiência da unidade de tratamento (IBRAHIN, IBRAHIN e CANTUÁRIA, 2015).

Os demais sólidos em suspensão e com características sedimentáveis, além de uma parcela da DBO sedimentável, são retidos na etapa seguinte, no nível primário, na qual predomina-se a utilização de mecanismos físicos para remoção, como decantadores primários e flotores, por exemplo (VON SPERLING, 1996).

No tratamento secundário o foco é a remoção da matéria orgânica presente, nela os equipamentos oferecem condições que garantem que o tratamento biológico ocorra com maior eficiência, como o caso dos mecanismos mais utilizados: tanques de lodos ativados e os reatores anaeróbicos de fluxo ascendente, mais conhecido como UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), para tratamento de esgoto urbano. No tratamento terciário e avançado visa-se a remoção dos demais componentes que restaram, como nitrogênio, patógenos, metais pesados, fósforo, compostos não biodegradáveis e corantes, por exemplo (VON SPERLING, 1996).

Devido ao baixo custo de implantação e operação, no Brasil, a indústria têxtil faz uso majoritário dos tratamentos primários e secundários, englobando os do tipo físico-químico seguidos dos biológicos, que muitas das vezes não são suficientes para remover todos os compostos desejados. Por demandar de tecnologias mais caras e de pouca utilização, os tratamentos terciários e, principalmente avançados, são pouco difundidos e utilizados em território nacional (BENDER, SOUZA e VIDAL, 2019).

3.6.1 Processos físico-químicos

No geral, os processos físico-químicos (nível primário) precedem o tratamento a nível secundário e tem como objetivo a retirada de alguns materiais que possam vir a comprometer a eficiência do tratamento das demais etapas, como colóides, matéria orgânica, cor, óleos, dentre outros (CUNHA *et al.*, 2019).

As substâncias dissolvidas que compõem o efluente têxtil não são passíveis de serem retiradas apenas com métodos físicos e, deste modo, faz-se uso da combinação físico-química empregando a metodologia de coagulação e floculação seguidas da sedimentação ou flotação e, posteriormente, filtração (CUNHA *et al.*, 2019).

Segundo Hart (1994) *apud* Beltrame (2000), a água residuária submetida ao processo de flotação pode vir a apresentar as características descritas na Tabela 8 se passar por um processo de filtração mais avançado e, apesar de não estar totalmente recuperada, pode ser reutilizada em processos internos à fábrica, através de sua reinserção na cadeia produtiva, sendo utilizada principalmente na etapa de tingimento.

Tabela 8 – Característica do efluente têxtil após processo de flotação

Parâmetro	Características
DBO	Redução de 55 a 90%
Cor	Redução de 90 a 95%
Aspecto	Incolor ou levemente colorida
Detergente	Redução de 60 a 70%
Óleos e Graxas	Redução de 96 a 99%
pH	Entre 6,4 e 6,6

Fonte: Adaptado de Hart, 1994 *apud* Beltrame, 2000.

3.6.2 Tratamentos biológicos

Por apresentarem uma alta carga de matéria orgânica e compostos solúveis, os efluentes têxteis possuem nos diferentes tipos de tratamentos biológicos, ou também conhecidos como de nível secundário, uma possibilidade de redução de valores de DBO e DQO, visto que por meio da atuação de microrganismos aeróbicos ou anaeróbicos os compostos biodegradáveis presentes são oxidados, sendo esses métodos usualmente utilizados a nível nacional (BRAGA, 2018).

Ainda segundo Braga (2018), apesar de o tratamento secundário ser comumente utilizado pelas indústrias têxteis, apresentando uma considerável eficiência durante o tratamento desses resíduos líquidos, há diversos corantes que são extremamente resistentes ao processo de biodegradação, diminuindo assim a eficiência de remoção de cor desses efluentes.

Assim, as pesquisas por novas tecnologias que visam aperfeiçoar cada vez mais as metodologias empregadas no tratamento desses efluentes são frequentes, visando sempre por alternativas com maiores eficiências e baixo custo operacional e de implantação. A biotecnologia ambiental é uma das grandes aliadas nesse processo e, nos últimos anos, diversos estudos acoplaram técnicas de modo a viabilizar todo o sistema de tratamento de efluentes industriais complexos, como os de origem têxtil (BAÊTA, 2012).

No que tange o tratamento biológico desses efluentes, os que são mais aplicados são os aeróbicos, como por exemplo: lodos ativados, lagoas aeradas e filtros biológicos. Nesse processo devido a reação entre a matéria orgânica e o oxigênio, há a formação de alguns produtos

minerais, como gás carbônico (CO_2), água (H_2O), nitratos (NO_3^-) e fosfatos (PO_4^{3-}) (BAÊTA, 2012; BRAGA, 2018).

3.6.2.1 Lodos Ativados

O sistema de lodos ativados pode ser descrito como um sistema no qual uma massa de microrganismos, formada por bactérias, fungos e protozoários, é originada pela aeração contínua dos efluentes, sejam eles domésticos ou industriais. Para que tal processo tenha uma boa eficiência e mantenha a microbiota atuando em prol do sistema, altas taxas de oxigenação e matéria orgânica devem estar disponíveis no mesmo (ROCHA *et al.*, 2016).

Durante todo o processo, essa massa de microrganismos (lodo ativado) se mantém em interação com a matéria orgânica presente no tanque do efluente, permanecendo em constante oxigenação através de um sistema de ar difuso ou por meio da aeração mecânica, durante período determinado, chamado de tempo de detenção hidráulico (TDH), possibilitando que os microrganismos cresçam por meio da estabilização da matéria orgânica ali presente (ROCHA *et al.*, 2016; MODIN *et al.*, 2016).

Na sequência, é no decantador que o processo de decantação irá acontecer, separando o material líquido do sólido, podendo esse último seguir dois caminhos: uma parte recircula dentro do sistema, voltando para o tanque de aeração e a outra parte acaba por ser descartada (BELTRAME, 2000; ROCHA *et al.*, 2016; MODIN *et al.*, 2016).

A Figura 4 traz o fluxograma de todas as etapas que estão inseridas dentro de um sistema de tratamento por lodo ativado.

Figura 4 – Fluxograma do tratamento de efluentes utilizando o sistema convencional de lodos ativados



Fonte: Adaptado de Jordão e Pessoa, 2011.

Durante os anos, diversas foram as adaptações realizadas no sistema de lodos ativados a fim de aumentar cada vez mais sua eficiência e, a partir disso, surgiu o sistema de aeração prolongada. Nessa adaptação ocorre a adição de oxigênio suficiente e na dosagem adequada capaz de oxidar o lodo formado e, além de tolerar maiores variações nos parâmetros que influenciam o rendimento, não é necessário a etapa de decantação primária e o lodo já sai estabilizado do reator, devido a ação dos microrganismos (BELTRAME, 2000; MODIN *et al.*, 2016; SALLES, 2019).

Para efluentes industriais têxteis, devido a elevada carga de material orgânico e forte coloração, o tratamento por sistema de lodos ativados por aeração prolongada é mais indicado do que o sistema convencional, visto que, nesse método, a remoção da DBO e de corantes é elevada, chegando a taxas de 95% e 80%, respectivamente, além de produzir uma quantidade bem inferior de lodo quando comparado ao método convencional, fazendo com que as indústrias optem por esse sistema já que há maior estabilidade, elevada eficiência e baixo custo operacional (BELTRAME, 2000; ROCHA *et al.*, 2016).

Apesar das elevadas taxas de remoção de alguns parâmetros, vale ressaltar que nesse sistema não ocorre total degradação do efluente assim como não há diminuição de sua toxicidade, além de não ser sob todas as condições que tais taxas de remoção irão ser alcançadas, como no caso de haver a presença de metais pesados e/ou óleos e graxas no efluente o mesmo não pode ser aplicado. Além disso, os corantes empregados não são biodegradáveis e sua retirada do meio se dá pelo acúmulo no lodo, inviabilizando qualquer possibilidade de reaproveitamento em outros negócios, como na agricultura, por exemplo (BELTRAME, 2000; MODIN *et al.*, 2016).

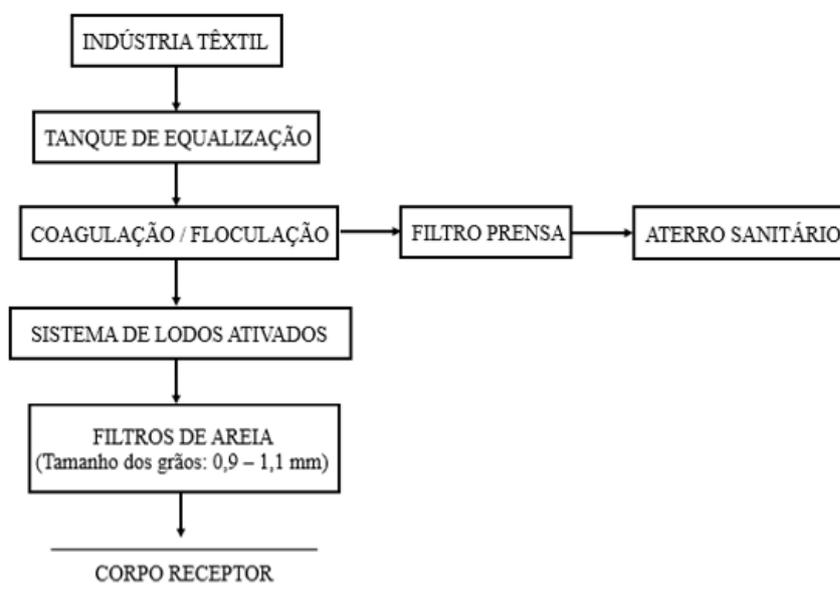
Ainda tratando dos efluentes têxteis, alguns parâmetros devem estar devidamente ajustados para que realmente as taxas de conversão sejam elevadas, como a temperatura do efluente, por exemplo, que deve variar entre 20 e 40 °C, já para a quantidade de oxigênio dissolvido recomenda-se de 2 a 3 ppm e, por fim, para valores de pH, o ideal é que varie em faixa neutra ou alcalina, indo de 7 até um máximo de 9 (BELTRAME, 2000).

Em muitos dos casos, para elevar a eficiência de remoção de compostos do sistema, utiliza-se de uma sequência composta por processos combinados, utilizando-os de modo complementar a fim de remover corantes que apresentam maior resistência à degradação. O mais comumente utilizado pelas indústrias têxteis é justamente a combinação entre o tratamento

físico-químico seguido dos processos biológicos, como o sistema de lodos ativados (KUNZ *et al.*, 2002).

A Figura 5 apresenta o fluxograma dos processos combinados mais utilizados pelas indústrias têxteis para tratamento de seus efluentes líquidos.

Figura 5 – Fluxograma do tratamento do efluente de uma indústria têxtil utilizando o tratamento físico-químico seguido do biológico por lodos ativados



Fonte: Adaptado de Aguiar e Schönberger, 1995 *apud* Beltrame, 2000.

Com base nos dados apresentados, Lagunas e Lis (1998) realizaram o levantamento de rendimento das diferentes metodologias de tratamento explicitadas até o momento, avaliando e comparando o tratamento físico-químico completo e o biológico por lodos ativados em termos de porcentagem de redução e quantidade eliminada de DQO e DBO, além do volume de produção de lodo por dia e o custo do processo, apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Comparação de rendimento entre os processos de tratamento

Processo de depuração	% Reduzida		Quantidade eliminada (kg/dia)		Produção de lodo/dia		Custo US\$
	DQO	DBO	DQO	DBO	Kg matéria seca	Volume (m ³)	
Lodos Ativados	91,9	67,0	2.414,7	921,3	322,4	26,9	3.131
Físico-químico	42,0	41,5	1.495,6	421,0	3.000,0	214,3	19.800

Fonte: Adaptado de Lagunas e Lis, 1998.

3.6.2.2 Lagoas Aeradas

No geral, existem dois possíveis caminhos quando tratamos das lagoas aeradas, as do tipo mistura completa e as facultativas. As lagoas aeradas de mistura completa, para permitirem que a biomassa fique suspensa no meio líquido que está sendo tratado, fazem uso de energia suficiente proveniente dos aeradores, já para as aeradas facultativas (Figura 6), que podem apresentar modelo hidráulico do tipo disperso e muito afastado do conceito de mistura completa, mas também insuficiente para ser considerado pistonado, possuem energia insuficiente para fazerem com que o material fique em suspensão, favorecendo o processo de sedimentação e, tendo esse lodo decantado, acaba sendo degradado por meio de bactérias anaeróbicas (SALLES, 2019).

Nota-se que é um processo bem semelhante quando comparamos com o sistema de lodos ativados, porém, nesse caso, não ocorre a separação do lodo formado, além disso, a principal diferença entre ambos os sistemas se dá no TDH ser equivalente à idade da matéria orgânica biodegradável decantada no fundo, requerendo maiores volumes por unidade de DQO tratadas do que no sistema de lodos ativados (SALLES, 2019).

Por serem processos considerados mais rudimentares, serem mais sensíveis às variações de carga e precisarem de maiores áreas para serem instalados, o sistema de lagoas aeradas não é amplamente difundido e utilizado pelo setor têxtil para tratamento de seus efluente líquidos (SALLES, 2019).

Figura 6 – Fluxograma típico de um sistema de lagoa aerada facultativa



Fonte: Von Sperling, 2013.

3.6.2.3 Filtros Biológicos

Apresentando a mesma ideia que envolve o sistema de lodos ativados, os filtros biológicos também utilizam de microrganismos para que o processo todo ocorra, a diferença se dá no modo como os mesmos se encontram no sistema. Para esse caso, toda a população microbiana está aderida em um suporte, sejam eles de leito fixo ou móvel, formando o biofilme,

principal agente responsável pela degradação do material orgânico presente no efluente (JORDÃO E PESSOA, 2017; SALLES, 2019).

O filtro biológico pode ser construído de diversas formas distintas e utilizando os mais diferentes tipos de suportes, indo desde pedras até materiais plásticos, de modo que quanto maior a superfície de contato do material, melhor. Vale ressaltar que o material utilizado e o tipo de efluente a ser tratado irão influenciar diretamente no tamanho do filtro, tendo que para efluentes têxteis os filtros que utilizam pedras possuem altura média de 2 metros, enquanto os de plástico podem ter de 9 a 12 metros de altura e, apesar de terem um custo mais elevado, aguentam tratar maiores cargas de efluente (BELTRAME, 2000; SALLES, 2019).

Visando evitar que processos de anaerobiose venham a acontecer nos filtros e com isso aumentar a probabilidade de odores desagradáveis durante o processo, o mesmo deve permanecer aeróbio, de modo que oxigênio ali consumido deve dar lugar ao oxigênio do ar, para que isso seja possível, deve-se fazer uso de recheios adequados e que liberem até 96% do espaço livre para a circulação do ar (BELTRAME, 2000; JORDÃO E PESSOA, 2017).

A utilização de um filtro biológico em si não é suficiente para a degradação de efluentes mais complexos, como o caso do têxtil, visto que ocorre uma diminuição de DBO que varia de 30 a 70% apenas, dependendo ainda da altura do recheio (BELTRAME, 2000).

Uma alternativa de tratamento pode se dar pela combinação desses processos, sendo que Basibuyuk e Fostes (1997) *apud* Beltrame (2000), constataram em seus estudos uma remoção de cerca de 99% da coloração de um efluente têxtil, que fazia uso de um corante sintético específico, com a utilização de quatro filtros biológico instalados em série.

Apesar se empregar um menor consumo de energia durante seu uso, maior estabilidade às variações de contaminantes tóxicos e menor área para sua instalação, é um sistema que pode apresentar odores e insetos se não forem bem monitorados, além de não serem totalmente eficientes no processo de remoção de compostos que demandam menor velocidade de degradação, como corantes, por exemplo, desfavorecendo seu uso em processos de tratamento de efluentes têxteis (BELTRAME, 2000).

3.6.3 Tratamentos terciários e avançados

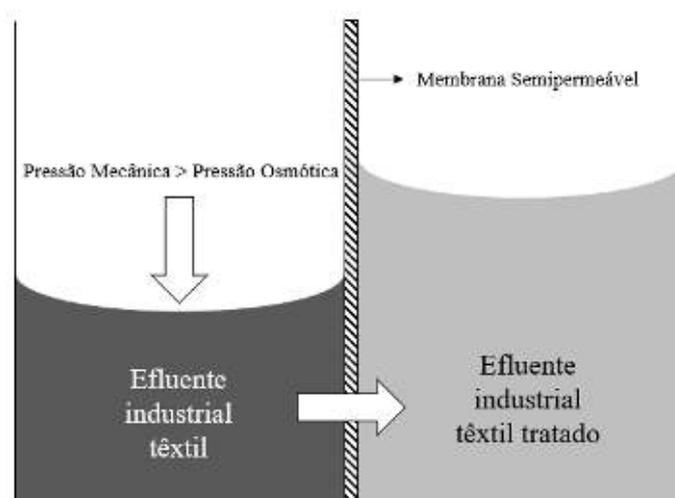
Apesar de pouco utilizadas pelo setor têxtil para tratamento de seus efluentes, devido a necessidade de se empregar tecnologias mais recentes e que geralmente demandam de um alto custo de implantação e manutenção, faz-se necessário ampliar cada vez mais o aprimoramento

dessas tecnologias mais eficientes, visto que possuem grande potencial de remoção da coloração desses resíduos, garantindo assim a cordialidade do processo em prol de metodologias mais sustentáveis. Dentro os processos que estão em constante desenvolvimento e recebendo maior atenção das partes interessadas, podemos evidenciar a osmose reversa, a adsorção e os processos oxidativos avançados (POAs) (SANTOS, 2016).

3.6.3.1 Osmose reversa

A osmose reversa (OR) é um processo que utiliza de membranas semipermeáveis acionadas por pressão mecânica superior à pressão osmótica e tem sido amplamente aplicada e reconhecida como a tecnologia líder do processo de dessalinização e obtenção de água pura, porém, após anos de estudos, que incluíram o desenvolvimento de novas membranas, houve uma redução de custos no processo que, por sua vez, tornou-se interessante para aplicações à nível industrial. A OR agora está sendo usado em várias aplicações, incluindo processos de separação seletiva, purificação, concentração e remoção de corantes (WENTEN e KHOIRUDDIN, 2016). A Figura 7 apresenta o esquema do tratamento por meio da osmose reversa.

Figura 7 – Esquema representativo do tratamento utilizando osmose reversa



Fonte: Adaptado de Qasim *et al.*, 2019.

Esse processo, no entanto, apesar dos avanços tecnológicos e redução dos custos operacionais e de implantação ao longo dos anos, ainda possui um custo elevado se compararmos as demais metodologias de tratamento, isso deve-se a intensa dependência por energia, muitas das vezes oriunda de combustíveis fósseis, elevando ainda mais o custo, na qual, a exemplo, gasta-se cerca de 10 mil toneladas de combustíveis fósseis para dessalinizar 1000 m³ de água/dia (QASIM *et al.*, 2019).

Dentre as principais vantagens desse tipo de tratamento pode-se citar a não necessidade de obras civis para sua construção/instalação, visto que suas dimensões são reduzidas por serem modulares (Figura 8); todo o módulo é de fácil operação; a quantidade de resíduos gerada é pequena; e o produto do processo, ou seja, o efluente industrial têxtil tratado, é mais puro que nas demais metodologias (QASIM *et al.*, 2019; FORTINO, 2012).

Figura 8 – Módulo de OR à nível industrial para tratamento de efluente têxtil



Fonte: Adaptado de Lenntech, 2022.

Segundo Silva (1995) *apud* Beltrame (2000), até o ano de 1995 ainda não se tinha notícia de nenhuma indústria têxtil que realizava o tratamento de seus efluentes por meio da tecnologia de OR, porém, com o rápido avanço das pesquisas, dezesseis anos após, em 2011, Ling *et al.* (2011) constatou que o processo já estava sendo encontrado em indústrias têxteis nacionais, contudo com um combinado de tratamentos que envolviam processos físico-químicos, processos de separação por membrana, ultrafiltração e, por fim, OR.

Nesse mesmo ano, Liu *et al.* (2011) avaliou a eficiência de tratamentos combinados que se baseavam na utilização de processos de separação por membrana, nanofiltração e OR para tratamento de efluente têxtil que tinha sido previamente submetido ao tratamento biológico. Para esse caso em específico os resultados foram satisfatórios, sendo o processo eficiente na remoção de DQO, DBO, salinidade e coloração, tendo esse último parâmetro sua total remoção, alcançando valores de remoção de 94,5%, 90,0%, 99,0% e 100%, respectivamente.

Diferentes membranas semipermeáveis podem resultar em diferentes resultados no que se refere ao tratamento do efluente têxtil, fato este constatado por Souza *et al.* (2009) que expôs cinco tipos distintos de membranas disponíveis no mercado (duas de nanofiltração: M1 e NF-HL, uma de osmose reversa e duas de polisulfona) para tratarem nove tipos de efluentes têxteis oriundos de diferentes fábricas, constatando que cada uma apresentava um resultado diferente quanto a pureza do produto, porém, no geral, apresentaram boa remoção de cor do efluente final.

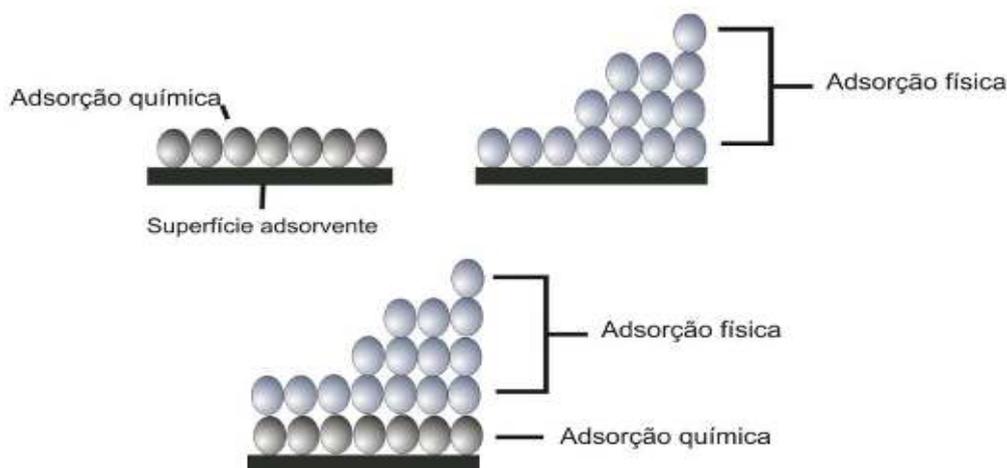
3.6.3.2 Adsorção

Por ser um processo que realiza a transferência de massa através da remoção de um componente líquido ou sólido (adsorvato) a partir do contato com um sólido adsorvente, há a separação dos componentes do efluente de interesse. É um processo que ocorre por meio de forças físicas e/ou químicas, frequentemente utilizado em processos de tratamento de águas residuárias, principalmente nas que apresentam substâncias que não se degradam biologicamente, como corantes e substâncias orgânicas (NASCIMENTO *et al.*, 2014; PRETTI, 2017).

A adsorção do tipo química ocorre quando há a formação de monocamadas na superfície do adsorvente, resultado da ação de contato com as moléculas do adsorvato, podendo ser mais lento que a adsorção física, porém, em alguns casos uma reação ou dissolução do soluto pode vir a ocorrer, modificando sua originalidade (GUIMARÃES, 2015).

Já no processo de adsorção física, o principal mecanismo de interação são as forças de Van der Waals, na qual, diferentemente da adsorção química, ocorre a formação de multicamadas de moléculas do adsorvato na superfície do adsorvente. A Figura 9 ilustra a diferença entre ambos os processos (GUIMARÃES, 2015).

Figura 9 – Diferentes tipos de camadas de adsorvato em ambos os tipos de adsorção



Fonte: Guimarães, 2015.

Diversos são os materiais que podem vir a serem utilizados como adsorventes, porém, atualmente, o mais amplamente utilizado é o carvão ativado. É um material que apresenta características favoráveis à adsorção, mas, em contrapartida, apresenta um elevado custo de produção e seu processo de regeneração é complicado, ocorrendo perda significativa de carbono durante o processo. Assim, apesar de ser uma metodologia eficiente, para indústrias que

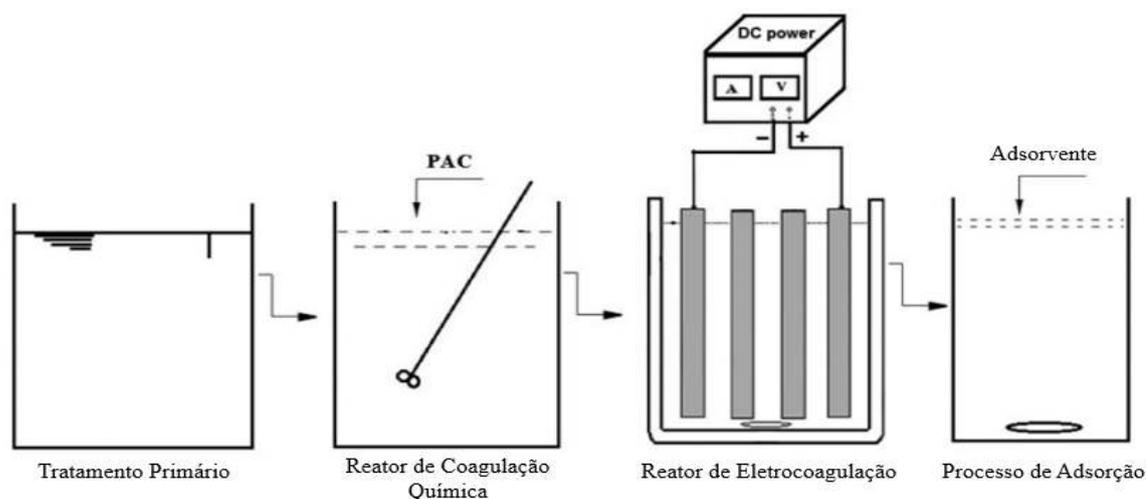
necessitam tratar grandes quantidades de efluentes têxteis e em processo contínuo, não se recomenda a utilização desse método devido ao baixo retorno financeiro (SHARMA *et al.*, 2019).

Vários estudos apontam que minerais de argila são melhores adsorventes que o próprio carvão ativado, devido a sua estabilidade mecânica e elevada superfície de contato, fato esse que aumenta as taxas de adsorção. Dentre esses minerais, destaca-se a bentonita, material que tem sido amplamente estudado por pesquisadores para remoção de cor de efluentes (ERDEM *et al.*, 2016; ZAGHOUANE-BOUDIAF *et al.*, 2014; SHARMA *et al.*, 2019).

Segundo Al-Ghouti *et al.* (2003), vários são os fatores que podem vir a interferir na eficiência do tratamento de efluentes têxteis por adsorção, como o pH do efluente, por exemplo. Em suas análises, utilizando uma pedra sílica sedimentar como adsorvente, verificaram taxas de remoção próximas a 100% para o corante têxtil azul de metileno em pH extremamente alcalino (pH 12), porém para esse mesmo efluente, desta vez em meio ácido (pH 2), a taxa de remoção foi de apenas 40%, mostrando a importância deste parâmetro para a metodologia em questão. Além disso, o autor deixa claro que a concentração pode vir a impactar os resultados, visto que seus testes foram feitos apenas com 200 mg/dm³.

Por sua vez, Bazrafshan *et al.* (2015) avaliaram a utilização de metodologias combinadas à adsorção para o tratamento de efluentes têxteis, como coagulação e eletrocoagulação (Figura 10). Os resultados obtidos mostraram que a eficiência de remoção de cor, DBO e DQO aumentavam com o aumento da dose do coagulante, do potencial elétrico e da dose do adsorvente, alcançando taxas de remoção próximas a 90%, 70% e 55%, respectivamente.

Figura 10 – Diagrama do fluxo de processos combinados para tratamento de efluente têxtil



Fonte: Adaptado de Bazrafshan *et al.*, 2015.

3.6.3.3 Processos oxidativos avançados

Nas últimas duas décadas é nítido os avanços dos estudos relacionados a esta metodologia para tratamento de efluentes industriais no geral. De acordo com a maior base mundial de arquivamento de artigos e patentes, a *Web of Science*, ao realizar uma busca direcionada a esta metodologia por meio da palavra-chave “*Advanced Oxidation Processes*” entre o período de 2001-2021 nota-se que houve um aumento percentual expressivo de publicações sobre essa metodologia, sendo que para o ano de 2001 a plataforma contava com apenas 256 publicações sobre o tema, já para 2021 a plataforma registrou 4.428 publicações, um aumento de mais de 1.600% no período (WEB OF SCIENCE, 2022).

Os POAs são processos capazes de gerarem radicais livres, especialmente o radical hidroxila ($\cdot\text{OH}$), a partir da ativação por agentes oxidantes (peróxido de hidrogênio, por exemplo), que irão atacar seletivamente o material poluente presente no efluente, mineralizando tais compostos à CO_2 , ânions inorgânicos e H_2O (KIFFER, 2019; XIA *et al.*, 2022).

Esse radical, por possuir alto potencial de oxidação (2,8 V) e baixa seletividade, torna-se uma opção eficiente para utilização nas técnicas de degradação de compostos poluentes, devido a sua rápida reação com muitos compostos orgânicos nas mais distintas formas, como por exemplo, quando se junta à dupla ligação, resultando na formação de radicais orgânicos que reagem com o oxigênio (FIOREZE, SANTOS e SCHMACHTENBERG, 2014; KIFFER, 2019; XIA *et al.*, 2022).

No geral, o radical hidroxila é resultante da combinação de algumas reações e podemos classificá-las em sistemas homogêneos ou heterogêneos, como mostra a Tabela 10, e em ambos os casos se verifica aplicações no processo de tratamento efluentes têxteis (FIOREZE, SANTOS e SCHMACHTENBERG, 2014).

Tabela 10 – Sistemas típicos de processos oxidativos avançados

Processo	Homogêneo	Heterogêneo
Com irradiação	$\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ Foto-Fenton	Fotocatálise Heterogênea ($\text{TiO}_2/\text{O}_2/\text{UV}$)
Sem irradiação	$\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ Fenton	$\text{O}_3/\text{Catalisador}$

Fonte: Adaptado de Fioreze, Santos e Schmachtenberg, 2014.

Ainda segundo Fioreze, Santos e Schmachtenberg (2014) e Kunz *et al.* (2002), dentre os processos acima citados destacam-se para os homogêneos as reações que utilizam do ozônio como principal reagente. Já para sistemas heterogêneos o principal foco é na fotocatalise com uso do dióxido de titânio (TiO_2) como principal catalisador do processo.

3.6.3.3.1 Ozônio

O ozônio, além de ser um ótimo agente oxidante ($E_0 = 2,08 \text{ V}$) quando comparado com os demais conhecidos, como o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) ($E_0 = 1,78 \text{ V}$) possibilita sua reação com uma ampla variedade de compostos além de ser um gás que, em fase aquosa, se decompõe de maneira muito rápida a oxigênio. Para os tratamentos de efluentes têxteis realizados com ozônio a oxidação pode ser feita de forma direta ou indireta (KUNZ *et al.*, 2002).

No processo de tratamento por meio da oxidação direta a molécula de ozônio tem a possibilidade de reagir com outras moléculas orgânicas e inorgânicas via um processo que desfaz as ligações do tipo pi e as transformam em duas novas ligações do tipo sigmas, denominado de adição eletrofílica. Já no processo de oxidação indireta, o ozônio pode vir a reagir através da reação radicalar, como por meio do $\cdot\text{OH}$ que é gerado durante a decomposição do ozônio (KUNZ *et al.*, 2002).

No que tange o processo de tratamento de efluente têxtil, a utilização do ozônio está tornando-se cada vez mais interessante, visto que os cromóforos presentes nesse tipo de resíduo são compostos orgânicos com as características moleculares ideais para atuação do ozônio, que atuará direta ou indiretamente no processo de ruptura a moléculas menores e assim descolorindo o efluente (KUNZ *et al.*, 2002).

Segundo Lin e Liu (1994), que conduziram experimentos utilizando ozônio para o tratamento de efluentes têxteis em sistemas de reatores, observaram que a retirada total do corante pode ser atingida em menos de cinco minutos em todos os casos analisados, além de remover mais de 80% da DQO deste efluente.

Por sua vez, Shu e Huang (1995) submeterem um efluente têxtil contendo uma mistura de oito azo corantes a um processo de tratamento combinado que utilizava radiação UV e ozônio e, a partir disso, concluíram que essa combinação apresentou melhores resultados de degradação quando comparado apenas com utilização do ozônio sozinho, alcançando taxas de remoção próximas a 100%.

Porém, apesar de todas as vantagens do processo nos estudos analisados, nota-se um problema que pode acabar por invalidar a técnica, apesar dos ótimos resultados, que se refere ao aumento da toxicidade devido a alguns subprodutos do processo reacional, sendo necessário um acompanhamento mais minucioso com a realização de testes de toxicidade para as metodologias que fazem uso do ozônio para tratamento de efluentes têxteis (KUNZ *et al.*, 2002; SHU e HUANG, 1995; LIN e LIU, 1994).

3.6.3.3.2 Fotocatálise Heterogênea

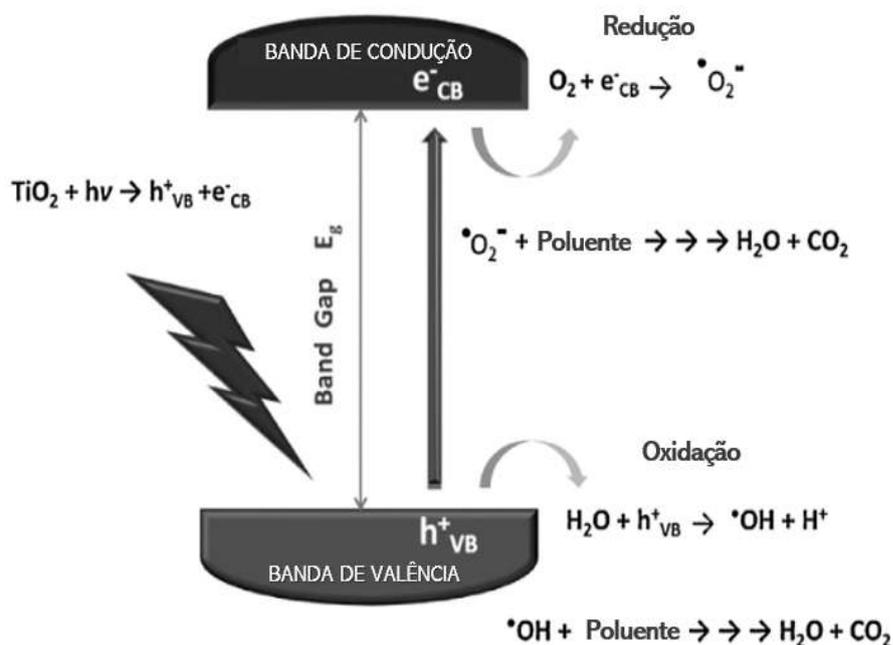
A fotocatalise heterogênea é um POA fotoquímico que por meio da tecnologia de foto-indução atua diretamente sobre o catalisador sólido semicondutor presente em suspensão na mistura, sob duas possíveis fontes de iluminação: a UV ou a luz visível. Diversos são os semicondutores que são estudados e podem ser utilizados, como o TiO_2 (mais comum), óxido de zinco (ZnO) e óxido de ferro (Fe_2SO_3), por exemplo (KUNZ *et al.*, 2002; AL-MAMUN *et al.*, 2019).

No exato momento que o semicondutor utilizado é diretamente exposto a luz ultravioleta, o mesmo acaba gerando um par elétron-lacuna (e^- , h^+) devido ao estado eletronicamente excitado que atinge. Nesse momento a energia do fóton deve ser maior ou igual à energia do “*band gap*” – que é a quantidade mínima de energia requerida para excitar o elétron – do semicondutor para provocar a transição eletrônica (KUNZ *et al.*, 2002; FERREIRA e DANIEL, 2004; BANERJEE *et al.*, 2015; AL-MAMUN *et al.*, 2019).

O resultado dessa reação da lacuna forma o $\cdot\text{OH}$ que além de seu potencial oxidante ainda se unem com o potencial oxidante da própria lacuna, fazendo com que as moléculas orgânicas adsorvidas na superfície do catalisador utilizado possam vir a serem oxidadas até sua total mineralização, por meio de um processo altamente viável (KUNZ *et al.*, 2002; BANERJEE *et al.*, 2015; AL-MAMUN *et al.*, 2019).

A Figura 11 ilustra como ocorre o combinado de processos da fotocatalise heterogênea após a fotoexcitação do TiO_2 com radiação UV (BANERJEE *et al.*, 2015).

Figura 11 – Representação esquemática da fotocatalise heterogênea



Fonte: Adaptado de Banerjee *et al.*, 2015.

No geral, a utilização dessa tecnologia para tratamento de efluentes têxteis vem sendo amplamente estudada, porém, em sua grande maioria, avaliam a degradação dos corantes de maneira isolada, desconsiderando a realidade do efluente em questão, que pode conter uma mistura de diversos corantes diluídos em seu meio (KUNZ *et al.*, 2002).

Apesar de todos os prós da fotocatalise heterogênea, como a rápida mineralização de uma enorme quantidade de substâncias de interesse ambiental, por exemplo, há vários impasses quanto a utilização em larga escala dessa tecnologia, na qual cita-se a dependência de iluminação artificial para que o processo ocorra de maneira eficiente, visto que a maioria dos fotocatalisadores possuem o “*band-gap*” de atuação na região da radiação UV. Além disso, a barreira que a radiação encontra para penetrar no efluente a ser tratado, devido a concentração do efluente é um outro impasse para seu uso. Por fim, resultado da junção dos problemas anteriores, há uma enorme dificuldade de implantar sistemas de atuação contínua que operem em grande escala (KUNZ *et al.*, 2002; AL-MAMUN *et al.*, 2019).

De acordo com Sahoo *et al.* (2012), que submeteram o efluente têxtil a um processo de fotocatalise heterogênea utilizando o TiO_2 como fotocatalisador, sob irradiação UV dentro de reatores em batelada, foi possível, após um período de 360 minutos, eliminar mais de 88% do corante para efluentes sem diluição prévia, 94% para efluentes diluídos duas vezes e atingir

99% de remoção de corante quando o efluente foi diluído 5 vezes, já para DQO, seguindo a mesma ordem, as taxas de remoção foram de 47%, 70% e 92% respectivamente.

Para Arcanjo *et al.* (2018) as melhores taxas de remoção de corante têxtil foram alcançadas quando utilizado o dióxido de titânio modificado (HT/Fe/TiO₂) com pH 10 e dose de 2 g/L, atingindo taxas de remoção de 96%, maiores que as verificadas quando a análise foi realizada com o TiO₂ sem modificações, que atingiu, por sua vez, 88% sob as mesmas condições.

Ambigadevi *et al.* (2021) aplicaram em seus estudos uma tecnologia que vem sendo cada vez mais avaliada para remoção de corantes têxteis de efluentes, o uso de nanopartículas dos semicondutores na mistura, aumentando a área de contato entre as partes envolvidas na cadeia reacional. Por meio desta técnica, as nanopartículas degradaram 100% do corante do efluente após um período de 60 minutos sob incidência de luz visível, além disso, após cada ciclo, os pesquisadores conseguiam reutilizar o material que foi capaz de alcançar mais de 90% de remoção do corante em sua quinta utilização.

3.7. Comparação da remoção de compostos poluentes entre as metodologias

Dentre as diversas metodologias de tratamento especificadas, cada uma possui suas especificidades para atingir os melhores resultados de remoção dos compostos poluentes, seja por meio da utilização de métodos físicos, químicos, biológicos ou até mesmos tecnologias mais avançadas, como é o caso dos processos oxidativos avançados (BELTRAME, 2000; ALVARENGA, 2009).

Assim, em seu trabalho, Peres e Abrahão (1998) realizaram a compilação dos resultados alcançados por diferentes metodologias para o tratamento de efluentes industriais têxteis, elencando até mesmo aquelas que não apresentam grande eficiência na remoção dos compostos de interesse para a indústria têxtil.

A Tabela 11 traz um compilado de todas as metodologias estudadas pelos Peres e Abrahão (1998) e que podem ser utilizadas nos processos de tratamento de efluentes têxteis, metodologias essas que não foram discutidas a fundo anteriormente devido à baixa capacidade de remoção da coloração do efluente.

Ainda segundo Peres e Abrahão (1998), a partir da Tabela 11, podemos ter a dimensão da eficiência de remoção de parâmetros como DBO, DQO e coloração, ressaltando que as taxas apresentadas podem variar dependendo das características dos efluentes.

Tabela 11 – Faixas de remoções de alguns parâmetros para diferentes tipos de metodologias de tratamento de efluentes têxteis

Tratamento Tipo de operação	Faixa de remoção (%)		
	DBO ¹	DQO ²	Cor
Tratamento Primário			
Gradeamento	0 – 5	--	--
Coagulação química	40 – 70	40 – 70	0 – 20
Flotação	30 – 50	20 – 40	--
Tratamento Secundário			
Lodo ativado convencional	70 – 95	50 – 70	20% de remoção
Lodo ativado aeração prolongada	70 – 94	50 – 70	na unidade de
Lagoa aeróbia	50 – 80	35 – 60	tratamento
Filtro biológico	40 – 70	20 – 40	biológico
Tratamento Terciário			
Coagulação química	40 – 70	40 – 70	0 – 70
Adsorção	25 – 40	25 – 60	80 – 90
Ozonização	--	30 – 40	70 – 80
Tratamento Avançado			
Osiose reversa	95 – 99	90 – 95	--
Fotocatálise Heterogênea	95 – 99	90 – 95	90 – 99

Fonte: Adaptado de Peres e Abrahão, 1998. ¹ Demanda Química de Oxigênio; ² Demanda Bioquímica de Oxigênio.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa revisão buscou resumir e compilar os diferentes métodos de tratamento de efluentes gerados pela indústria têxtil no Brasil, comparando-os em termos de eficiência e/ou porcentagem de remoção de corante. Apesar de o país ser referência quanto à produção têxtil no Ocidente, nota-se que as técnicas para remoção de coloração e outros compostos poluentes de seus efluentes ainda caminha a passos lentos quanto a aplicação em larga escala, devido à dificuldade de se padronizar as metodologias para as mais distintas combinações de substâncias encontradas no final da cadeia produtiva.

Faz-se necessário, portanto, um maior amparo econômico por parte das indústrias interessadas para com o estudo e desenvolvimento de novas tecnologias ou aprofundamento nas metodologias já existentes para viabilizar cada vez mais a utilização em larga escala. Sabe-se que, muitas das vezes, esses investimentos só são realizados se a fiscalização ambiental é realizada frequentemente sobre as indústrias e, assim, a atuação dos órgãos ambientais é de suma importância para impulsionar o desenvolvimento do tratamento dos efluentes industriais têxteis antes de serem lançados *in natura* nos corpos receptores.

As metodologias apresentadas possuem, entre si, diferentes eficiências de remoção de corante e outros parâmetros, oferecendo vantagens e desvantagens de aplicação associadas a cada uma delas, tornando possível a seleção da metodologia que melhor se enquadre na realidade da indústria, desde que atenda a todos os parâmetros de lançamento exigidos pelo CONAMA ou pelo órgão estadual, caso o mesmo exija condições ainda mais restritivas.

Notou-se que há a necessidade de atualização, ou pelo menos a revisão, da legislação nacional e estadual, visto que ambas tiveram suas últimas revisões realizadas há mais de dez anos e mesmo nessas, ainda não englobaram os limites de lançamentos de um dos principais parâmetros encontrados nos efluentes têxteis, a coloração de descarte. Além disso, o cenário de contaminação hídrica mudou com o passar desses dez anos e novas substâncias que merecem maior atenção podem estar indo para os corpos receptores.

Por fim, vale ressaltar que praticamente todas as metodologias descritas nessa revisão, com exceção dos POAs, abordam tratamentos que não degradam o corante, mas os transferem de uma fase para outra, ou seja, retiram da fase líquida do efluente e os condicionam na fase sólida, dando origem ao lodo no final do processo. Entretanto, todas as metodologias são vantajosas para o tratamento dos efluentes têxteis, visto que reduzem a contaminação direta por corante nos corpos hídricos que os recebem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIT – Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção; **O setor têxtil e os desafios da sustentabilidade**. Confederação Nacional da Indústria – CNI. Brasília. 2017.

AL-GHOUTI, M. A. *et al.*; **The removal of dyes from textile wastewater: A study of the physical characteristics and adsorption mechanisms of diatomaceous earth**. Elsevier, Journal of Environmental Management. v. 69, p. 229-238, 2003.

AL-MAMUN, M. R. *et al.*; **Photocatalytic activity improvement and application of UV-TiO₂ photocatalysis in textile wastewater treatment: A review**. Elsevier, Journal of Environmental Chemical Engineering. v. 7, p. 01-17, 2019.

ALVARENGA, R. N.; **Tratamento de efluente têxtil através de processos redox e separação com membranas combinados**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de Lorena. Universidade de São Paulo. Lorena, 2009.

ALVES, A. T. A *et al.*; **Revisão sistemática de literatura: estudo de caso sobre a remoção de cor de águas residuais têxteis**. Revista Geama – Ciências Ambientais e Biotecnologia. p. 4-17. 2019.

AMBIGADEVI, J. *et al.*; **Recent developments in photocatalytic remediation of textile effluent using semiconductor based nanostructured catalyst: A review**. Elsevier, Journal of Environmental Chemical Engineering, v. 9. p. 1-24, 2021.

ARCANJO, G. S. *et al.*; **Heterogeneous photocatalysis using TiO₂ modified with hydrotalcite and iron oxide under UV-visible irradiation for color and toxicity reduction in secondary textile mill effluent**. Elsevier, Journal of Environmental Management, v. 211, p. 154-163, 2018.

ARSLAN-ALATON, I.; GURSOY, B. H.; SCHMIDT, J. E. **Advanced oxidation of acid and reactive dyes: Effect of Fenton treatment on aerobic, anoxic and anaerobic processes**. Dyes and Pigments, v. 78, p. 117-130, 2008.

BAÊTA, B. E. L.; **Tratamento de efluentes de indústria têxtil utilizando reatores anaeróbicos de membranas submersas (SAMBR) com e sem carvão ativado em pó (CAP)**. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Ouro Preto. Centro de Tecnologia Ambiental. Ouro Preto. 2012.

BANERJEE, S. *et al.*; **Self-cleaning applications of TiO₂ by photo-induced hydrophilicity and photocatalysis**. Elsevier, Applied Catalysis B: Environmental, v. 177, p. 396-428, 2015.

BAZRAFSHAN, E. *et al.*; **Textile wastewater treatment by application of combined chemical coagulation, electrocoagulation and adsorption processes**. Desalination and Water Treatment. v. 57, p. 9203-9215, 2015.

BELTRAME, L. T. C.; **Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento**. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Natal. Rio Grande do Norte. 2000.

BELTRAME, L. T. C.; **Sistemas microemulsionados aplicados à remoção da cor de efluentes têxteis**. Tese Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2006.

BENDER, A. F.; SOUZA, J. B.; VIDAL, C. M. S.; **Tecnologias avançadas de tratamento visando à remoção de cor e fenol de efluente de indústria de celulose e papel**. Ciência Florestal, v. 29, p. 571-582, 2019.

BRAGA, K. L.; **Tratamento de efluente têxtil empregando o processo fotocatalítico combinado com o biológico**. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Química. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Centro de Tecnologia e Ciências. Rio de Janeiro. 2018.

BRASIL. **Lei Federal nº 430**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm> Acesso em: 16 set. 2021.

BRASIL. **Resolução nº 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. Disponível em:< http://www.adasa.df.gov.br/images/stories/anexos/8Legislacao/Res_CONAMA/Resolucao_CONAMA_430_2011.pdf> Acesso em: 16 set. 2021.

CALIJURI, M. C.; CUNHA, D. G. F.; **Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. 1 ed., Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 2013.

CARREIRA, M. F.; **Sistemas de tratamento de efluentes têxteis - Análise comparativa entre as tecnologias usadas no brasil e na península ibérica**. Tese Doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

CAVALCANTI, A. M.; SANTOS, G. F.; **A indústria têxtil no Brasil: Uma análise da importância da competitividade frente ao contexto mundial**. Revista Exacta – Engenharia de Produção. p. 21. 2021.

COLOUR INDEX; Colour Index Online – **About Us**. Disponível em: < <https://colour-index.com/about>> Acesso em: 11 nov. 2021.

CONAMA. **Resolução nº 20 de 18 de junho de 1986**, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, publicada no Diário Oficial da União em 30/07/86; Brasília, DF. Disponível em:< https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Portaria/1986/res_conama_20_1986_revvd_classificacaoaguas_altrd_res_conama_274_2000_revvd_357_2005.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2021.

CONAMA. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA; “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”, publicada no Diário Oficial da União em 18/03/2005; Brasília, DF. Disponível em:< https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357

_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2021.

CONAMA. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA; “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”, publicada no Diário Oficial da União em 16/05/2011; Brasília, DF. Disponível em:<
https://www.adasa.df.gov.br/images/stories/anexos/8Legislacao/Res_CONAMA/Resolucao_CONAMA_430_2011.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2021.

CUNHA, A. L. X. *et al.*; **Tratamento físico-químico de efluente têxtil utilizando sulfato de alumínio, carvão ativado e Moringa Oleífera (*Moringa moringa* (L.)).** Revista GEAMA – Ciências Ambientais e Biotecnologia, v. 5, p. 47-55, 2019.

ERDEM, B. *et al.*; **Adsorption of reactive black 5 onto quaternized 2-dimethylaminoethyl methacrylate-based polymer/clay nanocomposites.** Springer, Adsorption. v. 22, p. 767-776, 2016.

FERREIRA, I. V. L.; DANIEL, L. A. **Fotocatálise heterogênea com TiO₂ aplicada ao tratamento de esgoto sanitário secundário.** Engenharia Sanitária Ambiental. v. 9, n. 4, p. 335-342, 2004.

FIGLIOLINI, M.; SANTOS, E. P.; SCHMACHTENBERG, N.; **Processos oxidativos avançados: fundamentos e aplicação ambiental.** Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Digital. v. 18. n. 1. p. 79-91. 2013.

FIGLIOLINI, M.; SANTOS, E. P.; SCHMACHTENBERG, N.; **Processos oxidativos avançados: Fundamentos e aplicação ambiental.** Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Digital – REGET. v. 18, p. 79-91, 2014.

FORTINO, P.; **Pós-tratamento de efluente têxtil usando coagulação/floculação combinado com o processo de separação por membranas.** Dissertação (Mestrado) – Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2012.

GUIMARÃES, V. G. **Adsorção-dessorção de partículas neutras em sistemas com superfícies não-idênticas.** Dissertação (Mestrado) – Física. Universidade Estadual do Maringá. Maringá, 2015.

HOLKAR, C. R.; *et al.*; **A critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches.** Journal of Environmental Management, v. 182, p. 351–366, 2016.

IBRAHIM, F.I.D.; IBRAHIM, F.J.; CANTUÁRIA, E.R. **Análise Ambiental: Gerenciamento de Resíduos e Tratamento de Efluentes.** Érica/Saraiva, 1. ed. São Paulo, 2015.

JORDÃO, E.P.; PESSOA, C.A.; **Tratamento de Esgotos Domésticos.** ABES, 6 ed. Rio de Janeiro, 2011.

JORDÃO, E.P.; PESSOA, C.A.; **Tratamento de Esgotos Domésticos.** ABES, 8 ed. Rio de Janeiro, 2017.

JUNIOR, B. O. M.; **Setor Têxtil**. Caderno Setorial ETENE. Ano 2. n. 16. p. 18. 2017.

KIFFER, K. P.; **Remoção do clonazepam em águas para consumo humano por processos oxidativos avançados (POAs)**. Dissertação (Mestrado) – Engenharia de Materiais e Processos Químicos e Metalúrgicos. Pontifícia Universidade Católica. Rio de Janeiro, 2019.

KUNZ, A. *et al.*; **Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis**. Química Nova, v. 25, n. 1, p. 78-82, 2002.

LAGUNAS, F. G.; LIS, M. J.; **Tratamento de efluentes na indústria têxtil algodoeira**. Química Têxtil, v. 50, p. 6-15, 1998.

LENNTECH; **Processos de Osmose Inversa Dessalinização**. Disponível em:< <https://www.lenntech.com.pt/processos/mar/osmose-inversa/processos-osmose-inversa-dessalinizacao.htm>> Acesso em: 22 jan. 2022.

LIMA, G. G. C; LIMA, C. A. P; VIEIRA, F. F; SILVA, E. M. **Estudo comparativo da aplicação de nanopartículas de TiO₂ e ZnO na descoloração fotocatalítica de uma solução de corante empregando radiação UV artificial**. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v. 9, n. 1, 2014.

LIN, S. H.; LIU, W. Y.; **Treatment of textile wastewater by ozonation in a packed-bed reactor**. Environmental Technology. v. 15, p. 299-311, 1994.

LING, W. *et al.*; **Performance of composite reverse osmosis membranes used in textile wastewater treatment and reutilization**. International Conference on Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring. China. 2011.

LIU, M. *et al.*; Comparison of reverse osmosis and nanofiltration membranes in the treatment of biologically treated textile effluent for water reuse. Desalination, v. 281, p. 372-378, 2011.

LUDICO, G. L. A.; BILA, D. M.; **Legislação ambiental brasileira para avaliação de cor em efluentes industriais**. International Water Resources Association - XIV World Water Congress, Porto de Galinhas, Pernambuco, Brasil. 2011. Disponível em:<<https://iwra.org/member/congress/resource/PAP00-6071.pdf>>. Acesso em: 17 dez. 2021.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **O que é o CONAMA?** Brasília. Disponível em:< <http://conama.mma.gov.br/o-que-e-o-conama>>. Acesso em: 17 dez. 2021.

MODIN, O. *et al.*; **Nonoxidative removal of organics in the activated sludge process**. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, v. 46, p. 635-672, 2016.

NASCIMENTO, R. F. *et al.*; **Adsorção: Aspectos teóricos e aplicações ambientais**. Imprensa Universitária. 1 ed. 256 p. Fortaleza, 2014.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2022. Disponível em:< <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/6>> Acesso em: 13 jan. 2022.

PERES, C. S.; ABRAHÃO, A. J.; **Características e sistemas de tratamento de águas residuais das indústrias têxteis.** Química Têxtil, v. 21, p. 22-39, 1998.

PRETTI, V. Q.; **Processo de adsorção de Ba²⁺ utilizando argila bentonita.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. p. 54, Ponta Grossa – PR. 2017.

PROLA, L. D. T.; **Remoção de corantes sintéticos de efluentes aquosos usando adsorventes carbonados.** Tese (Doutorado) – Ciência dos Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2016.

QASIM, M. *et al.*; **Reverse osmosis desalination: A state-of-the-art review.** Elsevier, Desalination. v. 459, p. 59-104, 2019.

QUEIROZ, M. T. A., et al.; **Reestruturação na forma do tratamento de efluentes têxteis: uma proposta embasada em fundamentos teóricos.** *Gestão & Produção*, 2019.

RECK, I. S.; PAIXÃO, R. M.; **Impactos Ambientais dos corantes AZO e tratamentos de remoção: Uma Revisão.** Revista UNINGÁ Review. Vol. 28, n 2, p. 61-66. 2016.

ROCHA, K. M.; *et.al.*; **Monitoramento e avaliação de parâmetros físico-químicos e microbiológicos de uma estação de tratamento de efluentes com sistema de lodos ativados em uma agroindústria no meio oeste de Santa Catarina.** Revista de Engenharia Civil IMED, v. 3, p. 25-36, 2016.

SAHOO, C. *et al.*; **Heterogeneous photocatalysis of real textile wastewater: Evaluation of reaction kinetics and characterization.** Journal of Environmental Science and Health, v. 47, p. 2109-2119, 2012.

SALLES, N. A.; **Cotratamento de esgoto sanitário e lixiviado de aterro sanitário em sistemas de lagoas aeradas e de lodos ativados: abordagem utilizando o ASM.** Dissertação (Mestrado) – Engenharia Hidráulica e Ambiental. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. São Paulo. 2019.

SANTOS, G. O. F.; **Avaliação do tratamento de efluentes do banho de tingimento de indústria têxtil por fungos basidiomicetos em biorreatores.** Tese (Doutorado) – Biotecnologia. Universidade de São Paulo. Instituto Butantan. São Paulo. 2016.

SANTURNINO, I. M.; **Estudo da adsorção no tratamento de corantes presentes em efluentes têxteis.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. p. 68, Natal – RN. 2020.

SÃO PAULO. **Decreto Estadual nº 8.468, de 8 de setembro de 1976.** Aprova o Regulamento da Lei n. 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, 09 set. 1976. Disponível em: <<https://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/documentos/Dec8468.pdf>>. Acesso em: 17 dez. 2021.

SHARMA, A. *et al.*; **Adsorption of textile wastewater on alkali-activated sand.** Elsevier, Journal of Cleaner Production. v. 220, p. 23-32, 2019.

SHARMA, J.; SHARMA, S; SONI, V.; **Classification and impact of synthetic textile dyes on Aquatic Flora: A review.** Elsevier, Ecotoxicology and Environmental Safety. v. 45, p. 1-17, 2021.

SHU, H. Y.; HUANG, C. R.; **Degradation of commercial azo dyes in water using ozonation and UV enhanced ozonation process.** Chemosphere. v. 31, p. 3813-3825, 1995.

SILVA, M. G.; **Corante naturais no tingimento e acabamento antimicrobiano e anti-UV de fibras têxteis.** Tese (Doutorado) – Engenharia Têxtil. Universidade de Minho. Braga, Portugal. 2018.

SOUZA, A. A. *et al.*; **Colour reduction in textile effluents by membranes.** Latin American Applied Research. Florianópolis, Brasil, 2009.

SOUZA, C. R. L; PERALTA-ZAMORA, P. **Degradação de corantes reativos pelo sistema ferro metálico/peróxido de hidrogênio.** Química Nova. São Paulo, v. 28, n.2, p.226-228, 2005.

TKACZYK, A; MITROWSKA, K; POSYNIK, A; **Synthetic organic dyes as contaminants of the aquatic environment and their implications for ecosystems: A review.** Elsevier, Science of The Total Environment. v. 717, p. 1-19, 2020.

TONIOLLO, M; ZANCAN, N. P.; WÜST, C.; **Indústria Têxtil: Sustentabilidade, impactos e minimização.** Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais (IBEAS). VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Porto Alegre, RS. 2015.

VALVERDE, R. P.; MORAIS, A. C. M.; CAIXETA, L. R.; CARNEIRO, G. T.; **Viabilidade no tratamento de efluente industrial através da utilização de reagente de Fenton e Fotocatálise heterogênea.** Revista Eletrônica de Engenharia Civil. 2016, 11, 35.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 4 ed. – Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e aos tratamentos de esgotos.** 2 ed. - Belo Horizonte: Editora UFMG, 1996.

VON SPERLING, M.; **Lagoas de estabilização.** 2 ed. - Belo Horizonte: Editora UFMG, 2013.

WEB OF SCIENCE. **WoS.** 2022. Disponível em:<
<https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/9e0b141d-d74a-4a4a-b47e-c52c15857f3a-046f20aa/relevance/1>> Acesso em: 01 fev. 2022.

WENTEN, I. G.; KHOIRUDDIN, K.; **Reverse osmosis applications: Prospect and challenges.** Elsevier, Desalination. v. 391, p. 112-125, 2016.

XIA, H. *et al.*; **A review of microwave-assisted advanced oxidation processes for wastewater treatment.** Elsevier, Chemosphere. v. 267, p. 130-153, 2022.

YASEEN, D. A.; SCHOLZ, M.; **Textile dye wastewater characteristics and constituents of synthetic effluents: A critical review.** International Journal of Environment Science and Technology. v. 16, p. 1193-1226, 2018.

ZAGHOUANE-BOUDIAF, H.; *et al.*; **Adsorption characteristics, isotherm, kinetics, and diffusion of modified natural bentonite for removing the 2,4,5-trichlorophenol.** Elsevier, Applied Clay Science. v. 90, p. 81-87, 2014.

ZANONI, M. V. B; YAMANAKA, H.; **Corantes: Caracterização química, toxicológica, métodos de detecção e tratamento.** Cultura Acadêmica. São Paulo, 1 ed. v. 1, p. 347, 2016.