



Recebido: 09/03/2023 | Revisado: 04/08/2023 | Aceito: 08/08/2023 | Publicado: 31/08/2023



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 Unported License.

DOI: 10.31416/rsdv.v11i2.603

## **Avaliação dos impactos ambientais no tratamento de efluentes têxteis que utilizam processos oxidativos avançados (POA): revisão da literatura sob a ótica da análise de ciclo de vida**

Evaluation of environmental impacts in the treatment of textile effluents using advanced oxidative processes (AOP): literature review from the perspective of life cycle analysis

**SILVA, Maria Clara da Rocha dos Santos. Engenheira Civil. PPGECAM -UFPE.**

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. Av. Marielle Franco, s/n - Km 59 - Caruaru - PE - Brasil, 55014-900  
Telefone: (81) 99234-3038 / E-mail: mariarochoa.silva@ufpe.br

**BARROS, Júlio César Alves. Engenheiro Civil. PPGECAM -UFPE.**

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. Av. Marielle Franco, s/n - Km 59 - Caruaru - PE - Brasil, 55014-900  
Telefone: (87) 99140-3761 / E-mail: julio.cbarros@ufpe.br

**DE AGUIAR, Amanda Maria Albuquerque. Enfermeira. PPGECAM - UFPE.**

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. Av. Marielle Franco, s/n - Km 59 - Caruaru - PE - Brasil, 55014-900  
Telefone: (81) 99208-6388 / E-mail: amanda.aguiar@ufpe.br

**NETO, José Floro de Arruda. Engenheiro Civil. PPGECAM - UPFE.**

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. - Caruaru - PE - Brasil, 55014-900  
Telefone: (81) 99457-1534 / E-mail: floro.arruda@ufpe.br

**DA SILVA, Rogério Ferreira. Químico.**

Instituto Federal de Pernambuco - IFPE. Estrada do Alto do Moura, km 3.8, Distrito Industrial III- Caruaru - PE - Brasil, 55040-120  
Telefone: (81) 98650-8863 / E-mail: rogerio1986@gmail.com

**DA SILVA, Gilson Lima. Engenheiro Químico.**

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. Av. Marielle Franco, s/n - Km 59 - Caruaru - PE - Brasil, 55014-900  
Telefone: (81) 99996-8941 / E-mail: gilson.lsilva@ufpe.br

### **RESUMO**

O setor da indústria têxtil é considerado um dos maiores poluentes dos corpos hídricos, pois além de utilizar um grande volume de água em seus processos produtivos, lançam elevada quantidade de contaminantes no meio ambiente, sobretudo nos corpos hídricos. Nesse contexto, os Processos Oxidativos Avançados (POAs) podem ser utilizados como processo de tratamento de efluentes têxteis que possuem corantes, contendo poluentes não biodegradáveis, já que possuem o potencial para degradar, seja parcialmente ou totalmente, essas moléculas que não são totalmente degradadas em sistemas biológicos de tratamento. Devido à escassez de literatura evidenciando a utilização destes tipos de tratamentos, o presente estudo propõe-se a realizar uma breve revisão na literatura. Uma meta-análise foi realizada com os dados da plataforma Scopus e o software





VosViewer foi usado para avaliar a pertinência da análise do ciclo de vida do tratamento de efluentes têxteis por meio dos POAs. Como resultado foi observado que existem diversos métodos de tratamento de efluentes têxteis e que estes podem ser comparados através da ferramenta de ACV de forma a se determinar qual deles possui menor impacto ambiental, destacam-se os sistemas Fenton e Foto-Fenton, fotocatalise heterogênea e sistemas fundamentados na utilização de ozônio.

**Palavras-chave:** Análise do Ciclo de Vida (ACV); Efluentes Têxteis; Processo Oxidativo Avançado (POA).

## ABSTRACT

The textile industry sector is considered one of the biggest pollutants of water bodies, as in addition to using a large volume of water in its production processes, it releases a high amount of contaminants into the environment, especially in water bodies. In this context, Advanced Oxidative Processes (AOPs) can be used as a treatment process for textile effluents that have dyes, containing non-biodegradable pollutants, since they have the potential to degrade, either partially or totally, those molecules that are not completely degraded in biological treatment systems. Due to the scarcity of literature showing the use of these types of treatments, the present study proposes to carry out a brief review of the literature. A meta-analysis was carried out with data from the Scopus platform and the VosViewer software was used to assess the relevance of life cycle analysis of textile effluent treatment through POAs. As a result, it was observed that there are several methods of treating textile effluents and that these can be compared using the LCA tool in order to determine which one has the lowest environmental impact, highlighting the Fenton and Photo-Fenton systems, heterogeneous photocatalysis and systems based on the use of ozone.

**keywords:** Life Cycle Analysis (ACV); Textile Effluents; Advanced Oxidative Process (POA).

## Introdução

Os problemas ambientais tornaram-se mais graves e frequentes nas últimas décadas, principalmente devido ao crescimento populacional excessivo e ao aumento das atividades industriais. Esses fatores relacionados às ações antrópicas resultaram em mudanças catastróficas na qualidade do solo, do ar e da água (ROCHA, 2021).

As águas naturais é recurso natural indispensável para vida, não há dúvida. Possui alto valor econômico, ambiental e social para manutenção do ecossistema terrestre, sendo a poluição das águas naturais um grande problema da sociedade moderna (CARDOSO, 2022). Através de princípios ambientais contemplados pelas declarações e convenções internacionais sobre meio ambiente e internalizados, no Brasil, pela Constituição Federal e Lei da Política Nacional de Meio Ambiente, como o consumidor-pagador e o poluidor-pagador recentemente incorporados à nossa legislação, a economia de água durante processos produtivos ganhou atenção especial devido ao valor agregado a este bem (TASSI, 2022).

Nesse contexto, a indústria têxtil tem um destaque especial, pois os grandes



parques industriais nos quais está instalada geram volumes de efluentes contendo grande quantidade de corantes orgânicos sintéticos em seus resíduos que podem causar sérios problemas de poluição ambiental se não forem tratados adequadamente (QUEIROZ, 2019).

Conforme Ramos (2020) o efluente da indústria têxtil é uma mistura complexa de resíduos de corantes, eletrólitos, ajustadores de pH, agentes tensoativos, sais, metais, entre outros. São altamente coloridos, isto deve-se ao fato de não se fixarem nas fibras durante o processo de tingimento, além disso são considerados extremamente perigosos devido à sua alta toxicidade e baixa taxa de degradação (ROCHA, 2020).

Segundo Tassi (2022) os corantes apresentam uma grande variedade de reatividade, solubilidade, volatilidade, estabilidade, por possuir vários compostos com diferentes grupos funcionais. O descarte inadequado desses efluentes têxteis, além de ser esteticamente desagradável, leva à diminuição da penetração da luz solar nos corpos hídricos, interfere nos processos fotossintéticos, reduz as concentrações de oxigênio dissolvido, a qualidade da água e causa efeitos tóxicos agudos na fauna e flora (CHAVES, 2022).

Todos os dias são descartados efluentes em grande quantidade nos corpos d'águas naturais em todo o mundo, fazendo com que o esgoto da indústria têxtil seja considerado o mais poluente dos setores industriais em termos de volume e composição dos efluentes (MARQUES, 2022).

Assim, é fundamental ressaltar que esse tipo de efluente apresenta um desafio significativo na indústria têxtil. Caso não receba tratamento adequado, ele pode alcançar os reservatórios e sistemas de tratamento de água antes de ser descarregado nas águas naturais. Essa situação configura uma ameaça considerável tanto para o meio ambiente quanto para a saúde humana, destacando a necessidade imperativa de tratamento adequado desses efluentes.

Atualmente, no tratamento de efluentes industriais, os processos físico-químicos, como a coagulação e floculação, desempenham um papel importante. Eles são amplamente utilizados na indústria têxtil para remover sólidos suspensos, fósforo - P, redução da demanda química de oxigênio (DQO) e cor. A coagulação envolve a adição de um coagulante, como o sulfato de alumínio  $Al_2(SO_4)_3$ - A, que forma flocos com as partículas presentes no efluente. Em seguida, ocorre a



floculação, em que um agente flocculante, como um polímero, aglomera os flocos para facilitar sua remoção. Esses processos promovem a remoção de impurezas e ajudam a atender aos padrões ambientais. Eles também contribuem para a sustentabilidade, permitindo o reúso da água e reduz o impacto ambiental da indústria (NUNES, 2019).

Contudo, outros métodos vêm sendo estudados a fim de trazer um melhor processo de tratamento desses efluentes, como é o caso dos processos oxidativos avançados que são baseados na liberação de radicais livres, principalmente o radical hidroxila altamente oxidado (-OH). Sob as circunstâncias certas como a presença adequada de reagentes químicos, temperatura, pH, pressão e tempo de reação, que são necessários para otimizar o desempenho desses métodos de tratamento, a degradação de produtos químicos pode ocorrer de forma muito eficiente (ARAÚJO, 2021).

Os processos de oxidação são mais comumente usados para descoloração química, principalmente devido à sua simplicidade de aplicação, onde no processo são introduzidos agentes oxidantes no sistema como peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), o hipoclorito de sódio (NaClO), ozônio ( $O_3$ ), persulfato de potássio ( $K_2S_2O_8$ ) entre outros. A ação destes oxidantes induz a formação dos radicais livres, que, por sua vez, reagem com os compostos químicos responsáveis pela coloração indesejada. Essa reação leva à quebra das moléculas de corantes, resultando em produtos químicos menos coloridos e mais passíveis de serem removidos ou tratados posteriormente (FERREIRA, 2021).

Conforme Oliveira (2019), os Processos Oxidativos Avançados (POA) são notáveis por converter parcial ou integralmente poluentes em substâncias mais simples, como dióxido de carbono, água, compostos inorgânicos, ânions ou substâncias menos tóxicas, as quais podem ser tratadas por métodos convencionais. Entretanto, é relevante observar que em situações nas quais os produtos resultantes da degradação são compostos persistentes ou altamente tóxicos, cuja remoção ou tratamento subsequente é complexo, eles podem representar uma ameaça maior ao meio ambiente e exibir menor capacidade de biodegradação em comparação com os compostos originais.

Os Processos Oxidativos Avançados (POAs) têm ganhado bastante destaque na literatura, (embora sua aplicação em larga escala não tenha sido amplamente



aplicada devido ao seu custo, complexidade, consumo de energia, geração de resíduos, utilização de reagentes específicos, conformidade com regulamentações ambientais, falta de conhecimento sobre o método e incerteza na eficiência) e são muito eficientes devido ao alto potencial de oxidação dos radicais hidroxila (OH), capazes de oxidar completamente a maioria dos contaminantes orgânicos e converte dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) em água, CO<sub>2</sub> e íons inorgânicos (mineralização) (NUNES, 2019).

Esses processos podem ser uma alternativa viável ao tratamento de efluentes, pois são mais rápidos e exigem menos recursos financeiros. Os processos avançados de oxidação abrem a possibilidade de degradar substratos de todas as naturezas químicas o que é considerado vantagem. E possui o potencial de degradar poluentes em baixas concentrações ou mesmo não produzir resíduos (CHAVES, 2022).

Para mensurar os possíveis impactos ambientais decorrentes da fabricação e uso de um determinado produto ou serviço, o POA, é utilizada a técnica de Avaliação do Ciclo de Vida - ACV (SILVA, 2021).

A norma ISO 14040 define a estrutura, princípios, requisitos e diretrizes que devem constar em um estudo de ACV, caracterizado por um alto grau de interação entre quatro fases principais: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação. Portanto, a análise pode ser realizada durante todo o ciclo de vida de um produto ou serviço desde a extração, fabricação e destinação final dos recursos naturais (PINTO, 2021).

Duarte e Silva (2020) destacam que a realização de um estudo de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) requer a definição precisa dos limites do sistema analisado, uma vez que uma variedade de fatores, que incluem o escopo do estudo, as fronteiras geográficas, a abrangência do ciclo de vida, a funcionalidade do produto ou serviço, as unidades funcionais, os sistemas de referência, a atribuição de impacto, a consideração de datas e temporalidade, a análise de impactos diretos e indiretos e a aplicação de critérios de corte, podem exercer influência significativa sobre os resultados do estudo.

Dada a grande quantidade de dados que compõem um sistema analítico, existem fronteiras para resolver problemas (ABNT, 2009b). A ACV pode ser descrita como uma interface entre um sistema de produto/serviço e o ambiente ou outros



sistemas de produto/serviço (ABNT, 2009a).

A escolha das entradas e saídas de dados deve ser consistente com o objetivo do estudo. Compreendendo a necessidade de avaliar o impacto ambiental dos processos avançados de oxidação durante a degradação do corante, as ferramentas de análise do ciclo de vida são muito úteis para este estudo. A partir dessas informações, podem ser identificadas possíveis soluções para efeitos nocivos ao meio ambiente (SILVA, 2021).

Compreendendo a importância dos processos oxidativos avançados para a melhoria do tratamento de efluentes têxteis e carência de estudos brasileiros que apontem a utilização dos mesmos, este estudo visa possibilitar o entendimento e importância da utilização do POA. Através de revisão bibliográfica sobre a análise do ciclo de vida do tratamento de efluentes têxteis por meio de processos oxidativos avançados.

## **Materiais e métodos**

O estudo foi dividido em três etapas que definem o método da revisão sistemática: Pesquisa na base de dados, Análise bibliométrica e Análise sistemática.

### **Pesquisa na base de dados**

Foram realizadas buscas na base de dados *Scopus*, selecionada por ser reconhecida como uma plataforma de grande abrangência científica, a fim de identificar os trabalhos de análise de ciclo de vida voltados para o tratamento de efluentes têxteis por meio de processo oxidativo avançado.

Para o tratamento dos artigos científicos foi aplicada a metodologia dos Principais Itens para Relatar Revisões Sistemáticas e Meta-Análises (PRISMA), composta por quatro etapas: identificação, seleção, elegibilidade e inclusão (MOHER et al., 2010).

De acordo com o método de pesquisa proposto, metodologia PRISMA, na etapa de identificação foram realizadas buscas de trabalhos através das palavras-chaves “advanced oxidative process” e “textile effluents” associadas entre si pelo operador Booleano “and”. Essa string de busca foi associada com o operador



Booleano “or” às palavra-chaves “OAP”, “lifecycle assessment” e “LCA”. Na seleção, foram aplicados critérios de exclusão através dos filtros disponíveis na base de dados, sendo removidos os artigos de revisão, papéis de conferência e livros, artigos que não estivessem nos idiomas inglês e português e por fim aqueles que não estavam dentro do período dos últimos 5 anos de publicação. Na terceira etapa, foi realizada a leitura dos artigos elegíveis. Na última etapa, inclusão, os artigos restantes foram lidos na íntegra, removendo os artigos que não faziam parte do escopo do tema analisado.

### **Análise Bibliométrica**

Os estudos bibliométricos constituem um tipo de revisão em que os dados quantitativos e os tratamentos estatísticos servem como indicadores para analisar as características da produção em uma determinada área. A bibliometria “pode ser definida como um conjunto de leis e princípios aplicados a métodos estatísticos e matemáticos que visam o mapeamento da produtividade científica de periódicos, autores e representação da informação” (CAFÉ; BRASHER, 2008, p. 54).

Foi realizada utilizando o software *VOSviewer* para a criação de redes bibliométricas. As cores dos conjuntos representam os *clusters* (agrupamentos construídos pelo software), constituídos por círculos interligados por arcos. O tamanho dos círculos indica o impacto na análise realizada, enquanto que a espessura dos arcos representa a força de ligação entre os círculos na análise. As redes foram geradas no intuito de avaliar as relações de coautoria, de citação e de coocorrência.

### **Análise Sistemática**

Baseado no objetivo deste trabalho sobre a aplicação de ACV voltada para o tratamento de efluentes têxteis por meio de processo oxidativo avançado, os dados apresentados nos artigos foram utilizados para a elaboração de tabelas-resumo para sistematizar as informações.

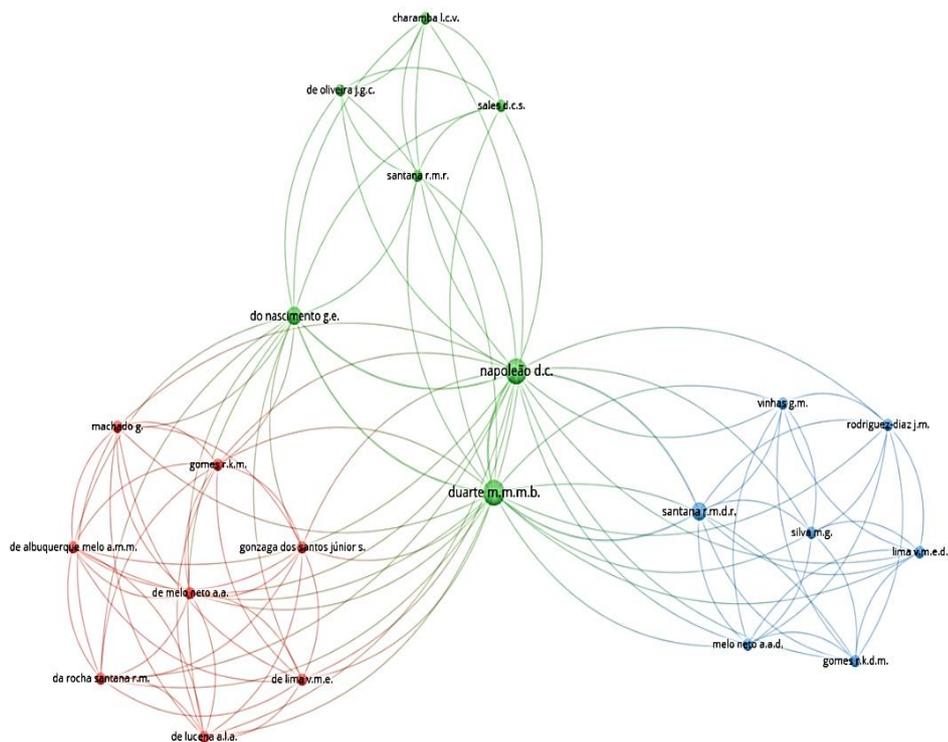


## Resultados e discussão

### Análise Bibliométrica

A partir da análise de coautoria, representada na Figura 1, é possível observar uma rede bibliométrica composta por 3 *clusters* principais ligando os 22 autores principais. O tamanho dos círculos mostra os autores que tiveram mais impacto nesse âmbito de pesquisa; Napoleão (2019), Duarte (2019), e Santana et al. (2019) e a linha que interliga os artigos na rede representa a presença de coautoria entre eles. Além disso sabe-se que 66,67% dos trabalhos foram realizados por autores do Brasil, 20% dos trabalhos foram realizados por autores de países do continente asiático e 13,33% foram realizados por autores de países do continente europeu. No entanto, mesmo tendo estudos sobre aplicação de POA em efluentes têxteis, os autores citam dificuldade da aplicação do mesmo devido a fatores como seu alto custo, complexidade, consumo de energia, geração de resíduos, utilização de reagentes específicos, conformidade com regulamentações ambientais, falta de conhecimento sobre o método e incerteza na eficiência.

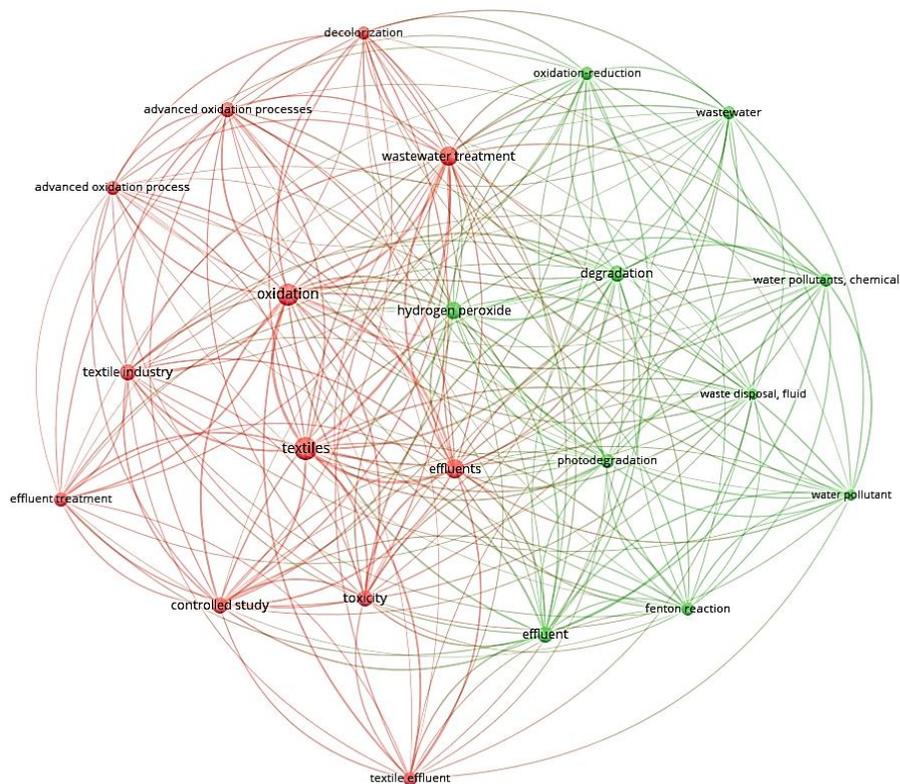
Figura 1 - Rede bibliométrica de coautoria entre os autores



Fonte: Autores, 2023.



**Figura 3 - Rede bibliométrica da coocorrência dos artigos.**



Fonte: Autores, 2023.

### Análise Sistemática

A partir da leitura dos artigos foi possível apresentar, de forma resumida as atividades desenvolvidas pelos autores e suas principais conclusões, conforme Tabela 1.

**Tabela 1 - Trabalhos encontrados na literatura e suas principais conclusões.**

REFERÊNCIAS	PRINCIPAIS CONCLUSÕES DO ESTUDO
(ARSLAN; AKMEHMET BALCIOĞLU; TUHKANEN, 1999)	O estudo utilizou reações de UV/Fenton, UV quase visível/Fenton, Fenton escuro e H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV para tratar efluentes de tinturaria simulados representando águas residuais do processo de tingimento e enxágue de têxteis. Como resultado os autores obtiveram que a taxa de descoloração aumentou com a aplicação de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> e a dose de íon Fe <sup>2+</sup> , bem como a resistência do efluente têxtil sintético.
(EL GHAZI; ELAMRANI; MANSOUR, 2003)	O estudo descreveu a degradação fotocatalítica do corante têxtil Basic Red 18 (BR 18) em solução aquosa utilizando dois tipos diferentes de TiO <sub>2</sub> como fotocatalisador: Degussa P25 (80% anatase) e Framitalia (100% anatase). Como resultados os autores obtiveram que a cor se tornou praticamente zero e a demanda química de oxigênio (DQO) é fortemente reduzida ao final do tratamento e observou-se redução significativa da mortalidade cumulativa para o efluente tratado.
(LIM et al., 2004)	O estudo avaliou as características do tratamento de água residuais de tingimento têxtil biotratadas e agentes químicos usados em um processo de tingimento têxtil por processo de oxidação avançada. A partir dos resultados obtidos, os autores obtiveram um processo



	avançado de tratamento envolvendo a ozonização sem e com adição de peróxido de hidrogênio, seguido de tratamento biológico, foi proposto para o tratamento de efluentes refratários provenientes do processo de tingimento têxtil.
(GARCIA et al., 2009a)	O estudo investigou a fotodegradação de efluentes têxteis reais por processo oxidativo avançado (POA) utilizando o sistema TiO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /luz solar. Os autores obtiveram que os resultados indicam que a radiação solar é tão ou até mais eficiente que a radiação artificial em estudos anteriores e também permite uma redução nos custos operacionais do tratamento de efluentes.
(GARCIA et al., 2009b)	O estudo caracterizou o comportamento de degradação e mineralização de efluentes têxteis reais através de processos oxidativos avançados utilizando TiO <sub>2</sub> ou associação de TiO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , e monitorar a toxicidade dos produtos formados em relação ao efluente bruto durante 6 h de irradiação. Os autores obtiveram que os resultados demonstraram que a associação TiO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> é mais eficiente na mineralização destes resíduos alcançando taxas representativas de redução de matéria orgânica (representada pela coloração, DQO e COT) e, ainda, altas concentrações de íons mineralizados (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> e SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )
(BABAN et al., 2010)	O estudo avaliou o tratamento biológico e oxidativo de efluentes do banho de tingimento têxtil de algodão por reatores de leito fixo e fluidizado. Como resultado os autores obtiveram que o tratamento de banhos de tingimento reativos ao remazol usando reatores de carvão marrom é vantajoso para obter altas eficiências de remoção que podem não ser fáceis de alcançar por sistemas convencionais. O material de embalagem pode ser substituído, descartado ou regenerado a custos relativamente baixos. O sistema tem facilidade operacional em relação às opções de tratamento convencionais.
(GARCIA et al., 2013)	O estudo caracterizou a degradação e mineralização de efluentes têxteis por processos oxidativos avançados usando TiO <sub>2</sub> ou TiO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> e monitorar a toxicidade dos produtos formados durante irradiação de 6 h em relação a essa do efluente in natura. Os autores obtiveram que os resultados demonstraram que a associação TiO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> foi mais eficiente na mineralização de efluentes têxteis do que o TiO <sub>2</sub> , com altas concentrações de íons mineralizados (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NÃO <sup>-3</sup> , e assim <sup>2-4</sup> ) e diminuiu significativamente os índices de matéria orgânica (representados pela demanda química de oxigênio e carbono orgânico total).
(POURGHOLI et al., 2018)	O estudo avaliou o uso do método experimental em efluente da indústria têxtil Kashan em escala de laboratório e sistema de batelada. Os autores obtiveram como resultado que o tempo de tratamento foi eficaz na remoção da cor (P < 0/001) estatisticamente. presença de incidência de forte numerosos oxidantes e seu efeito agravante através da produção radicais hidroxila ativos
(COSTA; AGUIAR, 2019)	O estudo avaliou o efeito de um corante, AM, sobre a descoloração de outros, considerados aqui corantes alvos, a partir de processos Fenton (Fe <sup>2+</sup> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , Fe <sup>3+</sup> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ). O autor constatou que o AM promoveu um incremento na descoloração dos corantes Vermelho de Fenol e Safranina T, pouca influência para o Alaranjado de Metila, enquanto para o Cromotrope 2R houve uma diminuição na sua descoloração. Em geral, o modelo cinético que se ajustou melhor aos dados experimentais foi o de 2ª ordem. Esses resultados demonstram que um corante pode incrementar, ou até mesmo diminuir, a degradação de outros corantes por processos baseados na reação de Fenton.
(BUTHIYAPPAN et al., 2019)	O estudo investigou o desempenho de um sistema integrado de tratamento Fenton-Ultrafiltration para tratar efluentes têxteis. Como resultado, os autores obtiveram que o efluente tratado apresentou valores de COD, TOC e remoção de cor de 48,0 mg/L, 1,2 mg/L e



	>99%, respectivamente. Esses valores estão em conformidade com os padrões ambientais típicos de descarga.
(SANTANA et al., 2019)	O estudo avaliou os processos oxidativos avançados (POA) para uso na degradação dos corantes têxteis reativo vermelho 195 e preto direto 22 usando reatores de bancada, além da toxicidade da solução, tanto antes como depois do tratamento. Como resultado os autores apontaram que o modelo cinético no qual os dados experimentais melhor se ajustaram foi o modelo não linear que emprega monitoramento de comprimento de onda e a solução tratada era tóxica usando uma concentração de 10% de <i>Lactuca sativa</i> e <i>Syzygium aromaticum</i> sementes.
(ROSA et al., 2020)	O estudo realizou a aplicação do processo oxidativo avançado (POA) H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV como alternativa para reduzir insumos, custos e impactos ambientais de efluentes têxteis. A contabilidade de custos ambientais foi utilizada para demonstrar os ganhos econômicos, ambientais e sociais do processo. Como resultado os autores apontaram que há uma eficiência de remoção do carbono orgânico total e sal, 93% e 95%, respectivamente, e o consumo de carbonato de sódio e hidróxido de sódio foi reduzido em 33,21% e 25,51%, respectivamente.
(FAVERO et al., 2020)	O estudo investigou a eficiência dos processos físico-químicos de coagulação e floculação e processo oxidativo avançado de Fenton na redução dos parâmetros de cor, turbidez e Demanda Química de Oxigênio (DQO) de um efluente real de uma indústria têxtil. Como resultado, os autores apontaram que tanto no pH 6,0 quanto no pH 7,0, foram observadas reduções em todos os parâmetros analisados, obtendo-se 170,78 mg O <sub>2</sub> /L de COD, 22,19 mg/L de cor e 0,80 NTU de turbidez (em pH 6,0) e 151,80 mg O <sub>2</sub> /L de COD, 26,73 mg/L de cor, 0,94 NTU de turbidez (em pH 7,0), que demonstra a eficiência desse processo na redução dos parâmetros analisados.
(KLANOVICZ et al., 2020)	Os autores desenvolveram processos de oxidação avançada (POA), utilizando peroxidase de farelo de arroz não comercial para remover cor e toxicidade de efluentes têxteis sintéticos e perceberam que nos resultados dos testes de toxicidade, ambos os sistemas de tratamento danificaram o material genético utilizado. Esse dano ocorre devido ao lançamento industrial de efluentes em corpos d'água; a diluição do efluente reduziu esses danos. Os dados sugerem que a peroxidase como tratamento de efluentes têxteis tem uso potencial em processos industriais, pois a peroxidase do farelo de arroz demonstrou afinidade com corantes.
(MIRZA et al., 2020)	O estudo apresenta uma revisão de alguns estudos recentes com foco no tratamento de tecidos águas residuais usando processos de oxidação avançada (AOPs), separação por membrana e o integrado Processo AOP-membrana. Como resultado os autores obtiveram que os principais desafios que impedem o desenvolvimento de tais conceitos de processos integrados foram apresentados, o que poderia funcionar como um referência para futuras pesquisas e desenvolvimento.
(LIMA SANTOS KLIENCHEN DALARI et al., 2020)	O estudo avaliou a eficiência do processo foto-Fenton heterogêneo no tratamento de efluentes têxteis reais utilizando grânulos de quitosana como catalisador sólido. Os resultados obtidos pelos autores apresentaram 91,92 % de descoloração do efluente. Foi possível verificar a eficiência do processo sem precipitação de ferro ao trabalhar com valores de pH acima de 6. Além disso, foi realizada a determinação do comportamento de outros parâmetros, como cor, compostos aromáticos, sólidos dissolvidos e totais, bem como toxicidade.
(GARCIA; ROSA; BORRELY, 2020)	O estudo avaliou a eficiência de um tratamento por feixe de elétrons aplicado à toxicidade e redução de cor de um efluente têxtil contendo corante reativo Red 239. DQO e TOC do efluente também foram



	avaliados. Como resultado os autores obtiveram que a irradiação com EB reduziu com sucesso a toxicidade e a cor do efluente e que aproximadamente 70% de redução de toxicidade foi obtida para ambos os organismos, enquanto 95% de redução de cor foi obtida pela aplicação de 5 kGy.
(LEBRON et al., 2021)	O estudo avaliou a aplicação de um processo avançado de oxidação (AOP, foto-Fenton) combinado com microfiltração (MF) e nanofiltração (NF) em dois processos distintos: (1) MF-NF-AOP (c) e (2) MF- AOP-NF; visando o tratamento concentrado de NF no primeiro, e como pré-tratamento de NF no segundo. Como resultado, os autores obtiveram que em ambos os casos, a concentração de ferro residual no concentrado de NF e no efluente AOP impediu seu reuso. No entanto, o permeado de NF de ambos os processos de tratamento pode ser considerado para lavagem de fios e lavagem de equipamentos. Além disso, para a combinação MF-NF-AOP (c), o permeado de NF atendeu aos requisitos para ser reciclado de volta ao processo. O melhor desempenho do primeiro sistema (MF-NF-AOP (c) ) no tratamento de efluentes têxteis foi garantido por seu menor gasto operacional (0,421 US\$/m <sup>3</sup> ) em comparação com o MF-AOP-NF (0,736 US\$/m <sup>3</sup> ). No geral, o tratamento combinando MF-NF-AOP (c) foi considerado a alternativa de melhor custo-benefício para o reuso do tratamento de efluentes têxteis.
(SILVA et al., 2021)	O estudo avaliou a Análise do Ciclo de Vida (LCA) da degradação de corantes em 1 m <sup>3</sup> de efluente, através de processos oxidativos avançados, utilizando o processo Photo-Fenton. Como resultado os autores apontaram que o processo Photo-Fenton é uma solução viável para a degradação de corantes em efluentes industriais têxteis, pois possuem um alto índice de degradação e utiliza a luz solar, tornando sua aplicação viável para replicação em escala industrial.
(SANTANA; NAPOLEÃO; DUARTE, 2021)	O estudo investigou a aplicação de tecnologia avançada de oxidação neste tipo de matriz. Inicialmente, para uma mistura de corantes têxteis em solução, o processo foto-Fenton/luz solar mostrou-se o mais eficiente dentre os outros sistemas testados. Como resultado os autores obtiveram que A eficiência do processo foto-Fenton/luz solar foi inferior à obtida para a solução dos corantes, fato atribuído à maior complexidade da matriz real. No entanto, os dados também indicaram que a combinação de processos de coagulação/floculação e oxidação avançada é a metodologia mais adequada para reduzir a fração de compostos biodegradáveis. Em resumo, a pesquisa revelou que a degradação fotocatalítica de corantes por meio de oxidação avançada é um tratamento eficiente.
(DE SOUZA et al., 2021)	O estudo avaliou o tratamento do efluente da indústria têxtil via processos oxidativos avançados de foto-Fenton assistidos por diferentes fontes (luz solar natural, UV-A ou lâmpadas LED visíveis). Como resultados, os autores obtiveram que o uso da lâmpada LED exigiu concentrações de reagentes menores em comparação com as fontes solar e UV-A e que a análise de custo indicou que o uso de lâmpadas LED resultou em redução no consumo elétrico em relação à lâmpada UV-A, bem como redução no custo de reagentes devido à menor concentração de reagentes necessária em relação aos processos assistidos por luz solar natural e UV-A.
(DA ROCHA SANTANA et al., 2022)	O estudo avaliou a tecnologia avançada de oxidação através da degradação de uma solução composta por quatro corantes têxteis, mais complexa que as soluções utilizadas em pesquisas semelhantes. Para tanto, foi aplicado o processo foto-Fenton heterogêneo, utilizando o mineral pirita como catalisador de ferro e a luz solar como fonte de radiação. Como resultados os autores informam que de maneira geral, foi evidenciada a adequação do tratamento proposto e o bom uso da pirita nos sistemas heterogêneos de Fenton.
(JADHAV et al.,	O estudo avaliou as soluções aquosas do corante ReactiveRed 45 que



2022)	foram tratadas com AOP usando apenas radiação UV e gama e, em seguida, na presença de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> . Como resultados os autores obtiveram que os processos avançados de oxidação baseados em radiação UV e gama em conjunto com H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> podem ser aplicados para a degradação e desintoxicação de efluentes de resíduos têxteis de forma eficiente.
(FEUZER-MATOS et al., 2022)	O estudo avaliou a eficiência de processos oxidativos e adsorptivos para remover corantes novos e recalcitrantes de efluentes têxteis. Este método foi usado para tratar efluentes têxteis que já haviam sido tratados por um sistema convencional (isto é, precipitação química e tratamento microbiológico), e este efluente tratado duplamente foi analisado para identificar seu potencial de reutilização para usos industriais não potáveis. Como resultados os autores obtiveram que o Ti-fotoperoxidação + AC foi o melhor processo para remover corantes recalcitrantes, mas o efluente tratado pode ser usado apenas indiretamente para o processo de limpeza da indústria têxtil.
(HUTAGALUNG et al., 2023)	O estudo realizou uma combinação de processo de oxidação avançada (AOP) baseado em ozônio é acoplada a um gerador de nanobolhas para a geração de nanobolhas de ozônio (NB) utilizadas pelo mesmo para tratar o efluente primário adquirido de efluentes têxteis. Como resultado os autores obtiveram que o método combinado gerou com sucesso nanobolhas de ozônio com 99,94% de tamanho distribuído em 216,9 nm. Isso destaca que o aumento da reatividade do ozônio desempenha um papel crucial na melhoria da qualidade da água residual têxtil para ser tecnologicamente eficiente até o momento.
(KANJAL et al., 2023)	O estudo analisou o AOP assistido por irradiação de raios-X síncrotron (3-20 keV) que foi desenvolvido para a degradação de soluções de efluentes industriais de cores únicas e mistas. Experimentos de irradiação foram conduzidos em efluentes industriais obtidos diretamente das indústrias de tecidos. Os autores obtiveram que os resultados da espectroscopia UV-Vis e da demanda de oxidação química (COD) revelaram que as águas residuais foram degradadas e a eficiência da degradação pode ser ajustada variando a dose de raios-X. A descoloração completa e remoção de ~ 85% em COD foi obtida na dose de raios-X de 15000mAs. Espécies químicas presentes em águas residuais puras e irradiadas foram analisadas usando técnicas de FTIR. Os espectros de FTIR revelaram a destruição do anel aromático e ligação de nitrogênio de águas residuais sob irradiação de raios-X. A técnica de cromatografia líquida-espectroscopia de massa (LC-MS) foi empregada para identificar e quantificar os compostos desconhecidos presentes em soluções de águas residuais puras e irradiadas com raios-X. Ensaio de toxicidade em <i>Escherichia coli</i> gram-negativa (DH5α) mostram claramente a desintoxicação de soluções irradiadas com raios-X.
(CHRISTIAN et al., 2023)	O estudo discutiu as técnicas recentes usadas para remover cor, sólidos e carga orgânica dos efluentes, como adsorção, coagulação, processo de Fenton, processo de foto Fenton, ozonização e eletrocoagulação. Como resultados os autores obtiveram que como existem vários processos de tratamento biológicos, eles estão sendo combinados para otimizar as vantagens de ambos os processos envolvidos e restringir ao mínimo as limitações. Combinando vários processos é possível aumentar a eficiência geral do processo de tratamento para cerca de 90% com um tempo de operação muito menor.
(SHAJEELAMMAL et al., 2023)	Esse estudo avaliou um processo convencional de cavitação de US pulsado de baixa frequência (22 ± 2 kHz) que foi modificado variando a potência do US (50-150 W), o pH inicial da solução (2-10) e a taxa de fluxo de O <sub>2</sub> (1- 4 L min <sup>-1</sup> ) para aumentar a decomposição do corante catiônico azul de metileno (MB) em uma solução aquosa.
(SANTANA et al., 2023)	O estudo atendeu as limitações ainda apresentadas pelo processo Fenton quanto ao uso de catalisadores de ferro



	suspensão. Logo, um nanocompósito de celulose bacteriana (BC) e magnetita (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ) foi desenvolvido. Os resultados obtidos pelos autores demonstraram que empregando o BC/Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> compósito como catalisador de ferro é uma alternativa adequada aos materiais empregados em suspensão. Isso se deve principalmente à alta atividade catalítica e poder de reaproveitamento, o que reduzirá os custos do tratamento. Os autores obtiveram como resultado que os valores mais ótimos de potência de US, pH inicial da solução, taxa de fluxo de O <sub>2</sub> , HTN e concentrações de PS para decomposição de 100% MB são observados como 150 W, 2, 2 L min <sup>-1</sup> , 0,3 g L <sup>-1</sup> e 10 mM, respectivamente. A decomposição de corantes industriais azo reativos em uma solução aquosa, bem como em um efluente têxtil, também foi demonstrada usando um processo modificado de cavitação pulsada de baixa frequência envolvendo a ativação térmica de PS sem o uso de HTN, o que justifica sua adequação para uma aplicação comercial.
(URBINA-SUAREZ et al., 2023)	Esse estudo enfoca a remoção da Demanda Química de Oxigênio (COD), cor, Carbono Orgânico Total (TOC) e Nitrogênio Amoniacal (N-NH <sub>3</sub> ) no tratamento de efluentes de curtume por meio de um processo de oxidação avançada (AOPs) usando bicarbonato de sódio (NaHCO <sub>3</sub> ), peróxido de hidrogênio (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) e temperatura usando um design não fatorial composto central com uma resposta de superfície usando o software Statistica 7.0. Os autores obtiveram como resultado que a análise estatística constatou que a concentração de NaHCO <sub>3</sub> afeta a remoção de cor e N-NH <sub>3</sub> ; no entanto, não afetou COD e TOC. As condições ótimas do processo para remoção dos diferentes compostos em estudo foram: NaHCO <sub>3</sub> 1 M, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 2 M e 60 °C, com eficiências de 92,35%, 31,93%, 68,85% e 35,5% N-NH <sub>3</sub> , COD, cor e TOC respectivamente. Pode-se concluir que os POAs que utilizam H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> e NaHCO <sub>3</sub> são recomendados para remoção de cor e N-NH <sub>3</sub> .

Fonte: Autores, 2023.

## Conclusões

Diante do exposto foi possível concluir inúmeras etapas e processos envolvidos na indústria têxtil levam a resíduos finais altamente complexos e tóxicos para humanos, animais e meio ambiente. O desenvolvimento de sistemas de tratamento de efluentes têxteis vem evoluindo para acompanhar o desenvolvimento de métodos de tingimento, corantes com melhor fixação da cor e diferentes tipos de materiais de fabricação.

A combinação de várias etapas para promover a descontaminação, tais como, o uso de processos biológicos, físicos e químicos são alternativas a serem consideradas no intuito de se obter um efluente tratado conforme os limites internos estabelecidos e/ou de acordo com normas de descarte estabelecidas pelos órgãos ambientais. Recomenda-se que esses efluentes tratados para serem lançados em corpos d'água, seja realizados testes de toxicidade para garantir a qualidade ambiental e proteger os organismos aquáticos.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), ao Grupo de Gestão Ambiental Avançada (GAMA), da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e ao Centro Acadêmico do Agreste, Caruaru-PE, por todo o apoio e incentivo para o desenvolvimento da pesquisa.



## Referências

ABNT. NBR ISO 14040: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. ABNT, 2009a.

ABNT. NBR ISO 14044: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações. ABNT, 2009b.

ARAÚJO, B. A. et al. Processos oxidativos avançados aplicados no tratamento de efluentes da produção de membranas: revisão de literatura. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 4, p. e27210414253-e27210414253, 2021.

ARSLAN, I.; AKMEHMET BALCIOĞLU, I.; TUHKANEN, T. Oxidative treatment of simulated dyehouse effluent by UV and near-UV light assisted Fenton's reagent. *Chemosphere*, v. 39, n. 15, p. 2767-2783, 1999.

BABAN, A. et al. Biological and oxidative treatment of cotton textile dye-bath effluents by fixed and fluidized bed reactors. *Bioresource Technology*, v. 101, n. 4, p. 1147-1152, 2010.

BERGAMINI JUNIOR, S. ESG, Impactos ambientais e Contabilidade. *Pensar Contábil*, v. 23, n. 80, 2021.

BITTENCOURT, C.; DE PAULA, M. A. S. Tratamento de água e efluentes Fundamentos de saneamento ambiental e gestão de recursos hídricos. Saraiva Educação SA, 2014.

BUTHIYAPPAN, A. et al. Textile wastewater treatment efficiency by Fenton oxidation with integration of membrane separation system. *Chemical Engineering Communications*, v. 206, n. 4, p. 541-557, 2019.

CAFÉ, Lígia; BRÄSCHER, Marisa. Organização da informação e bibliometria. *Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação*, n. Esp, p. 54- 75, 2008.

CARDOSO, L. M. Água-fonte da vida. Editora do Brasil, 2022. CHAVES, N. O.; DE CARVALHO, L. C. F.; OLIVEIRA, R. M. P. B. As principais técnicas utilizadas para remoção de corantes das águas residuais da indústria têxtil: uma revisão. *Perspectivas da Ciência e Tecnologia* v. 14, 2022.

CHRISTIAN, D. et al. Recent techniques of textile industrial wastewater treatment: A review. *Materials Today: Proceedings*, v. 77, p. 277-285, 2023.

COSTA, L. T. A.; AGUIAR, A. Kinetic study of the effect of methylene blue on the decolorization of other dyes by Fenton processes | Estudo cinético do efeito do azul de metileno na descoloração de outros corantes por processos fenton. *Periodico Tche Quimica*, v. 16, n. 32, p. 885-893, 2019.



DA ROCHA SANTANA, R. M. et al. Sunlight Irradiated Pyrite-Fenton System for Advanced Oxidative Treatment of Textile Dyes Mixture. *Water, Air, and Soil Pollution*, v. 233, n. 5, 2022.

DE SOUZA, Z. S. B. et al. A comparative study of photo-Fenton process assisted by natural sunlight, UV-A, or visible LED light irradiation for degradation of real textile wastewater: factorial designs, kinetics, cost assessment, and phytotoxicity studies. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, n. 19, p. 23912-23928, 2021.

DUARTE, A. D., SILVA, G. L., 2020. Application of Life Cycle Analysis (LCA) tool in the treatment process of effluents in a laundry of jeans. *Exacta*, vol 18(2) 355-368.

EL GHAZI, I.; ELAMRANI, M. K.; MANSOUR, M. Photocatalytic oxidation of the textile dye Basic Red 18 with irradiated titanium dioxide. *Toxicological and Environmental Chemistry*, v. 85, n. 1-3, p. 1-6, 2003.

FAVERO, B. M. et al. Evaluation of the efficiency of coagulation/flocculation and Fenton process in reduction of colour, turbidity and COD of a textile effluent. *Environmental Technology (United Kingdom)*, v. 41, n. 12, p. 1580-1589, 2020.

FERREIRA DE JESUS, M. F. Processos oxidativos avançados: uma breve revisão. 2021. FEUZER-MATOS, A. J. et al. Treatment of Wastewater Containing New and Non-biodegradable Textile Dyes: Efficacy of Combined Advanced Oxidation and Adsorption Processes. *Water, Air, and Soil Pollution*, v. 233, n. 7, 2022.

GARCIA, J. C. et al. Solar photocatalytic degradation of real textile effluents by associated titanium dioxide and hydrogen peroxide. *Solar Energy*, v. 83, n. 3, p. 316- 322, 2009a.

GARCIA, J. C. et al. Evolutive follow-up of the photocatalytic degradation of real textile effluents in TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> systems and their toxic effects on *Lactuca sativa* seedlings. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 20, n. 9, p. 1589-1597, 2009b.

GARCIA, J. C. et al. Toxicity assessment of textile effluents treated by advanced oxidative process (UV/TiO<sub>2</sub> and UV/TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) in the species *Artemia salina* L. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 185, n. 3, p. 2179-2187, 2013.

GARCIA, V. S. G.; ROSA, J. M.; BORRELY, S. I. Toxicity and color reduction of a textile effluent containing reactive red 239 dye by electron beam irradiation. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 172, 2020.

HUTAGALUNG, S. S. et al. Combination of ozone-based advanced oxidation process and nanobubbles generation toward textile wastewater recovery. *Frontiers in Environmental Science*, v. 11, 2023.

JADHAV, A. P. et al. Synchrotron X-ray assisted degradation of industrial wastewater by advanced oxidation process. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 197, 2022.



KANJAL, M. I. et al. A Study of Treatment of Reactive Red 45 Dye by Advanced Oxidation Processes and Toxicity Evaluation Using Bioassays. *Sustainability (Switzerland)*, v. 15, n. 9, 2023.

KLANOVICZ, N. et al. Advanced oxidation processes applied for color removal of textile effluent using a home-made peroxidase from rice bran. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, v. 43, n. 2, p. 261-272, 2020.

LEBRON, Y. A. R. et al. Integrated photo-Fenton and membrane-based techniques for textile effluent reclamation. *Separation and Purification Technology*, v. 272, 2021.

LIM, B.-R. et al. Oxidative treatment characteristics of biotreated textile-dyeing wastewater and chemical agents used in a textile-dyeing process by advanced oxidation process. *Water Science and Technology*, v. 49, n. 5-6, p. 137-143, 2004.

LIMA SANTOS KLIENCHEN DALARI, B. et al. Application of heterogeneous photo-fenton process using chitosan beads for textile wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 8, n. 4, 2020.

MARQUES, C. F.; DA CONCEIÇÃO, V. M. Alternativas tecnológicas de tratamento de efluentes têxteis: uma revisão bibliométrica. *Revista Internacional de Ciências*, v. 12, n. 3, p. 194-212, 2022.

MCARTHUR, J. W., & RASMUSSEN, K. Change of pace: Accelerations and advances during the Millennium Development Goal era. *World Development*, v. 105, p. 132-143, 2018.

MIRZA, N. R. et al. A review of the textile wastewater treatment technologies with special focus on advanced oxidation processes (Aops), membrane separation and integrated aop-membrane processes. *Desalination and Water Treatment*, v. 206, p. 83-107, 2020. NUNES, G. R. Geração e tratamento de efluentes da indústria têxtil. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2019.

OLIVEIRA, Leticia G. et al. Uma revisão do uso de processos oxidativos avançados para descoloração de águas residuais de efluentes. *Revista Processos Químicos*, v. 13, n. 26, p. 105-112, 2019. POURGHOLI, M. et al. Removal of Dye and COD from Textile Wastewater Using AOP (UV/O3, UV/H2O2, O3/H2O2 and UV/H2O2/O3). *Journal of Environmental Health and Sustainable Development*, v. 3, n. 4, p. 630-636, 2018.

QUEIROZ, M. T. A. et al. Reestruturação na forma do tratamento de efluentes têxteis: uma proposta embasada em fundamentos teóricos. *Gestão & Produção*, v. 26, 2019.

RAMOS, M. D. N. et al. Análise crítica das características de efluentes industriais do setor têxtil no Brasil. *Revista Virtual de Química*, v. 12, p. 913-929, 2020.



ROCHA, R. A. et al. Caracterização do tratamento de efluente da indústria têxtil. Teresina-PI. 2020.

ROCHA, S. A. "Água, elemento representativo da ecologia integral". *Ecologia Integral*, p. 85, 2021.

ROSA, J. M. et al. Application of continuous H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV advanced oxidative process as an option to reduce the consumption of inputs, costs and environmental impacts of textile effluents. *Journal of Cleaner Production*, v. 246, 2020.

SANTANA, R. M. D. R. et al. Efficient microbial cellulose/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanocomposite for photocatalytic degradation by advanced oxidation process of textile dyes. *Chemosphere*, v. 326, 2023.

SANTANA, R. M. D. R.; NAPOLEÃO, D. C.; DUARTE, M. M. M. B. Treatment of textile matrices using Fenton processes: influence of operational parameters on degradation kinetics, ecotoxicity evaluation and application in real wastewater. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, v. 56, n. 10, p. 1165-1178, 2021.

SANTANA, R. M. R. et al. Degradation of Textile Dyes Employing Advanced Oxidative Processes: Kinetic, Equilibrium Modeling, and Toxicity Study of Seeds and Bacteria. *Water, Air, and Soil Pollution*, v. 230, n. 6, 2019.

SHAJEELAMMAL, J. et al. Removal of methylene blue and azo reactive dyes from aqueous solution and textile effluent via modified pulsed low-frequency ultrasound cavitation process. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 30, n. 11, p. 29258-29280, 2023.

SILVA, R. F. et al. Life cycle analysis of dye degradation using advanced oxidative processes. *Chemical Engineering Transactions*, v. 86, p. 589-594, 2021. TASSI, F. G. Metodologias para tratamento de efluentes têxteis: uma revisão. 2022.

URBINA-SUAREZ, N. A. et al. Bicarbonate-Hydrogen Peroxide System for Treating Dyeing Wastewater: Degradation of Organic Pollutants and Color Removal. *Toxics*, v. 11, n. 4, 2023