

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA TÊXTIL
ENGENHARIA TÊXTIL**

AMANDA AYUMI WADA

**TRATAMENTO DE EFLUENTES DE TINGIMENTO POR PROCESSOS
OXIDATIVOS AVANÇADOS: REVISÃO DA LITERATURA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

APUCARANA
2017

AMANDA AYUMI WADA

**TRATAMENTO DE EFLUENTES DE TINGIMENTO POR PROCESSOS
OXIDATIVOS AVANÇADOS: REVISÃO DA LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Engenharia Têxtil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientadora: Prof^a Dr^a Valquíria Aparecida dos Santos Ribeiro

Co-orientadora: Prof^a Dr^a Ana Maria Ferrari Lima

APUCARANA
2017



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Apucarana



COENT – Coordenação do curso superior em Engenharia Têxtil

TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso:

**Tratamento de Efluentes de tingimento por processos oxidativos avançados:
revisão da literatura**

por

AMANDA AYUMI WADA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado aos sete dias do mês de junho do ano de dois mil e dezessete, às dezesseis horas e dez minutos, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Têxtil do curso de Engenharia Têxtil da UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela banca examinadora composta pelos professores abaixo assinado. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho aprovado.

PROFESSOR(A) VALQUIRIA APARECIDA DOS SANTOS RIBEIRO –
ORIENTADOR

PROFESSOR (A) ANDREA SARTORI JABUR – EXAMINADOR(A)

PROFESSOR(A) LEANDRO VICENTE GOLÇALVES – EXAMINADOR(A)

*A Folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

Á Deus, a minha família e aos meus amigos que me apoiaram em todos esses anos.

AGRADECIMENTOS

À Deus por sua imensa glória em permitir e me guiar em toda trajetória decorrida de minha vida.

Aos meus pais Carlos e Marcia que me apoiaram, confiaram e incentivaram a não desistir dos meus objetivos.

À professora Valquíria pela orientação, paciência, amizade, generosidade e por acreditar no meu potencial.

À professora Ana Maria e o aluno Thiago por me explicarem o funcionamento dos equipamentos.

A todos os professores da UTFPR pelo conhecimento, amizade e dedicação durante todo o período de graduação.

Aos meus amigos, em especial Monalisa, Tiemi, Tiekko, Ofelia, Thiago, Carolinne, Caíque, Denise, Gabriela, Guilherme, José Lucas por terem me suportado ao longo desses anos me incentivando, dando conselhos e obrigada por muitas vezes por terem sido como vocês são.

Aos meus familiares que acreditaram em mim e me apoiaram mesmo distantes.

Aos meus colegas de estágio que me motivaram, repassaram seus conhecimentos e principalmente obrigada pelas conversas e risadas.

A Laís por toda dedicação e ajuda.

“O que prevemos
raramente ocorre; o que menos esperamos geralmente
acontece.”

- Benjamin Disraeli

RESUMO

WADA, Amanda Ayumi. **Tratamento de efluentes de tingimento por processos oxidativos avançados: revisão da literatura**. 2017. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Têxtil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Apucarana, 2017.

O efluente gerado na indústria têxtil se caracteriza pelas substâncias encontradas tais com como: corantes, sais, ácidos, bases, sequestrantes, dispersantes, agentes redutores e oxidantes, entre outros poluentes. Diante disso, as indústrias passaram a assumir uma nova postura em relação aos assuntos ambientais em busca de um desenvolvimento sustentável. O presente trabalho é uma análise bibliográfica de outros estudos pertencentes a Oliveira e Leão (2009), Ribeiro (2009), Pereira (2007) e Pekakis *et al.*(2006), que verificaram a eficiência para cada tipo de processo oxidativo avançado, que geram o radical hidroxila. Os trabalhos abordavam os sistemas de Fenton, peróxido de hidrogênio assistido com ultravioleta e dióxido de titânio assistido com ultravioleta, esses processos são altamente oxidativos, causando degradação da matéria orgânica. Os processos foram aplicados de acordo com os autores em escala laboratorial utilizando efluentes reais fornecidos por empresas que possuem a etapa de tingimento. A eficácia dos processos foi avaliada baseada nos parâmetros de redução de DQO e de H₂O₂ residual. A maioria dos parâmetros atende aos limites propostos ou alcança redução significativa. Pode-se notar uma boa eficiência do uso de Fenton em comparação com os outros processos.

Palavras chave: Efluente Têxtil. Tratamento de Efluente. Processos Oxidativos Avançados. Fenton. H₂O₂. TiO₂.

ABSTRACT

WADA, Amanda Ayumi. **Treatment of dye effluents by advanced oxidative processes: literature review**. 2017. 62 f. Course Completion Work (Bachelor of Textile Engineering) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Apucarana, 2017.

The effluent generated in the textile industry is characterized by such substances as: dyes, salts, acids, bases, sequestrants, dispersants, reducing agents and oxidants, among other pollutants. Faced with this, industries have come to take a new stand on environmental issues in pursuit of sustainable development. The present work is a bibliographical analysis of other studies belonging to Oliveira and Leão (2009), Ribeiro (2009), Pereira (2007) and Pekakis et al. (2006), who verified the efficiency for each type of advanced oxidative process Generate the hydroxyl radical. The works dealt with the Fenton systems, ultraviolet assisted hydrogen peroxide and ultraviolet assisted titanium dioxide, these processes are highly oxidative, causing degradation of organic matter. The processes were applied according to the authors in laboratory scale using real effluents supplied by companies that have the dyeing step. The efficacy of the processes was evaluated based on the reduction parameters of COD and residual H_2O_2 . Most parameters meet the proposed limits or achieve significant reduction. One can notice a good efficiency of the use of Fenton in comparison with the other processes.

Key-words: TextileEffluents.Wastewater Treatment. Advanced Oxidation Process. Fenton. H_2O_2 . TiO_2 .

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fluxograma do processo produtivo têxtil.....	13
Figura 2 - Sistemas principais dos POAs	23
Figura 3 - Esquemática da partícula do semicondutor	27
Figura 4 - Jar-Test utilizada nos experimentos com Fenton.....	34
Figura 5 - Foto-reator e seu esquema de funcionamento	35
Figura 6 - Efluente da ETE	35
Figura 7- Resultados da execução dos ensaios com POA	37
Figura 8 - Esquema do reator de bancada utilizado para realizar o tratamento usando H ₂ O ₂ /TiO ₂ /UV	38
Figura 9 - Efeito da dose de H ₂ O ₂ e tempo de reação	39
Figura 10 - Concentração de DQO, DBO e H ₂ O ₂ residual.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características do corante	15
Tabela 2 - Poluentes do tingimento têxtil por classe de corante	19
Tabela 3 - Caracterização do efluente	31
Tabela 4 - Ensaio com Reagente de Fenton e a remoção de DQO	32
Tabela 5 - Ensaio com Reagente de Fenton e a concentração residual de H ₂ O ₂ ...	33
Tabela 6 - Caracterização do efluente bruto	36
Tabela 7 - Redução percentual da DQO nos ensaios com POA.....	36
Tabela 8 - Percentual de peróxido residual nos ensaios com POA.....	37
Tabela 9 - Caracterização do efluente têxtil	39
Tabela 10 - Composição do efluente têxtil	43

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Corantes têxteis e suas características.....	16
Quadro 2- Características dos efluentes de fibras químicas.	17
Quadro 3 - Características dos efluentes de fibras naturais com exceção da lã.	18

LISTA DE SIGLAS

POA	Processos Oxidativos Avançados
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
Absi	Absorbância do efluente antes do tratamento;
Absf	Absorbância do efluente após o tratamento.
H ₂ O ₂	Peróxido de Hidrogênio
OH•	Radical Hidroxila
Fe	Ferro
Cu	Cobre
Mn	Manganês
TiO	Óxido de titânio
TiO ₂	Dióxido de Titânio
UV	Radiação ultravioleta
Min	Mínimo
Med	Médio
Max	Maximo
O ₂	Oxigênio
H ₂ O	Água
Fe ⁺²	Íons ferrosos
Fe ⁺³	Íons férricos
O ³	Ozônio
°C	Graus Celsius
W	Watt
FeSO ₄	Sulfato Ferroso

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Justificativa	10
1.2 Objetivo Geral	11
1.3 Objetivos Específicos.....	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 Indústria Têxtil.....	12
2.2 Corantes têxteis	14
2.3 Efluente Têxtil	17
2.3.1 <i>Legislação ambiental para descarte de efluentes</i>	20
2.4 Técnicas empregadas no tratamento de efluentes	21
2.4.1 <i>Tratamento Convencionais</i>	21
2.4.2 <i>Processos Oxidativos Avançados (POA)</i>	22
2.4.3 <i>Processos Homogêneos</i>	23
2.4.4 <i>Processos Heterogêneos</i>	27
3 METODOLOGIA.....	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
4.1 Processos Homogêneos	31
4.2 Processo Heterogêneo	41
5 CONCLUSÃO.....	44
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	45
REFERÊNCIAS.....	46

1 INTRODUÇÃO

A água é o recurso natural vital e essencial para os seres vivos, e também para as indústrias, que com a globalização e o aumento da população intensificou suas atividades, com isso, o consumo de água aumentou e conseqüentemente o volume de efluentes também (ONG *et al.*, 2014).

A indústria têxtil é conhecida como um setor que possui um impacto significativo sobre o ambiente, o qual está ligado diretamente ao consumo de água e a geração de efluentes. O principal problema do efluente têxtil se deve ao uso de corantes e os auxiliares do tingimento que alteram a coloração do efluente, com isso, há redução da penetração dos fótons de luz no corpo receptor de água, prejudicando a atividade fotossintética e além de oferecer risco à vida aquática (RIBEIRO, 2010).

O tratamento do efluente têxtil é crucial, mas também uma tarefa complexa, havendo a necessidade da escolha do método adequado de acordo com as características físicas e químicas do efluente. Os métodos convencionais empregados são classificados em biológicos, químicos e físico-químicos. Muitas vezes esses métodos aplicados de forma unitária não promovem o tratamento necessário, sendo então utilizada a combinação de métodos para que o efluente tenha a qualidade necessária para o descarte ou reutilização (GRIEP, 2007). Kunz (2002) complementa que esses processos apresentam eficiência na remoção de material particulado, porém a remoção da cor e de compostos orgânicos é ineficiente.

Nesse contexto, os processos oxidativo avançados (POA) são uma alternativa para o tratamento de efluentes, nos quais os processos convencionais são incapazes de promover o tratamento da forma adequada. Os POAs podem alterar as substâncias que são difíceis de ser degradadas, para substâncias biologicamente degradáveis (HASSEMER, 2006).

A principal característica dos POAs é a geração do radical hidroxila, responsável por degradar os compostos não biodegradáveis devido serem altamente. Dependendo das propriedades do efluente a ser tratado e do objetivo do tratamento, os POAs podem ser utilizados sozinhos ou em conjunto com os processos físico-químico e biológico (DIAS *et al.*, 2013). Os principais POAs são ozônio, Fenton, alguns semicondutores tais como óxido de zinco, alumínio ou dióxido de titânio, peróxido de hidrogênio e radiação ultravioleta (TEIXEIRA e JARDIM, 2004).

1.1 Justificativa

A utilização dos recursos hídricos para fins de beneficiamento e/ou acabamentos de substratos têxteis geram efluentes que apresentam complexidade devido à presença de corantes, surfactantes e aditivos, os quais se apresentam em altas concentrações no meio e ainda apresentam estruturas orgânicas complexas de difícil degradação (PINTO; LEÃO, 2002).

Dessa forma, para que não ocorra à poluição do corpo receptor há necessidade de se realizar o tratamento do efluente de forma adequada. Atualmente, as técnicas mais empregadas na indústria têxtil são baseadas em processos físico-químicos e/ou biológicos, porém essas técnicas nem sempre são suficientes deixar esse resíduo com a qualidade exigida pelos órgãos ambientais (CARREIRA, 2006).

Segundo Chagas (2009) os processos de tratamento de efluentes da indústria têxtil devem ser eficazes, economicamente viáveis e possibilitar o seu reuso. Contudo, diante das técnicas disponíveis no mercado, esse objetivo ainda não pode ser atingido, sendo de fundamental importância a pesquisa acerca de novas técnicas de tratamento desses efluentes.

Diante desta problemática, o uso dos Processos Oxidativos Avançados para o tratamento de efluentes da indústria têxtil tornou-se uma alternativa promissora, pois são muito eficazes na mineralização ou eliminação dos efluentes industriais que apresentam grupos funcionais químicos com alto grau de toxicidade. Um grande diferencial comparado com os processos convencionais, que alguns somente alteram o estado físico do contaminante, com isso o contaminante se mantém presente no ambiente (BEZERRA, 2015).

1.2 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral comparar métodos de tratamento de efluentes da indústria têxtil em que utilizam-se processos oxidativos avançados, por meio de pesquisa bibliográfica.

1.3 Objetivos Específicos

São objetivos específicos deste trabalho:

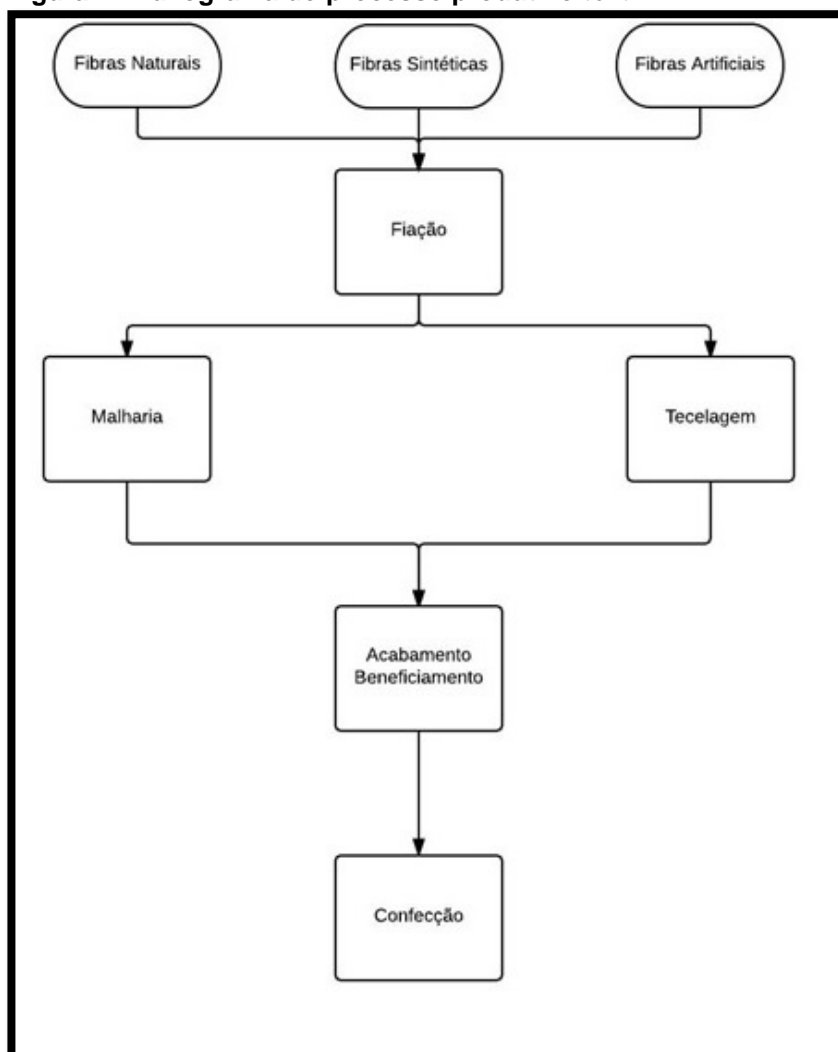
- Realizar levantamento bibliográfico sobre os Processos Oxidativo Avançados;
- analisar a metodologia aplicada para cada processo;
- verificar os resultados obtidos pelos trabalhos;
- apontar o processo que possui melhor desempenho de acordo com as características do efluente em estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Indústria Têxtil

Com grande tradição e contribuindo para o desenvolvimento de vários países a indústria têxtil é uma das atividades mais antigas da humanidade. No Brasil o setor têxtil passou por diversas mudanças positivas, e em alguns momentos também mudanças negativas. Atualmente apesar de ter sofrido uma invasão da importação de produtos chineses, que apresentam crescimento constante, o Brasil ocupa a quinta posição entre os maiores produtores do mundo. O complexo têxtil brasileiro apresenta cerca de 30 mil indústrias, apresentando no ano de 2015 uma produção média de 1,9 milhões de toneladas de artigos têxteis, sendo o segundo maior empregador, perdendo somente para indústrias alimentícias e de bebidas (ABIT, 2016).

A cadeia produtiva têxtil possui segmentos industriais diversos que são autônomos, porém interligados, para a interação da organização. Os processos produtivos têxteis se iniciam com a matéria-prima (fibras têxteis), posteriormente é modificada em fio, que pode ser transformada em tecido ou malha dependendo da sua aplicação final, por fim o beneficiamento e acabamento. A Figura 1 representa o fluxograma do processo produtivo da indústria têxtil.

Figura 1- Fluxograma do processo produtivo têxtil

Fonte: Adaptado Costa e Rocha (2009).

De acordo com Pita e Neto (1996), as fibras têxteis são materiais naturais, sintéticas ou artificiais, caracterizadas pelo comprimento 100 vezes maior que seu diâmetro, e ainda, por suas características de flexibilidade, suavidade, elasticidade, resistência, tenacidade e finura.

Por meio da fiação é realizada a produção de fios a partir das fibras têxteis utilizadas como matéria-prima. Os fios de fibras químicas são obtidos a partir da extrusão contínua normalmente texturizados para melhorar suas características e deixá-los com aspecto de fios de fibra natural. Já a fiação com fibras naturais, as propriedades físicas da matéria-prima fibrosa que condicionam e definem o processo de fiação passam por uma série de processo desde a limpeza de impurezas, formação de véu, torcido e estirado, formando assim o fio (ALCANTRA; DALTIM, 1995).

Após o processo de fiação pode-se realizar a tecelagem ou a malharia, o processo de tecer um tecido plano para Rodrigues (1996), pode ser obtido por meio do entrelaçamento de fios paralelos no sentido longitudinal (urdume) com os fios no sentido transversal (trama). Já a malharia utiliza de um único aglomerado de fios que se ligam através de laçadas, agregando ao tecido maior flexibilidade e elasticidade comparada aos tecidos planos (GORINI; SIQUEIRA, 1998).

Para propiciar uma melhor aparência, capacidade de absorção de água e melhor limpeza no substrato têxtil, tanto as fibras naturais quanto as químicas necessitam passar pelo processo de beneficiamento, que é dividido em beneficiamento primário e secundário. O beneficiamento primário é a preparação para os processos subsequentes do beneficiamento secundário que proporcionam coloração para o substrato têxtil, etapas como estamparia e tingimento (KARMAKAR, 1999; ALCANTRA; DALVIN, 1995).

A confecção é o último setor da cadeia produtiva têxtil, sendo a principal consumidora. As etapas de fiação, tecelagem, necessitam de maior capital e possuem maior automação, já a etapa de confecção comporta muita mão - de - obra e as empresas predomina as pequenas e microempresas (HIRATUKA *et al.*, 2008).

Apesar de ser uma indústria constituída por diferentes segmentos, é a etapa de beneficiamento que demanda um grande volume de água para seus processamentos, e conseqüentemente é este o setor mais problemático em relação a poluição do ambiente.

Essa problemática está relacionada à utilização de corantes e auxiliares de tingimento, os quais apresentam altos riscos de poluição dos recursos hídricos se não forem removidos de forma adequada antes do descarte do efluente.

2.2 Corantes têxteis

Os corantes são moléculas que possuem principalmente dois componentes o cromóforo que é responsável pela cor, e o grupo funcional, que liga o corante à fibra. São compostos orgânicos que proporcionam a fibras coloração, geralmente são aplicados em solução (FERNANDES, 2010; VELOSO, 2012).

Para Beltrame (2000), a escolha de um corante deve-se ter algumas qualidades levadas como base, a Tabela1 apresenta essas características que o corante deve satisfazer.

Tabela 1 - Características do corante

Definição	Característica
Afinidade entre corante e fibra, tornando a corante parte das fibras	Afinidade
Uniformidade na cor por todo substrato	Igualização
Resistência ao desbotamento	Solidez
Utilizar a quantia necessária sem desperdício	Economia

Fonte: Adaptado Beltrame (2000).

As fibras e os corantes podem realizar quatro tipos de interações químicas, sendo elas ligações iônicas, de hidrogênio, de Van der Waals ou covalentes, geralmente ocorre em solução aquosa. A ligação iônica acontece devido à atração das cargas opostas dos átomos da reação. As interações de hidrogênio ocorrem com a divisão dos elétrons do hidrogênio entre o corante e a fibra. Já as forças de Van der Waals sucedem da aproximação máxima entre orbitais do corante e da molécula da fibra, as moléculas do corante são “ancoradas” sobre a fibra por um processo de afinidade. E por fim, as interações covalentes que realizam-se por meio do compartilhamento de pares de elétrons da reação (GUARATINI; ZANONI, 2000).

Para Saron e Felisberti (2005), classificam os corantes através da sua aplicação e estrutura química, sendo subdivididos em orgânicos e inorgânicos (antraquinona, azo e etc.). Já para Guarantini e Zanoni (2000), os corantes são classificados de acordo com sua estrutura química ou com o método pelo qual ele é fixado à fibra. Os principais são classificados pelos modos de fixação que são os apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Corantes têxteis e suas características

Característica	Corante
São baratos e de fácil aplicação e razoável solidez, apresentam grande afinidade com o as fibras celulósicas em geral. Solúveis em água e ligam-se as fibras por interações de Van Der Waals.	Diretos
São insolúveis em água, e para que ocorra o tingimento é necessário o uso do naftol que apresenta grande afinidade com a celulose e também o uso do sal diazônio que age como fixador do corante na fibra.	Azóicos
O grupo eletrofílico formar ligação covalente com grupos hidroxila das fibras celulósicas, com grupos amino, hidroxila e tióis das fibras protéicas e também com grupos amino das poliamidas.	Reativos
São utilizados em todas as fibras hidrofóbicas. Durante o processo de tingimento, o corante sofre hidrólise e a forma originalmente insolúvel é lentamente precipitada na forma dispersa (finamente dividido) sobre o substrato têxtil. Para sua aplicação são necessários agentes dispersantes.	Dispersivos
Possuem a maior solidez, são insolúveis em água, mas por meio da redução com hidrossulfito de sódio e em meio alcalino, transformam-se em solúveis	A cuba
O enxofre é encontrado na sua composição na forma dissulfídrica, são insolúveis em água e aplicados após solubilização com sulfureto de sódio	Enxofre
São corantes aniônicos, bastante solúveis em água, cuja aplicação se dá em fibras nitrogenadas como a lã	Ácidos

Fonte: Adaptado Guarantini e Zanoni (2000).

2.3 Efluente Têxtil

O setor têxtil necessita de grandes volumes de água durante a produção do produto têxtil e também pelo seu grande parque industrial, com isso, produz grandes volumes de efluentes, sendo que o consumo de água e as características presentes nos efluentes possuem uma alta variação, isto se deve a diversidade dos produtos e processos e equipamentos aplicados (KUNZ *et al.*,2002; GHALY *et al.*, 2014). As Tabelas 2 e 3 apresenta as propriedades que o efluente possui para cada tipo de processamento tanto fibras naturais quanto de fibras químicas

Quadro 2- Características dos efluentes de fibras químicas.

Parâmetro	(g/Kg)			(mg/L)		
	min	med	max	min	med	max
pH	4,8	7,5	10,2	4,8	7,5	10,2
DBO	26,3	45,2	64,1	351,2	470,9	590,5
DQO	61,8	104,5	147,2	1138,4	1831,0	2523,6
Oleos e graxas	1,7	8,6	15,4	15,6	36,9	58,1
Sólidos suspensos	10,7	22,3	33,9	101,9	150,2	198,5
Sólidos sedimentáveis (ml/L)	0,1	0,4	0,7	0,1	3,7	7,2
Sólidos totais	310	387,5	465	2367,2	3029,5	3691,7
Cor – (MG CO Pt/L)	30	45	60	200	300	400

Fonte: Carreira (2006), *apud* Ribeiro (2010).

Quadro 3 - Características dos efluentes de fibras naturais com exceção da lã.

Parâmetro	(g/Kg)			(mg/L)		
	min	med	max	min	med	max
pH	7,5	9,4	11,3	7,5	9,4	11,3
DBO	36,1	101,8	167,1	383,2	688,9	991,5
DQO	100,2	236,2	372,1	754,4	1423,9	2093,5
Oleos e graxas	1,7	5,8	9,8	29,9	53,7	77,5
Sólidos suspensos	14,9	24,1	33,2	101,4	156,0	210,6
Sólidos sedimentáveis (ml/L)	-	-	-	0,4	1,90	3,4
Sólidos totais	320,0	489,5	659,0	2203,2	2722,3	3241,4
Cor – (MG CO Pt/L)	33,0	146,6	260,1	250,3	1050,2	1850,1

Fonte: Carreira (2006), *apud* Ribeiro (2010).

De acordo com Leão *et al.* (2002), o efluente têxtil apresenta alta complexidade devido a sua composição, principalmente de corantes, surfactantes e aditivos, que em sua grande maioria são orgânicos de estrutura complexa. Além de possuírem alta variação de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO), e com diferentes características de biodegradação (HASSEMER; SENS, 2002; MELO, 2005).

O beneficiamento e tingimento dos fios e tecidos são as etapas nas quais a geração de efluente é muito maior comparado com a fiação e a tecelagem, que são pouco homogêneos, com alta variabilidade de vazão e outras características que dificultam seu tratamento (BABU *et al.*, 2007). A Tabela 4 caracteriza os principais poluentes de acordo com a classe de corante.

Tabela 2 - Poluentes do tingimento têxtil por classe de corante

Corante	Descrição	Poluentes	Processo	Fibra
Ácido	Compostos aniônicos aplicados em meio ácido aquoso	Ácidos orgânicos, corantes por fixar.	Esgotamento e contínuo	Nylon e lã
Básico	Compostos catiônicos solúveis em água	Corantes por fixar, cor, agentes igualizantes.	Esgotamento	Acrílica e Poliéster
Direto	Compostos aniônicos solúveis em água	Solventes, corantes por fixar, cor, sais, agentes fixadores catiônicos, surfactantes, agentes igualizantes, produtos de acabamentos.	Esgotamento e contínuo	Celulósica, protéica e poliamida.
Disperso	Compostos insolúveis em água usados em solução aquosa	Ácidos orgânicos, carriers, solventes, corantes por fixar, cor, fosfatos, lubrificantes, dispersantes, agentes igualizantes, produtos de acabamento.	Alta temperatura esgotamento e contínuo	Acrílica, poliéster, acetato, triacetato e poliamida.
Reativo	Compostos aniônicos solúveis em água (classe mais ampla)	Solventes, cor, sais, solução alcalina, corantes por fixar, surfactantes, produtos de acabamento.	Esgotamento, PAD-BATCH (frio) / contínuo.	Celulósica, protéica e poliamida.
Sulfuroso	Compostos orgânicos contendo enxofre ou sulfureto de enxofre	Cor, solução alcalina, agentes redutores e oxidantes, cor por fixar.	Esgotamento e contínuo	Celulósica
Cuba ou Tina	Compostos insolúveis em água	Cor, solução alcalina, agentes redutores e oxidantes, cor por fixar.	Esgotamento e contínuo	Protéica (La e Seda) celulósica

Fonte: Abraão e Silva, (2002), *apud* Bezerra (2015).

Por meio de estudos Brito-Pelegrini & Pelegrini (2005) afirmam que os efluentes lançados pela indústria têxtil, são responsáveis por cerca de 20% da cor

inserida no ambiente. Rosolen *et al.*, (2004) complementam que boa parte dos corantes tem origem sintética apresentando estrutura aromática de difícil degradação, propícios a serem carcinogênico ou mutagênicos. De acordo com Melo (2010), não há um nível de concentração de corante que pode ser descartado, desde que esta concentração não provoque alteração no corpo receptor.

2.3.1 Legislação ambiental para descarte de efluentes

A poluição d'água é causada por diferentes fontes de origem urbana, rural e industrial, portanto existe a necessidade da prevenção e recuperação ambiental, possibilitando os usos atuais e futuros, para diversos fins (SANTOS *et al.*, 2001).

Segundo Zanella *et al.* (2010), devido a infausta condição de projeções relacionadas com a disponibilidade de água, restringindo cada vez mais a legislação, com isso, evoluindo continuamente no estabelecimento de padrões específicos para o enquadramento de corpos de água o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução 357 estabelece padrões específicos para o enquadramento de corpos de água, assim como de condições e padrões para o lançamento de efluentes, que pode-se catalogar os efluentes têxteis:

- Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis;
- nas águas de classe especial é vedado o lançamento de efluentes industriais, mesmo que tratados;
- nas demais classes de água, o lançamento de efluentes deverá, simultaneamente: atender às condições e padrões de lançamento de efluentes, e não ocasionar a ultrapassagem das condições e padrões de qualidade de água;
- o efluente não deverá causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, de acordo com os critérios de toxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente;
- na classe II não será permitida presença de corantes artificiais que não possam ser eliminados por coagulação, sedimentação e filtração convencional.

Os efluentes gerados pela indústria têxtil são grandes poluidores, devido aos corantes usados, a grande quantidade de compostos orgânicos recalcitrantes, de

surfactantes e de auxiliares empregados nos processos, portanto é importante que sejam tratados estes efluentes antes de serem descartados, para minimizar os impactos gerados ao ambiente e se enquadrarem com a legislação.

2.4 Técnicas empregadas no tratamento de efluentes

2.4.1 Tratamento Convencionais

Para atender os padrões de exigência da legislação aplicada os processos de tratamento de efluentes devem ser dimensionados adequadamente de acordo com as características dos efluentes gerados. Há várias tecnologias que podem ser empregadas para que esses resíduos atinjam os padrões requeridos. A seleção da melhor técnica é fundamentada na composição e natureza da solução a ser tratada, custo, seletividade do método e estabilidade dos materiais utilizados no processo (BUSS *et al.*, 2015).

Segundo Martins (2011), “O gerenciamento adequado dos efluentes é importante para minimizar impactos ambientais, o que exige a adoção de procedimentos específicos de coleta e tratamento”. O autor complementa que a técnica adequada para o tratamento do efluente necessita do tipo e característica dos contaminantes, esta técnica pode ser uma específica ou a combinação entre algumas técnicas, analisando o potencial de redução de contaminantes. Os métodos convencionais para o tratamento de efluentes têxteis são classificados sendo físico-químicos e biológicos (ALVES, 2010).

Os processos físico-químicos que possuem mais destaque são a coagulação quimicamente assistida e a flotação, em ambos é necessário acréscimo de produtos químicos, como o sulfato de alumínio. Apesar de retirarem alta carga de material particulado e em alguns casos até mesmo a remoção de matéria orgânica é ineficaz em relação a remoção da cor do efluente (BAÊTA, 2012).

O método biológico consiste na retirada da matéria orgânica dissolvida ou em suspensão, com a formação dos lodos, sendo os processos principais as lagoas anaeróbias e fotossintéticas, aeróbios, facultativos e processos anaeróbios em lagoas anaeróbias e biodigestores. Mas este método apresenta algumas desvantagens como

a necessidade de grandes espaços para que o processo ocorra, acúmulo de lodo e assim como o processo físico-químico baixa degradação da cor (ALVES, 2010).

De acordo com Twadokus (2004) devido as deficiências expostas pelos sistemas convencionais de tratamento, novas alternativas de tratamento, tem sido regularmente proposta. Para o funcionamento adequando das Estações de Tratamento de Efluente (ETE), mesmo o impacto ambiental não sendo tão significativo, com a implantação de tecnologias mais limpas, como as de tratamento avançado, no qual em alguns métodos os efluentes podem ser até reutilizados no processo produtivo, torna-se cada vez mais um objeto de estudo.

2.4.2 Processos Oxidativos Avançados (POA)

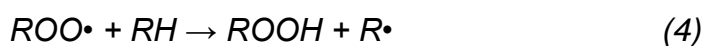
O desenvolvimento de novas tecnologias para o tratamento dos efluentes se deve à grande diversidade e complexidades destes efluentes, e as legislações que requerem maior eficiência para o descarte, tanto a viabilidade econômica quanto a eficiência do processo (KAMIDA *et al.*, 2005). Numerosas tecnologias foram desenvolvidas, com uma variedade de métodos físicos, químicos e biológicos e a escolha do melhor método deve ser feita levando em conta os objetivos a serem alcançados com o tratamento (SARAVANAN, 2015).

Os avanços no tratamento de efluentes levaram ao desenvolvimento de métodos denominado Processos Oxidativos Avançados (POAs), têm sido descritos como alternativa para a remoção de poluentes persistentes e de efluentes com elevada carga orgânica, comparado com os tratamentos convencionais não alcançam a eficiência necessária (COMNINELLIS *et al.*, 2008).

O POA gera radicais livres hidroxila ($\text{HO}\bullet$) bastante reativos, que são capazes de destruir produtos químicos orgânicos, e também são capazes de reagir com praticamente todos os compostos orgânicos que são ricos em elétrons, devido esses radicais serem eletrólifos e reativos (STASINAKIS, 2008).

“Esses radicais atacam moléculas orgânicas pela abstração de um átomo de hidrogênio ou pela adição às duplas ligações” (DE AMORIM; LEÃO, MOREIRA, 2009). As autoras complementam que o artifício para a degeneração do composto orgânico genérico (R) pelo radical ($\text{HO}\bullet$) é retratado pelas Equações 1,2,3 e 4.





Estes processos são muito eficazes na degradação dos contaminantes, mas eles não são econômicos (GAO *et al.*, 2003). Vários métodos de POA são empregues para a decomposição dos corantes orgânicos, estes métodos são baseados principalmente na formação de HO• radical e seu comportamento destrutivo em matéria orgânica. A formação desses radicais pode ser por sistema homogêneo e heterogêneo (NAVES, 2009). A Figura 2 consta os principais sistemas de POAs.

Figura 2 - Sistemas principais dos POAs

Homogêneos		Heterogêneos	
Com Irradiação	Sem Irradiação	Com Irradiação	Sem Irradiação
O ₃ /UV	O ₃ /H ₂ O ₂	Catalisador/UV	Eletro-Fenton
H ₂ O ₂ /UV	O ₃ /OH ⁻	Catalisador/H ₂ O ₂ /UV	
O ₃ /H ₂ O ₂ /UV	H ₂ O ₂ /Fe ²⁺		
VUV			

Fonte: Higarashi *et al.*, 2000.

2.4.3 Processos Homogêneos

Os processos homogêneos são aqueles que a reação radicais ocorrem numa fase única. Os mesmos utilizam como reagentes oxidantes: ozônio, peróxido de hidrogênio, ou a sua mistura, ou ainda o Reagente de Fenton como geradores de radicais, tendo ou não a presença de irradiação luminosa. Nos sistemas homogêneos o catalisador é empregado na forma solúvel, auxiliando o máximo possível o contato com o oxidante. A fotocatalise pode ser conduzida em fase homogênea também, o catalisador e os reagentes estão separados na mesma fase, isso se confirma quando se utilizam fotosensibilizadores (HIGARASHI *et al.*, 2000; HASSEMER, 2006)..

O processo H₂O₂, conhecido também como o método combinado de POAs, caracteriza por apresentar uma eficácia na degradação de micropoluentes, como,

benzeno, cloroetano e pesticida, por exemplo, presentes em água subterrânea e efluente considerando assim uma das técnicas mais antigas. Com o emprego juntamente com a irradiação ultravioleta tem obtido êxito na remoção de contaminantes presentes em águas e efluentes industriais. Este processo combinado pode se considerar muito mais eficiente, que o uso separado de cada um, já que ocorre maior produção de radicais hidroxil (TAMBOSI, 2005).

De acordo com DANTAS (2005) o H₂O₂ pode tanto reagir com composto orgânico como também podem se transformar em radicais hidroxila, como as Equações 5 e 6.

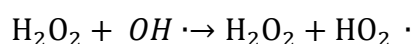
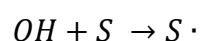
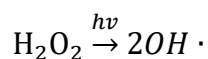


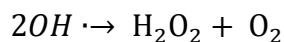
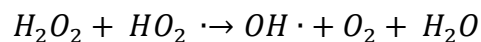
Através do UV, o micropoluinte orgânico e o H₂O₂ são irradiados com feixes de luz, chamado de fótons no comprimento de onda menor de 280 nm, causando a quebra da molécula de peróxido, gerando radicais hidroxilas que podem oxidar o composto orgânico (DANTAS, 2005). Com a presença de radiação UV a dissociação do H₂O₂ ocorre como representado pelas Equações 7, 8, 9, 10 e 11.

(7)

Com a formação do radical hidroxila pode ocasionar no ataque do substrato S ou o H₂O₂ proporcionando a formação de HO• como se pode ver abaixo.

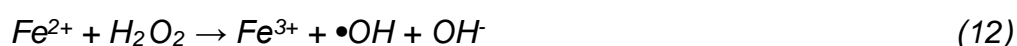
(8)





O peróxido de hidrogênio possui uma variação da sua estabilidade de acordo com as características do meio, como pH, temperatura e a presença de espécies reativas. O processo de tratamento UV/H₂O₂ é de fácil manuseio e apresenta vantagem em relação ao baixo custo com o oxidante H₂O₂ e ao outros, como, por exemplo, boa solubilidade em água e grande possibilidade de estoque no local (ARSLAN *et al.*, 2000).

Já o processo Fenton, no qual consiste na reação entre sais de Fe²⁺ com H₂O₂. Esse tipo de reação promove grande quantidade de radicais hidroxilas, é considerado forte agente oxidante para o tratamento de efluentes de vários tipos e graus de contaminação. A geração do radical •OH ocorre através da reação entre o peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e o ferro II (Fe⁺²) em meio ácido esse processo é presente no Fenton homogêneo (TEIXEIRA E JARDIM, 2004). Obtém-se a geração do radical hidroxila para oxidação do composto alvo, descritas nas reações a seguir:



Na ausência do substrato o radical hidroxila pode oxidar o outro íon Fe (II) como descrito a seguir:



A geração do radical hidroxila inicia-se já na primeira reação, a partir da decomposição do peróxido de hidrogênio com a oxidação do Fe²⁺ a Fe³⁺ (Eq. 12) Este é um processo complexo, com diversas reações em cadeia e geração e consumo de radicais, como descrito nas equações 14, 15, 16, 17 e 18.





O H_2O_2 atua também como sequestrador de radical hidroxila, como descrito na Equação 18 formando o radical hidroperoxila ($HO_2\bullet$), o qual apresenta um menor potencial de redução ($E^0 = 1,42 \text{ V}$) de $\bullet OH$, com isso, dificulta o processo de degradação. Isto ocorre quando se tem excesso de H_2O_2 , já que a concentração de Fe^{2+} no meio é baixa em relação à de Fe^{3+} , e a reação entre Fe^{3+} e H_2O_2 (Equação 14) é muito mais lenta comparado com a decomposição de H_2O_2 na presença de Fe^{2+} (Equação 12).

Trabalha-se na faixa de pH 3, e nunca com o pH elevado, pois é favorecida a formação do precipitado $Fe(OH)_3$ que não reage com o H_2O_2 (PÉREZ et al., 2002), conseqüentemente, não havendo a reação de Fenton. Portanto, faz-se necessário um ajuste do pH do efluente a ser tratado antes de adicionar os reagentes de Fenton.

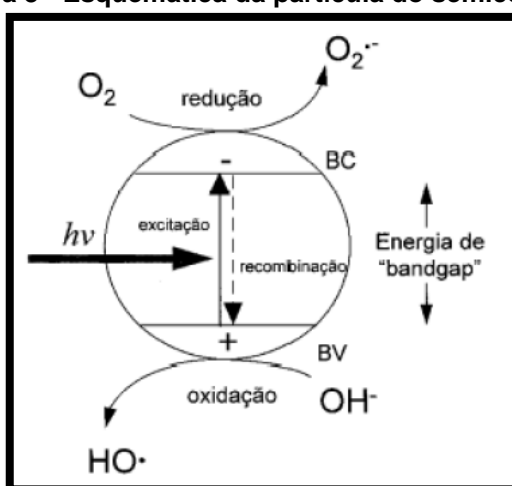
É importante estabelecer previamente a relação ótima de íons ferrosos e peróxido de hidrogênio. Quando se utilizam concentrações de íons ferrosos maiores do que de peróxido de hidrogênio, os radicais hidroxila gerados pela reação representada na Equação (6) pode reagir com os íons ferrosos em excesso, conforme a reação da Equação 7, diminuindo o ataque dos radicais hidroxila ao substrato orgânico (NEYENS e BAEYENS, 2003).

2.4.4 Processos Heterogêneos

Os processos heterogêneos fazem uso de um catalisador semicondutor que constitui uma fase separada dos reagentes e produtos, ou seja, uma fase heterogênea. O catalisador é um sólido geralmente, enquanto que os reagentes e os produtos são fluidos (HASSEMER, 2006).

Por meio de um semicondutor de luz solar ou artificial pode-se ocorrer a fotocatalise heterogênea. Este semicondutor tem como característica bandas, estas são por bandas de valência (BV) e bandas de condução (BC), as duas possuem diferenças de energia que são chamadas de "bandgap". Para que os elétrons sejam transferidos de uma banda de valência para uma banda de condução, a energia de absorção de fótons deve ser uma energia igual ou superior à energia do "bandgap", o que acaba gerando um par elétron-lacuna. Sendo que o elétron pode estimular os processos redutivos, enquanto que a lacuna pode influenciar os processos oxidativos. No entanto, a formação do radical hidroxila que surge da reação entre a lacuna e moléculas de água ou íons hidroxila previamente adsorvidas na superfície do semicondutor (SOTTORIVA, 2002). Para melhor compreensão o esquema representativo da Figura 3 da partícula de um semicondutor BV: banda de valência; BC: banda de condução.

Figura 3 - Esquemática da partícula do semicondutor



Fonte: Almeida (2011).

Na fotocatalise heterogênea os fotocatalizadores usados são óxidos de metais de transição, sendo eles: Fe_2O_3 , ZnS , CdS e TiO_2 . No entanto, a combinação de fotoatividade e fotoestabilidade muitas vezes não são satisfeita, por exemplo, o semicondutor CdS que apesar de absorver radiação de até 510 nm, sofre fotocorrosão quando irradiado, gerando Cd^{2+} e enxofre, impossibilitando sua utilização em processos de descontaminação (SANTOS, 2015).

Entre os semicondutores existentes, os mais estudados e utilizados devido o baixo custo, toxicidade, foto estabilidade, por absorver comprimentos de ondas menores do que 400 nm, por permitir a utilização de luz solar e uma grande estabilidade química em uma ampla faixa de pH se destaca o TiO_2 . O TiO_2 é o que apresenta a maior atividade fotocatalítica e conseqüentemente um dos mais comercializados (NOGUEIRA; JARDIM, 1998; HASSEMER, 2002).

Ao longo dos últimos anos, os sistemas semicondutores heterogêneos por fotocatalise usando TiO_2 como o fotocatalisador recebeu considerável atenção para o tratamento de água e esgotos. A fotocatalise TiO_2 é uma Tecnologias emergentes de tratamento de águas residuais com incluindo a falta de limitações de transferência de massa, condições ambientais e o possível uso de energia solar irradiação. O próprio catalisador é barato, comercialmente disponível em várias formas cristalinas e características de partículas, não tóxico e fotoquimicamente estável. O processo pode facilmente de colorar e reduzir consideravelmente a carga de efluentes têxteis e efluentes similares (Pekakis *et al.* 2006).

O peróxido de hidrogênio (TiO_2) é um forte agente oxidante (potencial padrão de redução igual a 1,80 V), quando utilizado em conjunto com sistemas fotocatalíticos como luz UV, Fe^{2+} ou semicondutores, pode ser convertido em radicais hidroxilas. O TiO_2 é formado da incidência da luz solar sobre água de forma natural, agindo como um purificador natural. O peróxido de hidrogênio possui diversas aplicações, inclusive no tratamento de efluentes de indústria têxteis (VONCINA *et al.*, 2003).

Com a migração do elétron entre as bandas energéticas, sítios redutores e oxidantes são originados no catalisador, os quais são chamados de par e^-/h^+ (elétron/vacância). Nesses sítios ativos ocorre a formação de radicais hidroxilas OH^\bullet , cujo alto poder oxidante também degrada os poluentes, podendo leva-los à mineralização, isto é, convertendo-os em CO_2 , água e ácidos inorgânicos. Após a captura, um significativo número ainda consegue reduzir dióxigênio a radicais livres

fundamentais no mecanismo fotocatalítico, tais como o peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e superóxido (O₂ -•) (FUJISHIMA *et al.*, 2000).

As etapas principais que ocorrem em um mecanismo fotoeletroquímico estão esquematizadas nas equações abaixo.

Formação da carga gerada pela absorção de um fóton:



Recombinação da carga gerada liberando calor:



Mesmo o TiO₂ sendo considerado o semiconductor mais fotoativo, a recombinação elétron/lacuna é sinalizada como o principal limitante para um melhor rendimento do processo. Algumas tentativas para minimizar tal recombinação têm sido estudadas, em particular a deposição de pequenas quantidades de metais à sua estrutura cristalina ou à sua superfície (CHEN *et al.*, 2010).

3 METODOLOGIA

Este estudo constituiu-se de uma revisão da literatura, Castro e Clark (2001) definem a revisão da literatura como um mapeamento teórico em relação ao conhecimento sobre o tema. Por meio deste caminho metodológico, foi possível a identificação, classificação e organização dos documentos utilizados.

A escolha dos materiais a serem pesquisados foi feita a partir de alguns critérios previamente estabelecidos. Tais critérios foram à escolha do processo de tratamento de efluente que seria estudado que para este estudo foi o processo oxidativo avançado, estudos com efluentes reais e não sintéticos e trabalhos voltados para caracterização e tratamento de efluentes de indústrias com a etapa de tingimento por POA.

Para a coleta das informações que ocorreu entre agosto de 2016 a maio de 2017, foram consultados os sites que divulgam produções científicas como: CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), Google Acadêmico, Scielo (Scientific Electronic Library Online), acervos das bibliotecas da Universidade Estadual de Maringá, Universidade de Campinas e Universidade de São Paulo.

Não foi possível encontrar muitos trabalhos de acordo com os critérios estabelecidos. Porém, foi possível delimitar algumas palavras chaves que proporcionaram uma maior quantidade de material, elas foram: efluente de tingimento têxtil por fenton, tratamentos de efluentes têxteis, tratamentos de efluentes têxteis POA, advanced oxidation process textile, advanced oxidation process textile irradiation. Filtrando assim para a quantidade de noventa trabalhos distribuídos em teses, dissertações, livros, artigos, sites e normas. Sendo que para constituir os resultados e discussões foram utilizados duas dissertações e três artigos.

Após a coleta dos dados, foi feita a leitura de todo material, as principais informações foram compiladas. Posteriormente foi realizada uma análise descritiva das mesmas buscando estabelecer uma comparação entre os processos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Processos Homogêneos

Para desenvolver este estudo sobre os processos oxidativos avançados, foi usado como base os trabalhos de Oliveira e Leão (2009), Pereira (2007) e Ribeiro (2009), para o desenvolvimento dos resultados e discussões, que retratam sobre os processos oxidativos avançados no sistema homogêneo utilizando os reagentes Fenton e H_2O_2 . As variáveis monitoradas por estes estudos foram a redução da DQO e a concentração de peróxido residual de acordo com a concentração inicial.

Oliveira e Leão (2009) utilizaram o equipamento Jar Test e o procedimento foi dividido em etapas, sendo estas:

- Acidificação do efluente até pH = 3;
- dosagem de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ e H_2O_2 ;
- agitação lenta;
- sedimentação;
- neutralização;
- sedimentação.

Os efluentes são pertencentes a uma indústria têxtil de acabamento de malhas, localizada em Belo Horizonte, os efluentes empregados são das etapas de purga e tingimento, a Tabela 3 contém a caracterização do efluente têxtil bruto coletado.

Tabela 3 - Caracterização do efluente

Ensaio	Tecido / cor / etapa	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)
1	100% Poliéster / escuro / Tingimento	5129	1255
2	100% Poliéster / escuro / Tingimento	6728	699
3	90% Poliéster - 10% Elastano / escuro / Tingimento	5998	1384
4	90% Poliéster - 10% Elastano / escuro / Tingimento	4121	1052

Fonte: Adaptado Oliveira e Leão (2009).

Para Oliveira e Leão (2009), que aplicaram o sistema Fenton em efluentes com diferentes corantes, observou que a remoção de DQO foi pequena, e para os experimentos que obtiveram uma remoção maior não foi significativa. Foi analisada a presença de flocos, estes que foram formados através da coagulação química da matéria orgânica, essa coagulação conexas com o Reagente de Fenton é explicada pela geração de íons Fe^{3+} que, ao reagirem com íons hidróxido, dão origem a complexos hidróxido-férricos. A Tabela 4 apresenta a remoção em percentual de DQO.

Tabela 4 - Ensaios com Reagente de Fenton e a remoção de DQO

Ensaio	Tecido / cor / etapa	DQO:H ₂ O ₂ :Fe ²⁺	Remoção DQO (%)
1	100% Poliéster / escuro / Tingimento	Efluente	-
		40:5:1	77
		50:5:1	68
2	100% Poliéster / escuro / Tingimento	60:5:1	25
		Efluente	-
		40:5:1	9
3	90% Poliéster - 10% Elastano / escuro / Tingimento	50:5:1	10
		60:5:1	9
		Efluente	-
		40:5:1	3
		50:5:1	0
		60:5:1	1

Fonte: Adaptado Oliveira e Leão (2009).

A eficácia de remoção de DQO é devido à coagulação química que proporciona a formação de complexos hidróxido-férricos que pode apresentar maior quantidade do que a exercida pela oxidação com peróxido de hidrogênio. As autoras encontraram valores baixos para H₂O₂ residual no efluente pós tratamento como pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 5 - Ensaio com Reagente de Fenton e a concentração residual de H₂O₂

Ensaio	Tecido / cor / etapa	DQO:H ₂ O ₂ :Fe ²⁺	H ₂ O ₂ residual (%)
		Efluente Bruto	-
1	100% Poliéster / escuro / Tingimento	40:5:1	17
		50:5:1	39
		60:5:1	51
		Efluente Bruto	-
2	100% Poliéster / escuro / Tingimento	40:5:1	17
		50:5:1	9
		60:5:1	23
		Efluente Bruto	-
3	90% Poliéster - 10% Elastano / escuro / Tingimento	40:5:1	6
		50:5:1	7
		60:5:1	6

Fonte: Adaptado Oliveira e Leão (2009).

Os efluentes provenientes dos tingimentos de 100% poliéster apresentam um crescimento gradativo do percentual residual de H₂O₂ de acordo com o aumento da concentração de H₂O₂ sobre a concentração de Fe²⁺. Isto se deve a decomposição do peróxido não é eficiente pelos íons ferrosos, já que possuem uma concentração menor.

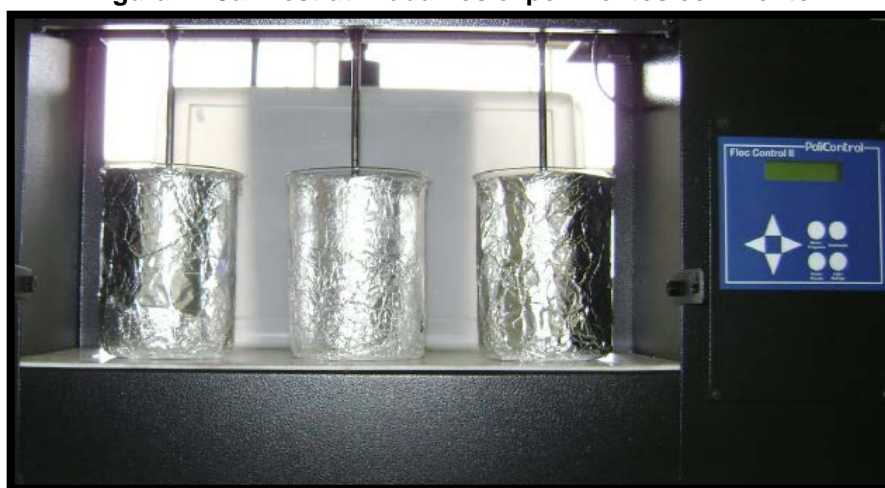
Ribeiro (2009) realizou os POAs utilizando três métodos sendo estes processos por Fenton, Foto – Fenton e Peroxidação assistida por UV para o mesmo efluente. Porém, para o desenvolvimento deste trabalho somente serão analisados os dados do sistema Fenton e do sistema de Peroxidação assistida por UV, devido à possibilidade de comparação com outros trabalhos. Como o efluente é o mesmo para ambos os sistemas, pode-se ter uma melhor visualização da eficiência de cada processo. A aplicação de POA ao efluente têxtil foi executada em batelada diretamente no efluente, sendo realizados ensaios em duplicata. Certas condições de operação foram mantidas fixas em todos os experimentos como:

- pH;
- temperatura;
- velocidade de agitação;
- tempo máximo de reação.

Para o POA com reagente de Fenton, à base de peróxido de hidrogênio e sulfato ferroso. Foi realizado a acidificação até pH 3 e neutralização das amostras, assim como Oliveira e Leão. Os efluentes foram colocados em béqueres coberto com papel alumínio com adição de solução aquosa de sulfato ferroso 50 g/L

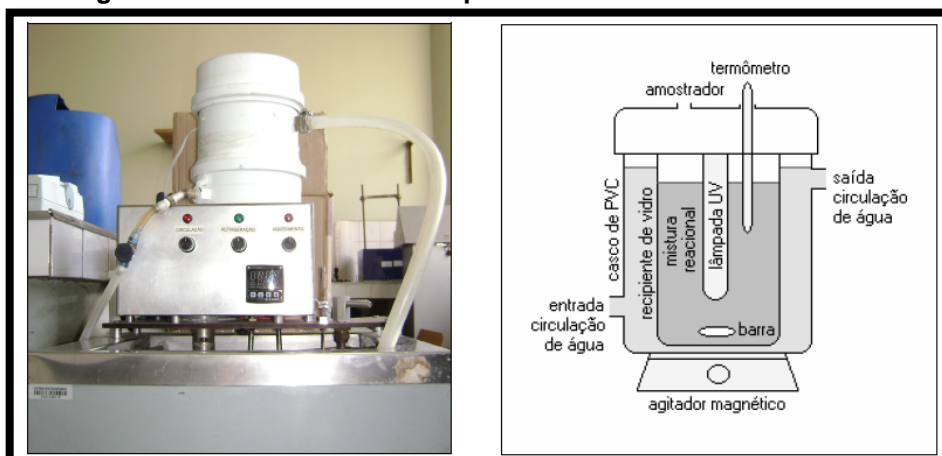
e de solução de peróxido de hidrogênio 55 g/L. Para que o sistema fosse mantido em agitação utilizou-se o *Jar-Test*, como as outras autoras. E as amostras foram neutralizadas e decantação do lodo. A Figura 4 apresenta como os ensaios foram realizados.

Figura 4 - Jar-Test utilizada nos experimentos com Fenton



Fonte: Ribeiro (2009).

Já para Peroxidação assistida por UV fez-se uso do foto-reator e do agitador magnético, e os reagentes peróxido de hidrogênio, ácido sulfúrico e hidróxido de sódio. Para manter o sistema em temperaturas controladas o foto-reator possui refrigeração líquida que possibilita a circulação de água fria em torno do recipiente de vidro que contém a mistura de reação. Assim, como o processo Fenton as amostras foram neutralizadas. A Figura 5 a representa o foto-reator e uma ilustração de como ocorre o procedimento.

Figura 5 - Foto-reator e seu esquema de funcionamento

Fonte: Ribeiro (2009).

O estudo foi aplicado em três amostras divididas em 5 frações de 5L, que foram coletadas diretamente na empresa situada no distrito de Justinópolis, em Ribeirão das Neves, Minas Gerais, com uma produção mensal média de 400 toneladas de tecido acabado, operando continuamente em três turnos durante 24 horas diárias. O consumo médio mensal de água é de 48,3 mil m³, o efluente gerado pela produção empresa apresenta alta concentração de produtos químicos, espuma e corantes pesados, que são destinados para uma estação de tratamento convencional que possui etapas de gradeamento, equalização, neutralização e sistema biológico de lodos ativados. A Figura 6 apresenta o efluente bruto e a Tabela 6 contém a caracterização do efluente têxtil bruto coletado.

Figura 6 - Efluente da ETE

Fonte: Ribeiro (2009).

Tabela 6 - Caracterização do efluente bruto

Parâmetro	Unidade	Resultado
DQO	mgO ₂ /L	195
pH	-	7,7
Alcalinidade	mgCaCO ₃ /L	368
Dureza	mgCaCO ₃ /L	105
Condutividade	mS/cm	6,9
SDT	mg/L	4220
SST	mg/L	31
Turbidez	UNT	11
Nitrato	mg/L	3,1
Nitrito	mg/L	0,65
Cloreto	mg/L	1856
Sulfato	mg/L	267
Ferro	mg/L	0,29
Manganês	mg/L	0,15
Cobre	mg/L	<0,05

Fonte: Ribeiro (2009).

Os processos apresentam os seguintes resultados, a Tabela 7 faz a comparação dos resultados para a redução de DQO.

Tabela 7 - Redução percentual da DQO nos ensaios com POA

Experimento	Redução DQO (%) Fenton	Redução DQO (%) H ₂ O ₂ /UV	Tempo (min)
1	45	9	120
2	54	0	75
3	64	0	30
4	51	2	120
5	59	0	45
6	65	0	30

Fonte: Adaptado Ribeiro (2009).

Pode-se identificar que o efluente tratado com o sistema Fenton obteve uma melhor redução do DQO, já o sistema Peroxidação assistida por UV apresentou uma degradação menos eficiente comparada com o outro processo. Já a Tabela 8 compara o percentual de peróxido residual para ambos os processos.

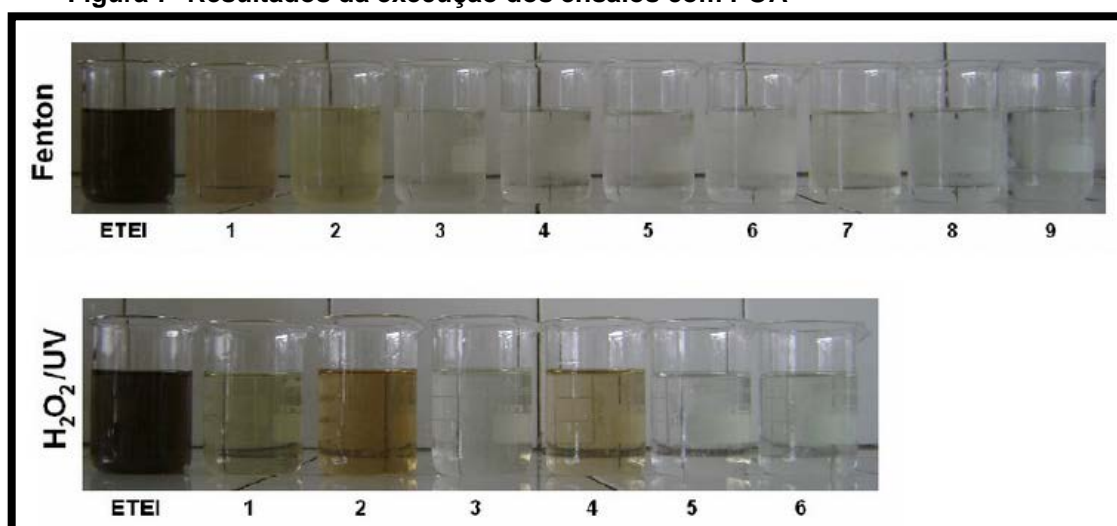
Tabela 8 - Percentual de peróxido residual nos ensaios com POA

Experimento	H ₂ O ₂ residual (%) Fenton	H ₂ O ₂ residual (%) H ₂ O ₂ /UV
1	69	67
2	49	40
3	68	16
4	59	62
5	52	23
6	54	12

Fonte: Adaptado Ribeiro (2009).

Averiguo-se que o processo Fenton comparado com o processo H₂O₂/UV possui menor quantidade de peróxido residual no efluente tratado pelos dois métodos. Sendo considerado por Ribeiro (2009) como um processo incabível para uso, já que não houve consumo de boa parte do peróxido aplicado, sendo inviável economicamente e para reuso do efluente nos processos têxteis, pois excesso de H₂O₂ pode causar manchas no tecido. Para a autora o principal motivo dessa baixa decomposição é a presença de cor e sólidos suspensos, que absorvem a radiação impedindo a formação de •OH. Na Figura 7 são apresentadas as amostras de efluente antes e após cada tratamento aplicado.

Figura 7- Resultados da execução dos ensaios com POA



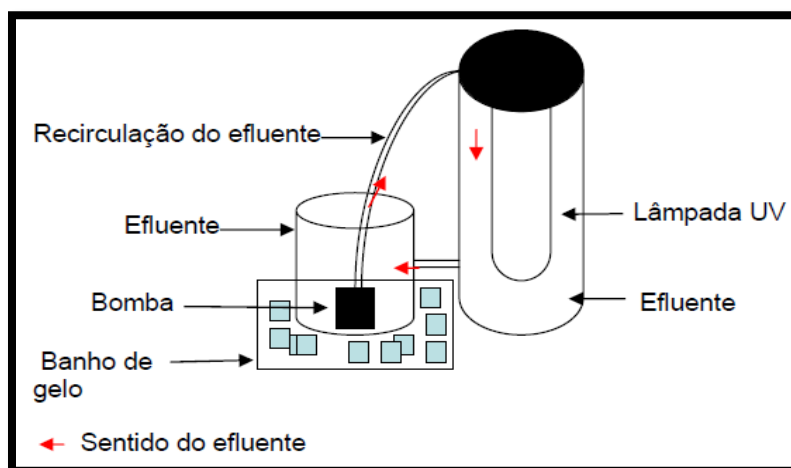
Fonte: Ribeiro (2009).

Segundo Ribeiro (2009) as alterações na aparência provocadas pelos processos oxidativos avançados, não significa necessariamente que o tratamento tenha sido efetivo em termos de degradação de poluentes. Portanto, a cor pode ser

uma variável auxiliar no acompanhamento dos resultados, mas não como a variável principal.

Já Pereira (2007) realizou os experimentos por meio de processo do homogêneo utilizando H_2O_2/UV e também aplicou o processo heterogêneo TiO_2/UV e a combinação dos dois processos. Pereira realizou o processo para todos foi feito em batelada com um reator de bancada composto por um recipiente com dimensões de 8 cm de diâmetro por 20 cm de altura, com uma lâmpada UV que possuía a potência de 125W com uma proteção de quartzo. O efluente para se manter em movimento era recirculado com o uso de uma bomba submersa em um béquer de 1L, em um banho de gelo para controlar a temperatura em 35 °C. A recirculação era feita do béquer para o topo do reator, com o efluente saindo do fundo do reator para o béquer. A Figura 8 esquematiza o modelo do reator e o processo.

Figura 8 - Esquema do reator de bancada utilizado para realizar o tratamento usando $H_2O_2/TiO_2/UV$



Fonte: Pereira (2007).

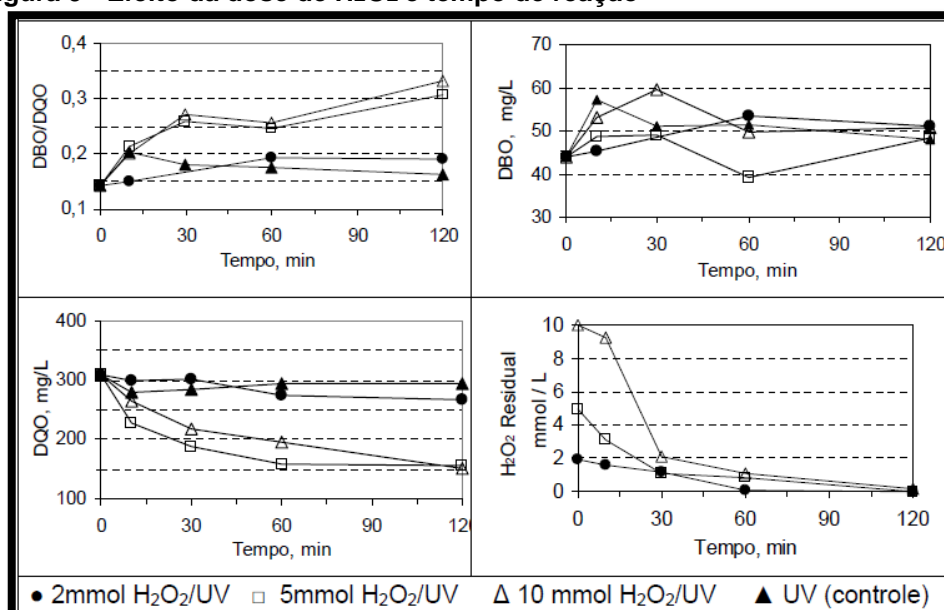
No tratamento do efluente têxtil por H_2O_2/UV , realizado sem repetição, em concentrações de 0; 2; 5 e 10 mmol/L em tempos diferenciados. O efluente coletado para uso nas análises é proveniente de uma fábrica em Minas Gerais que a produção conta com unidades de tinturaria, estamparia e acabamento de tecido de algodão. A Tabela 9 contém a caracterização do efluente têxtil bruto coletado.

Tabela 9 - Caracterização do efluente têxtil

Parâmetro	Valor
Cor (mg L^{-1})	613
COT (mg L^{-1})	116
DBO (mg L^{-1})	44 ± 11
DBO/DQO	0,14
DQO (mg L^{-1})	308 ± 2
pH	10,4

Fonte: Pereira (2007).

Através da inserção de diferentes concentrações de H_2O_2 (0, 2, 5 e 10 mmol L^{-1}) e do tempo de irradiação no tratamento com $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$. Foi verificado que os tratamentos com doses de 5 e 10 mmol/L de H_2O_2 apresentaram basicamente a mesmo aumento da biodegradabilidade do efluente nos primeiros 30 minutos de tratamento, se estabilizando aos 60 min de reação. Porém, em 10 mmol/L houve aumento no valor de DBO, já para a dose de 5 mmol/L H_2O_2 , a DBO se manteve praticamente constante até 30 minutos. Dessa forma, os aumentos da biodegradabilidade observados nos primeiros 30 min foram obtidos pela combinação do aumento da DBO e redução da DQO do efluente têxtil. Estão apresentados na Figura 9 os valores de DBO, DQO e H_2O_2 residuais de acordo com o tempo.

Figura 9 - Efeito da dose de H_2O_2 e tempo de reação

Fonte: Pereira (2007).

Tanto os tratamentos utilizando 2 mmol/ L H_2O_2 /UV, como o processo com apenas UV tiveram pouco efeito sobre a DBO, DQO ou biodegradabilidade do efluente têxtil. Isso se deve a esse tratamento não gerar radicais hidroxilas que atacam a matéria orgânica.

Por meio da análise dos gráficos apresentados na Figura 7 pode-se verificar que o H_2O_2 reagiu quase por completo após 60 min de processo. Sendo que nos primeiros 30 min, houve consumo de aproximadamente 80% do H_2O_2 . Com isso, sugere-se que o tratamento não passe mais que 30 a 60 min, já que após esse tempo não haveria residual de H_2O_2 disponível para gerar radicais hidroxila.

A autora escolheu o tratamento com 5 mmol/L H_2O_2 por elevar a biodegradabilidade, e com a vantagem de ter aumentado a DBO. E também devido à questão de custo, pois com a metade da dose aplicada se alcançou a mesma biodegradabilidade do de 10 mmol/L.

Por meio das comparações entre os trabalhos explorados utilizando dois tipos de sistemas homogêneos de POAs pode-se identificar que o processo Fenton é mais eficiente comparado com o processo H_2O_2 /UV, tanto na remoção de DQO quanto para redução de H_2O_2 no efluente tratado. Entretanto, os estudos se mostraram deficientes na apresentação de resultados mais completos, o que dificultou a comparação entre os processos e averiguação da melhor eficiência. Sendo que um trabalho apenas apresentou a degradação da cor do efluente de forma efetiva.

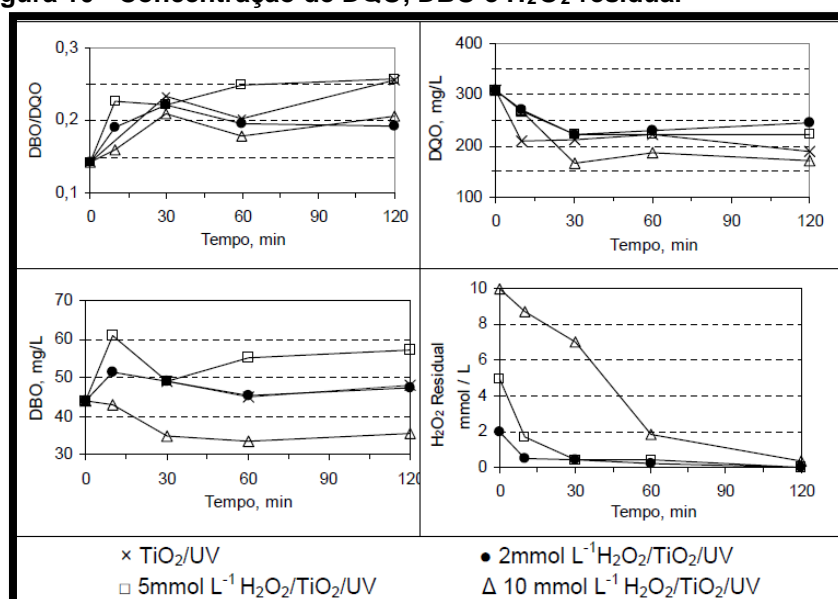
4.2 Processo Heterogêneo

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados dois estudos relacionados com o sistema heterogêneo utilizando TiO_2 como catalizador. Estes trabalhos são pertencentes a Pereira (2007) e a Pekakis *et al.* (2006).

Pereira (2007) realizou os POAs aplicando os dois sistemas homogêneos e heterogêneos. Como citado a cima, para o método heterogêneo processo $\text{H}_2\text{O}_2/\text{TiO}_2/\text{UV}$, foram aplicados os mesmos procedimentos que para o processo homogêneo utilizando $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$. Quando o TiO_2 foi inserido no processo, ocorreu a imobilização na parede do reator a temperatura elevada (300 a 500 °C) com auxílio de um soprador térmico. A quantidade imobilizada foi de 8,3 mg de TiO_2 por cm^2 da parede do reator. O H_2O_2 foi adicionado ao reator na quantidade desejada a partir de uma solução a 30% v/v, antes do tratamento. O H_2O_2 o residual foi quantificado por titulação iodométrica e neutralizado com sulfito de sódio para evitar sua interferência na análise de DBO, DQO e no tratamento biológico.

A autora afirma que para os teste de DQO e DBO, percebeu-se que com o aumento da concentração de $\text{H}_2\text{O}_2/\text{TiO}_2/\text{UV}$ de 5 mmol/L, resultou na redução de DQO mas aumentou o DBO, para as concentrações menores também foi observado o aumento do DBO. A Figura 10 apresenta a concentração tanto de DQO e DBO quanto a concentração de H_2O_2 residual.

Figura 10 - Concentração de DQO, DBO e H_2O_2 residual



Fonte: Pereira (2007).

Com o aumento da concentração para 10 mmol/L $\text{H}_2\text{O}_2/\text{TiO}_2/\text{UV}$ foi observado que ocorreu oxidação de matéria orgânica biodegradável, refletida na perda de DBO. Isso se deve ao H_2O_2 residual que reagiu com compostos biodegradáveis já que não conseguiu se transformar em radical hidroxila.

Para os ambos os tratamentos $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ e $\text{H}_2\text{O}_2/\text{TiO}_2/\text{UV}$ proporcionaram aumentos de biodegradabilidade, nos primeiros 30 min. Este crescimento ocorreu devido à combinação do aumento da DBO e da redução de DQO. Porém, houve maior aumento de DBO e menor redução da DQO no tratamento com TiO_2 . Através dos gráficos a autora chegou a conclusão que o tratamento com 5 mmol/L $\text{H}_2\text{O}_2/\text{TiO}_2/\text{UV}$ foi considerado o melhor, entre aqueles avaliados, seguindo os mesmos princípios para o tratamento pelo processo $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$.

A autora notou que os dois tratamentos foram bastante eficientes na remoção da cor do efluente têxtil, resultando na remoção de 64 a 66%, nos primeiros 60 min de reação, após o qual a cor do efluente se estabilizou. No entanto, o processo utilizando somente TiO_2 não foi observado um efeito da remoção de cor.

Pereira (2007) complementa que o tratamento com 30 min de usando 5 mmol/L $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ o efluente apresentou qualidade suficiente para lançamento de acordo com a legislação estadual vigente. E também, ocorreu a redução de 64% da cor do efluente. Já, o tratamento com 5 mmol/L $\text{H}_2\text{O}_2/\text{TiO}_2/\text{UV}$ demonstrou potencial para aumentar a DBO e a biodegradabilidade do efluente, sem que ocorra mineralização da matéria orgânica, o que favorece se houver algum tratamento posterior, como o tratamento biológico.

Já Pekakis *et al.* usaram no reator fotocatalítico de bancada uma lâmpada de mercúrio com uma potencia de 400W. O aparelho é constituído por um interior, com uma parede dupla do vidro de borosilicato que aloja a lâmpada e um recipiente cilíndrico unido em conjunto com uma de rosca, uma bucha de nylon e um O-ring.

A mistura de efluente com o catalisador foi colocada o recipiente de reação cilíndrico e o vidro interno de borosilicato de parede dupla foi imerso dentro da mistura, a lâmpada foi colocada dentro vidro interno de borosilicato e foi efetivamente resfriado por um fluxo de circulação de água através do compartimento entre as duas paredes atuando como um revestimento de água de refrigeração. A temperatura foi mantida

entre 30 e 33 °C. O vaso de reação externo foi coberto com papel alumínio para refletir a irradiação.

O efluente têxtil utilizado no presente estudo foi Fornecido pela EPILEKTOS SA, uma indústria têxtil localizado na região de Sterea, Grécia Central. O efluente foi gerado da mercerização e branqueada usando NaOH, H₂O₂ e outros agentes de branqueamento e do tingimento. A composição do efluente têxtil é apresentada na Tabela 10.

Tabela 10 - Composição do efluente têxtil

Componente	Concentração (mg/L)
Remazol Black B	99
Remazol Red RB	23
Remazol Golden Yellow RNL	13
Cibacron Black WNN	59
Drimaren Red K-8B	4
Drimaren Scarlet K-2G	6
Drimaren Yellow K-2R	8
Drimaren Navy K-BNN	4
Drimaren Yellow K-4G	8
Outros corantes reativos (oito no total)	4
Produtos químicos auxiliares orgânicos	1350
Na ₂ SO ₄	5500
Na ₂ CO ₃	444
NaOH	111
DQO	404

Fonte: Adaptado Pekakis *et al.*(2006).

Pekakis *et al.*(2006) verificaram redução de DQO com uma concentração de 0,5 g/L TiO₂ e 0,025 M de H₂O₂, após 2h de tratamento fotocatalítico. Os dois estudos apresentaram o uso de TiO₂/UV, contudo foi observado que o procedimento com o emprego de H₂O₂ torna o processo mais eficiente para remoção de DQO e de coloração do efluente. No entanto, está bem documentado que, dependendo da condição de reação e o sistema em questão, existe uma concentração ótima de H₂O₂, acima deste valor atua como um eliminador de radicais, conduzindo a degradação (Velegraki *et al.*, 2006).

5 CONCLUSÃO

Os efluentes têxteis possuem altas cargas poluidoras e um tratamento eficaz deve ser aplicado antes de seu descarte. Por isso, o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos Processos Oxidativos Avançados precisa ser cada vez mais explorado.

Na literatura o conteúdo estudado com o foco em efluentes têxteis reais é escasso, sendo que as aplicações são realizadas em efluentes sintéticos, que se diferem do efluente real. Ou seja, muitas dos resultados obtidos por essa diferença não podem ser aplicados em escala industrial, que pode ocasionar na ineficiência do processo, já que há outros fatores que influenciam no resultado final.

Os trabalhos analisados utilizaram de efluentes reais provenientes de indústrias de tingimento têxtil, possibilitando uma análise mais eficiente do efluente e seu comportamento em diferentes processos de tratamento. Apesar de escassa a informação dos trabalhos analisados foi possível constatar que há remoção do DQO, sendo que para alguns processos como o Fenton é de forma mais eficiente comparando com os outros propostos. E também foi verificado a redução de H_2O_2 , que também demonstrou que o Fenton é mais eficaz. A competência demonstrada pelos processos abordados permite que os estudos não sejam limitados a estes parâmetros.

No entanto, os estudos foram limitados nas análises do efluente pós tratamento, o que impediu que este trabalho se aprofundasse e fizesse comparações adequadas sobre os processos e obtendo o ponto ótimo para cada sistema. E também não foi possível verificar a possibilidade de reuso do efluente comparando os processos, mas é conveniente para aplicações em trabalhos futuro.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para que se possa ter um melhor resultado, os processos abordados por este trabalho devem ser executados utilizando o mesmo efluente para comparações sobre eficiência de forma mais precisa, analisando as características dos efluentes pré e pós tratamento. Assim, mostrando qual possui a melhor viabilidade para ser aplicado. E também realizar com os outros processos que não foram citados ao longo do trabalho.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969: Dispõem sobre os tanques sépticos - unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - projeto, construção e operação.** Rio de Janeiro, 1997.

ABIT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS TÊXTEIS. **Perfil do setor: dados gerais do setor atualizados em 2016, referentes ao ano de 2015.** Disponível em: <<http://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>>. Acesso em: 03 out. 2016.

ALCÂNTARA, M. R.; DALTIM, D. A química do processamento têxtil. **Química nova**, v. 19, n. 3, p. 320-330, 1996.

ALMEIDA, M. F.. **AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE ADSORÇÃO-FOTODEGRADAÇÃO COM ESFERAS DE TiO₂-QUITOSANA PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES DE INDÚSTRIA TÊXTIL.** 2011. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agroquímica, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011

ALVES, P. A..**Tratamento eletroquímico e eletroquímico foto-assistido na degradação de efluentes da indústria têxtil.** 2010. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

BABU, B. R. et al. Cotton Textile Processing: Waste Generation and Effluent Treatment. **The Journal Of Cotton Science.**Tamil Nadu, p. 141-153. out. 2007.

BAÊTA, B. E. L.. **Tratamento de Efluentes de Indústria Têxtil Utilizando Reatores Anaeróbios de Membranas Submersas (SAMBR) com e sem Carvão Ativado em Pó (CAP).** 2012. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto,2012.

BEZERRA, K.C. H.. **Estudo de remoção de cor de efluentes têxteis por meio do processo oxidativo avançado: UV/H₂O₂.** 2015. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Têxtil e Moda, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. CONAMA. Resolução n. 357 de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília, 18 de março de 2005. Seção 1, p. 58-63.

BRITO, G.A.. Sustentabilidade: um desafio para as lavanderias industriais. **Redige**, São Paulo, v. 4, n. 2, p.01-16, ago. 2013.

BRITO-PELEGRINI, N. N., PELEGRINI, R. T. —Tratamento de Efluente Têxtil contendo Corante Reativo Blue Black por Processo Fotocatalítico, utilizando TiO₂/UV. **Revista Química Têxtil**, 2005, 81 ed.: 38-42.

BRUGGEMAN, P.; LEYS, C.. Non-thermal plasmas in and in contact with liquids. **Journal of Physics D: Applied Physics**, v. 42, n. 5, p. 053001, 2009.

BUSS, M. V. *et al.* TRATAMENTO DOS EFLUENTES DE UMA LAVANDERIA INDUSTRIAL: AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE DIFERENTES PROCESSOS DE TRATAMENTO. **Revista de Engenharia Civil IMED**, v. 2, n. 1, p. 2-10, 2015.

CASTRO, A. A.; CLARK, O. A. C.. Planejamento da pesquisa. **São Paulo: AAC**, p. 01-15, 2001.

CARREIRA, M.F. **Sistemas de tratamento de efluentes têxteis**: Análise comparativa entre as tecnologias usadas no Brasil e na Península Ibérica. 2006. Tese (Doutorado) -Curso Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC, 2006.

CHAGAS, M. A.. **Tratamento de efluentes têxtil por processos físico-químico e biológico**. 2009. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pernambuco, Recife, 2009.

CHEN, X.; *et al.* Semiconductor-based photocatalytic hydrogen generation. **Chemical Reviews**, p. 6503-6570, 2010.

COMNINELLIS, Christos *et al.* Advanced oxidation processes for water treatment: advances and trends for R&D. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 83, n. 6, p. 769-776, 2008.

CORREIA, A. *et al.* Análise da turbidez da água em diferentes estados de tratamento. **VIII ERMAC 8º Encontro Regional de Matemática Aplicada e Computacional**, v. 8, n. 2008, p. 1-5, 2008.

COSTA, A. C. R.; ROCHA, E. R. P.. Panorama da cadeia produtiva têxtil e de confecções e a questão da inovação. **BNDES Setorial, Rio de Janeiro**, n. 29, p. 159-202, 2009.

COSTA, A. F. S. **Aplicação de tratamentos biológico e físico-químico em fluentes de lavanderia e tinturaria industriais do município de Toritama no estado de Pernambuco**. 2008. 99f. Dissertação (Mestrado)- Curso de Desenvolvimento de Processos Ambientais, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2008.

CREMA, A. P. S.. **Estudo das reações de descoloração de corantes em meio aquoso induzidas por plasma frio**. 2015. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

DANTAS, T. L. P.. **Decomposição de peróxido de hidrogênio em um catalisador híbrido e oxidação avançada de efluente têxtil por reagente fenton modificado**. 2005. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

DE AMORIM, C. C.; LEÃO, M. M. D.; MOREIRA, R. F. P. M.. Comparação entre diferentes processos oxidativos avançados para degradação de corante azo. **EngSanitAmbient**, v. 14, n. 4, p. 543-550, 2009.

DIAS, F. F. S. *et al.* Degradação de corante Reative Black 5 via processo foto-fenton em reator PTC com modelagem e otimização utilizando RNA. **Scientia Plena**, v. 9, n. 10, 2013.

FEAM- FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTES. **Guia técnico ambiental da indústria têxtil**. São João Nepomuceno: Fiemg, 2014.

FEITOSA, A. K. *et al.* ANÁLISE DE EFLUENTES DE UMA LAVANDERIA UNIVERSITÁRIA. **Exatas& Engenharia**, v. 5, n. 11, 2015.

FERNANDES, A. K. S.. **Reuso de água no processamento de jeans na indústria têxtil**. 2010. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Sanitária, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

FRANCO, M. S.. **Estudo da otimização do processo h₂o₂/uv para o decoloramento de um efluente de indústria têxtil.** 2010. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

FREITAS, K. R.. **Caracterização e reuso de efluentes do processo de beneficiamento da indústria têxtil.** 2002. 172 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

FUJITA, R.M. L.; JORENTE, M. J.. A Indústria Têxtil no Brasil: uma perspectiva histórica e cultural. **Revista Modapalavra E-periódico**, São Paulo, v. 8, n. 15, p.153-174, jun. 2015.

FUJISHIMA, A. *et al.* Titanium dioxide photocatalysis. *J. Photochem. Photobiol. C: Photochem. Rev.*, v.1, p.1-21; 2000.

FUNASA - FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. . **Manual de Controle da Qualidade da Água para Técnicos que Trabalham em ETAS.** Brasília, 2014.

GAO, J. *et al.* Oxidative degradation of phenol in aqueous electrolyte induced by plasma from a direct glow discharge. **Plasma Sources Science and Technology**, v. 12, n. 4, p. 533, 2003.

GHALY, A.E. *et al.* Production, Characterization and Treatment of Textile Effluents: A Critical Review. **Chemical Engineering & Process Technology**. Nova Scotia, p. 1-18. jan. 2014.

GORINI, A. P. F.; SIQUEIRA, S. H. G.. Tecelagem e malharia. **BNDES Setorial, Rio de Janeiro**, n. 7, p. 29-56, 1998.

GRIEP, V. N.. **Degradação de alisarina em solução aquosa, sob plasma obtido por eletrólise de alta tensão e baixa corrente.** 2007. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agroquímica, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

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

HASSEMER, M. E. N. **Oxidação fotoquímica - UV/H₂O₂ - para degradação de poluentes em efluentes da indústria têxtil.** 2006. 175f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

HASSEMER, M. E. N.; SENS, M. L.. Tratamento do efluente de uma indústria têxtil. Processo físico-químico com ozônio e coagulação/floculação. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 7, n. 1, p. 30-36, 2002.

HIRATUKA, C. et al. **Relatório de acompanhamento setorial: têxtil e confecção**. Campinas: Abdi, 2008. 21 p.

HIGARASHI, M. M.; MOREIRA, J. C.; OLIVEIRA, A. S.; FERREIRA, L. F. V. - A Utilização de Processos Oxidativos Avançados na Descontaminação do Meio Ambiente. **Química - Boletim SPQ**. Lisboa. N°79 (2000), p.16-20.

KAMIDA, H.M. *et al.* Biodegradação de efluente têxtil por *Pleurotus sajor-caju*. **Química Nova**, v. 28, n. 4, p. 629, 2005.

KARMAKAR, S. R. **Chemical Technology in the pre-treatment processes of textiles**. Elsevier: Amsterdam, 1999.

KON, A.; COAN, D. C. **Transformações da Indústria Têxtil Brasileira: a Transição para a Modernização**. Revista de Economia Mackenzie. Ano 3, n.3, p. 11-34. São Paulo. 2005.

KUNZ, A. *et al.* Novas Tendências no Tratamento de Efluentes Têxteis. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n. 1, p.78-82, fev. 2002.

LERMEN, R. T.; MACHADO, I. G.. Nova tocha de plasma híbrida para o processamento de materiais. **Soldagem&Inspeção**, São Paulo, v. 17, n. 4, p.317-326, dez. 2012.

LIU, Zheet *al.* Effects of surface modification by atmospheric oxygen dielectric barrier discharge plasma on PBO fibers and its composites. **Applied Surface Science**, v. 283, p. 38-45, 2013.

LOCKUÁN, F. E. **La industriatextil y sucontrol de calidad**. V Tintorería 2012.

LOPES, C. S. D.. Análise ambiental da fase de acabamento do jeans. **Interfacehs**, São Paulo, v. 6, n. 3, p.87-102, dez. 2011.

JIANG, B. *et al.* Review on electrical discharge plasma technology for wastewater remediation. **ChemicalEngineeringJournal**, v. 236, p. 348-368, 2014.

MACIEL, D. M. H. *et al.* Desperdício hídrico têxtil: a crise hídrica, os impactos e as alternativas. in: congresso brasileiro de iniciação científica em design e moda, 2., 2015, João Pessoa. **Colóquio de Moda**. João Pessoa: Abepem, 2015. p. 1 - 11

MATIAS, A. A.. **Tratamento de efluente de indústria de celulose através de plasma obtido por eletrólise de alta tensão**. 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agroquímica, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

MARTINS, L. M.. **Estudo da aplicação de processos oxidativos avançados no tratamento de efluentes têxteis visando o seu reúso**. 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2011.

MELO, A.R.. **Otimização do reuso de água em lavadores contínuos da indústria têxtil**. 2005. 219 p. Dissertação (Mestrado em engenharia química) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

NAVES, F. L.. **Utilização de processos oxidativos avançados no tratamento de efluentes a base de resina fenólica, proveniente de indústria de tintas e derivados**. 2009. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

NEYENS, E., BAEYENS, J. A review of classic Fenton's peroxidation as an advanced oxidation technique. **Journal of Hazardous Materials B**, v. 98, p. 33–50, 2003.

NOGUEIRA, R. FP; JARDIM, W. F. A fotocatalise heterogênea e sua aplicação ambiental. **Química Nova**, v. 21, n. 1, p. 69-72, 1998.

OLIVEIRA, D. M.; LEÃO, M. MD. Avaliação da biodegradabilidade de efluentes têxteis do beneficiamento secundário de malhas de poliéster tratados com reagente de Fenton. **Química Nova**, v. 32, n. 9, p. 2282-2286, 2009.

ONG, Y. K. *et al.* Nanofiltration hollow fiber membranes for textile wastewater treatment: Lab-scale and pilot-scale studies. **Chemical Engineering Science**, v. 114, p. 51-57, 2014.

PEKAKIS, P. A. *et al.* Treatment of textile dyehouse wastewater by TiO₂ photocatalysis. **Water research**, v. 40, n. 6, p. 1276-1286, 2006.

PEREIRA, R. O.. **Combinação de tratamento biológico aeróbio com processos oxidativos avançados visando intensificar a remoção de matéria orgânica em efluentes da indústria têxtil e de celulose kraft**. 2007. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

PÉREZ, M. *et al.* Removal of organic contaminants in paper pulp treatment effluents under fenton and photo-fenton conditions. **Applied Catalysis B. Environmental**, v.36, p.63-74, 2002b.

PINTO, N.M.C.; LEÃO, M.M.D.. Produção mais limpa na indústria têxtil de acabamento de malhas: uso da água. In: **23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. 2002. p. 1-10.

PINHEIRO, H. M. *et al.* Aromatic amines from azo dye reduction: status review with emphasis on direct UV spectrophotometric detection in textile industry wastewaters. **Dyes and pigments**, v. 61, n. 2, p. 121-139, 2004.

PITA, P.; NETO, A.. **Fibras Têxteis**. Rio de Janeiro: Senai- Cetiqt, 1996.

PORTO, A. E. B.; SCHOENHAL, M. Tratamento de efluentes, reuso da água e legislação aplicada a lavanderia têxtil industrial. **Revista Engenharia Ambiental- Espírito Santo do Pinhal**, v. 10, n. 2, p. 068-080, 2013.

RECH, S. R. Estrutura da cadeia produtiva da moda. **Modapalavra e-periódico**, v. 1, n. 1, p. 7-20, 2008.

RIBEIRO, M. C. M.. **Avaliação da possibilidade de reúso de efluentes têxteis após tratamento complementar por processos oxidativos avançados**. 2009. 93 f. Tese (Doutorado) - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

RIBEIRO, V.A.S.; TAVARES, C.R.G.. Fotocatálise aplicada ao tratamento de efluentes de lavanderia de jeans: comparação da eficiência de remoção de cor do ZnO e do TiO₂. In: 4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, 2014, Bento Golçalves – RD=S. 4º **Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente**, 2014.

RIBEIRO, V. A. S.. **Fotodegradação de efluentes têxteis catalisada por ZnO**. 2010. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

ROSOLEN, L. A., *et al.* Biodegradação de Efluente Têxtil e Nove Corantes Técnicos Utilizando Fungos Basidiomicetos. **Revista Química Têxtil**, 2004, 76 ed.: 44-53.

RODRIGUES, L. H.. **Tecnologia da Tecelagem: Tecnologia e Qualidade na Produção de Tecidos Planos**. Rio de Janeiro: Senai- Cetiqt, 1996.

SALEM, V. **Tingimento Têxtil: Fibras. Conceitos e Tecnologias**. São Paulo: Blucher: Golden Tecnologia, 2010.

SANTOS, I. dos *et al.* Hidrometria aplicada. **Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento**, 2001.

SANTOS, D. P. dos. **SÍNTESE, CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO FOTOCATALÍTICA DO TiO_2 DOPADO COM NITROGÊNIO NA DEGRADAÇÃO DO 4-CIANOFENOL**. 2015. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Processos, Universidade Tiradentes, Aracaju, 2015.

SARON, C.; FELISBERTI, M. I., Ação de Colorantes na Degradação e Estabilização de Polímeros. **Química Nova**, Vol. 29, No. 1, 124-128. Campinas, 2006.

SARAVANAN, R. *et al.* ZnO/Ag/CdO nanocomposite for visible light-induced photocatalytic degradation of industrial textile effluents. **Journal of colloid and interface science**, v. 452, p. 126-133, 2015.

SINDIVAL. **Panorama do mercado**. Disponível em: <<http://www.sindilav.com.br/mercado-panorama.php>>. Acesso em: 09 out. 2016.

SILVA, A. R. A.. **Desenvolvimento de Sistema Simplificado de Gestão Ambiental Aplicado a Micro e Pequenas Empresas de Beneficiamento de Jeans**. 2013. 222 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

SOUZA, F. P. de *et al.* Análise da Viabilidade Técnica de Reutilização do Efluente de uma Lavanderia Industrial. **Perspectivas Online**, São Paulo, v. 3, n. 7, p.1-16, dez. 2013.

STASINAKIS, A. S. Use of selected advanced oxidation processes (AOPs) for wastewater treatment—a mini review. **Global NEST journal**, v. 10, n. 3, p. 376-385, 2008.

SOTTORIVA, Patrícia Raquel da Silva. **DEGRADAÇÃO DE CORANTES REATIVOS UTILIZANDO-SE PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS**. 2002. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Federal do Paraná., Curitiba, 2002.

TAMBOS, J. L.. **Remediação de efluente da indústria de papel e celulose por processos oxidativos avançados e coagulação férrica**. 2005. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

TELLES, D. D.; COSTA, R. H. P. G. Reúso da água: Conceitos, teorias e práticas. **São Paulo: Editora Blucher**, v. 2, 2010.

TEIXEIRA, C.P. E JARDIM, W.F. **Caderno Temático volume 03 – Processos oxidativos avançados – Conceitos teóricos**. Universidade Estadual de Campinas; Unicamp, Instituto de Química; Laboratório de Química Ambiental, 2004.

TWARDOKUS, R. G.. **Reuso de Água no Processo de Tingimento da Indústria Têxtil**. 2004. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

VELOSO, L. A.. **Corantes e Pigmentos**. Curitiba: Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, 2012.

VELEGRAKI, T. *et al.* Photocatalytic and sonolytic oxidation of acid orange 7 in aqueous solution. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 62, n. 1, p. 159-168, 2006.

VONCINA, D. B. *et al.* Reactive dye decolorization using combined ultrasound/H₂O₂. **Dyes and Pigments**, v. 59, n. 2, p.173-179, 2003.

ZANELLA, G. *et al.* Tratamento de banhos de tingimento têxtil por processos foto-Fenton e avaliação da potencialidade de reuso. **Química nova**, v. 33, n. 5, p. 1039-1043, 2010.

ZHONG-AI, H. *et al.* A study on water treatment induced by plasma with contact glow discharge electrolysis. **Plasma Science and Technology**, v. 3, n. 5, p. 927, 2001.