



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA**  
**CAMPUS DE JI-PARANÁ**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**



**JUSSARA CORDEIRO DE PAULA**

**REMOÇÃO DE COR DE EFLUENTE TÊXTIL SINTÉTICO ATRAVÉS DA  
APLICAÇÃO DOS PROCESSOS FÍSICO-QUÍMICOS DE  
COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO, CARVÃO ATIVADO E OZÔNIO.**

Ji-Paraná

2016

**JUSSARA CORDEIRO DE PAULA**

**REMOÇÃO DE COR DE EFLUENTE TÊXTIL SINTÉTICO ATRAVÉS DA  
APLICAÇÃO DOS PROCESSOS FÍSICO-QUÍMICOS DE  
COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO, CARVÃO ATIVADO E OZÔNIO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Federal de Rondônia, *Campus* de Ji-Paraná, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Alberto DreschWebler

Ji-Paraná

2016

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**  
**Biblioteca Setorial - UNIR/Campus de Ji-Paraná**

P324r  
2016

Paula, Jussara Cordeiro de.

Remoção de cor de efluente textil sintético através da aplicação dos processos físico-químico de coagulação/floculação, carvão ativado e ozônio.. / Jussara Cordeiro de Paula; orientador, Alberto Dresch Webler.

-- Ji-Paraná, 2016

60, p.. : 30 cm

Trabalho de conclusão de Curso Bacharel em Engenharia Ambiental. – Universidade Federal de Rondônia, 2016

Inclui referências

1. Tratamento de efluentes. 2. Efluente Industrial Textil.  
3. Contaminação Ambiental. I. Webler, Alberto Dresch. II. Universidade Federal de Rondônia. III. Título

CDU 504.5



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA  
CAMPUS DE JI-PARANÁ  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL



**TÍTULO:** REMOÇÃO DE COR DE EFLUENTE TÊXTIL SINTÉTICO ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DOS PROCESSOS FÍSICO-QUÍMICOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO, CARVÃO ATIVADO E OZÔNIO.

**AUTOR:** JUSSARA CORDEIRO DE PAULA

O presente Trabalho de Conclusão de Curso foi defendido como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e aprovado pelo Departamento de Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Federal de Rondônia, *Campus* de Ji-Paraná, no dia 08 de dezembro de 2016.

---

Profa. Dra. Elisabete Lourdes do Nascimento  
Universidade Federal de Rondônia

---

Prof. Me. Marcos Leandro Alves Nunes  
Universidade Federal de Rondônia

---

Prof. Me. Alberto Dresch Webler  
Universidade Federal de Rondônia

Ji-Paraná, 08 de dezembro de 2016.

## **DEDICATORIA**

Dedico esse trabalho aos meus amados pais Sebastião de Paula e Olinda Cordeiro de Paula por estarem sempre presente na minha vida, me dando apoio e incentivo e pela paciência nos momentos de dificuldades. A toda a minha família que sempre me apoiou e me presenteou com momentos de felicidade.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus por ter me iluminado e ajudado a tornar possível a realização desse trabalho.

À Universidade Federal de Rondônia pela oportunidade e qualidade do ensino oferecido.

Ao meu orientador Alberto Dresch Webler pela paciência e dedicação que teve comigo no decorrer do desenvolvimento desse trabalho. Por ter cedido o seu tempo e conhecimento, os quais foram imprescindíveis para alcançar os objetivos desse estudo.

Aos professores Marcos Leandro Alves Nunes e Elisabete Lourdes do Nascimento por terem aceitado participar da banca avaliadora.

Aos professores do Departamento de Engenharia Ambiental por toda dedicação e disposição em transmitir os seus conhecimentos no decorrer da minha formação.

Aos professores João Gilberto de S. Ribeiro, Elisabete Lourdes do Nascimento e Beatriz Machado Gomes pela disponibilização dos laboratórios de Saneamento, Limnologia e Química Ambiental e suporte oferecido para realização das análises.

Aos técnicos de laboratório Aurelino Lopes e Gleiciane da Silva por toda disposição e ajuda necessária nas análises realizadas durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos Danilo Átila, Gabriel Serena, Letícia Rocha, Natália Orlando e Solange Ishii, pela amizade que construímos durante o curso. Pelas risadas e momentos felizes, muito mais pelo companheirismo nos momentos de dificuldades, sempre ajudando um ao outro, tornando os momentos mais agradáveis e menos árduos.

Aos acadêmicos do curso de engenharia ambiental Nicoló Svierzoski por todo auxílio que tem prestado no desenvolvimento desse trabalho, à Jayne Soares por toda disposição e ajuda na parte de confecção dos gráficos, a Claudia Corrêa e José Henrick

Schiavon pela disposição e presteza em ajudar por diversas vezes nas aulas de geoprocessamento.

Aos colegas do curso de engenharia ambiental que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho.

Agradeço a toda a minha família, em especial ao meu pai e minha mãe por todos os ensinamentos que tem me proporcionado.

## RESUMO

Uma das principais agressões impactantes aos recursos hídricos é a falta de tratamento adequado dos efluentes industriais e domésticos que, constantemente, são despejados em grandes volumes nos corpos d'água sem nenhum processo de remediação. O setor têxtil apresenta um especial destaque quanto à geração de grandes volumes de efluentes, os quais, quando não corretamente tratados, podem causar sérios problemas de contaminação ambiental, além de seus resíduos conterem espécies fortemente coloridas e pouco biodegradáveis. A maior preocupação desse setor está relacionada com a alta coloração do efluente, que mesmo em baixas concentrações conferem cor aos corpos d'água receptores. Nesse sentido, o presente estudo foi desenvolvido com finalidade de avaliar o potencial de remoção de cor do efluente sintético à base do corante violeta 25, através da aplicação dos processos físico-químicos de coagulação e floculação, adsorção em carvão ativado em pó e ozonização. Os melhores resultados foram alcançados no processo de coagulação e floculação, com os coagulantes cloreto férrico e sulfato de alumínio, com uma eficiência de remoção de cor de 67 e 71% respectivamente. A maior eficiência de remoção de cor no processo de adsorção foi obtida com aplicação de 0,04g de carvão ativado em contato com a solução do corante por 105 minutos. O ozônio mostrou-se muito eficiente na remoção de cor do efluente sintético com aproximadamente 100% de remoção de cor. Dessa forma, a aplicação dos processos físico-químicos mostrou-se suficientemente satisfatórios na remoção de cor do efluente sintético, em especial destaque ao ozônio, sendo uma alternativa sua utilização nas estações de tratamento de efluente têxteis.

**Palavras-chave:** Processos físico-químicos, contaminação ambiental, tratamento de efluentes industriais.



## ABSTRACT

One of the main shocks to water resources is the lack of adequate treatment of industrial and domestic effluents, which are constantly dumped in large volumes in water bodies without any remediation process. The textile sector has a special emphasis on the generation of large volumes of effluents, which, when not correctly treated, can cause serious contamination problems in the environment. In addition its residues contain heavily colored and poorly biodegradable species. The main concern of this sector is related to the high staining of the effluent, which even at low concentrations color the receiving water bodies. In this sense, the present study was carried out with the purpose to evaluate the potential color removal of the synthetic effluent based on the violet dye 25, through the application of physico-chemical processes of coagulation and flocculation, adsorption in powdered activated carbon and ozonization. The Best results were achieved in the coagulation and flocculation process, with the coagulants ferric chloride and aluminum sulphate, with a color removal efficiency of 67 and 71%, respectively. The higher color removal efficiency in the adsorption process was obtained by applying 0,04g of activated carbon in contact with the dye solution for 105 minutes. The ozone was very effective at removing color from the synthetic effluent with approximately 100% color removal. Therefore, the application of physico-chemical processes proved to be sufficiently satisfactory to the removal of color from the synthetic effluent, especially ozone, as an alternative to the textile effluent treatment plants.

**Keywords:** physico-chemical processes, environmental contamination, industrial effluent treatment.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1-</b> Esquema do sistema de geração de ozônio por efeito corona. ....	26
<b>Figura 2-</b> Jar Test JT 102 série 1709/156.....	31
<b>Figura 3-</b> Mesa agitadora modelo- Q225H. ....	33
<b>Figura 4-</b> Esquema representativo do conjunto gerador de ozônio e frasco lavador de gases.34	
<b>Figura 5-</b> Varredura do comprimento de onda do corante no espectrofotômetro. ....	36
<b>Figura 6-</b> pH ideal dos coagulantes Cloreto Férrico e Sulfato de Alumínio no processo físico-químico de coagulação/ Floculação. ....	38
<b>Figura 7-</b> Concentração ideal do coagulante Cloreto Férrico e Sulfato de Alumínio no processo físico-químico de coagulação/ Floculação.....	40
<b>Figura 8-</b> Percentual de remoção de cor pelo processo de adsorção em função do tempo de contato em diferentes massas de carvão ativado em pó.....	42
<b>Figura 9-</b> Percentual de remoção de cor pelo processo de ozonização em função do pH em diferentes tempos de contato. ....	45
<b>Figura 10-</b> Análise espectrofotométrica do corante em relação ao padrão desejável apresentado por Cooper (1995), após a coagulação/floculação com cloreto férrico e sulfato de alumínio. ....	48
<b>Figura 11-</b> Análise espectrofotométrica do corante em relação ao padrão desejável apresentado por Cooper (1995), após adsorção em carvão ativado em pó.....	49
<b>Figura 12-</b> Análise espectrofotométrica do corante em relação ao padrão desejável apresentado por Cooper (1995), após o processo de ozonização.....	50

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1-</b> Classificação dos corantes segundo as classes químicas. ....	17
<b>Tabela 2-</b> Potenciais de oxidação de alguns oxidantes em água. ....	25
<b>Tabela 3-</b> Ficha de informação de segurança de produto químico. ....	30
<b>Tabela 4-</b> Dosagem dos coagulantes. ....	31
<b>Tabela 5-</b> pH .....	31
<b>Tabela 6-</b> Características físicas do Carvão ativado em pó. ....	32
<b>Tabela 7-</b> Tempo de Ozonização em função do pH das amostras. ....	35
<b>Tabela 8-</b> Concentração do corante ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) após o processo de coagulação/floculação com aplicação dos coagulantes cloreto férrico e sulfato de alumínio em diferentes faixas de pH. .	37
<b>Tabela 9-</b> Concentração do corante ( $\text{mg. L}^{-1}$ ) após o processo de coagulação/floculação com aplicação de diferentes dosagens dos coagulantes cloreto férrico e sulfato de alumínio. ....	40
<b>Tabela 10-</b> Concentração do corante ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) após o processo de adsorção em função do tempo de contato em diferentes massas de carvão ativado em pó. ....	42
<b>Tabela 11-</b> Concentração do corante antes e após aplicação do ozônio ( $\text{mg. L}^{-1}$ ) em diferentes faixas de pH e tempo de contato. ....	45

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>1 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1 TRATAMENTO DE EFLUENTE INDUSTRIAL .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2 CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE INDUSTRIAL TÊXTIL .....</b>	<b>16</b>
<b>1.2.1 Tratamento de efluente têxtil.....</b>	<b>18</b>
<b>1.3 TRATAMENTO POR PROCESSO FÍSICO-QUÍMICO .Erro! Indicador não definido.</b>	
<b>1.3.1 Coagulação-Floculação .....</b>	<b>21</b>
<b>1.3.2 Adsorção em Carvão Ativado .....</b>	<b>23</b>
<b>1.3.3 Ozonização.....</b>	<b>25</b>
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>30</b>
<b>2.1 ENSAIOS DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO .....</b>	<b>30</b>
<b>2.2 ENSAIOS COM O CARVÃO ATIVADO .....</b>	<b>32</b>
<b>2.3 ENSAIOS COM O OZÔNIO.....</b>	<b>33</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>36</b>
<b>3.1 COAGULAÇÃO/ FLOCULAÇÃO .....</b>	<b>37</b>
<b>3.1.1 pH ideal .....</b>	<b>37</b>

<b>3.1.2 Concentração ideal.....</b>	<b>39</b>
<b>3.2 CARVÃO ATIVADO.....</b>	<b>41</b>
<b>3.3 OZÔNIO.....</b>	<b>44</b>
<b>3.4 COMPARAÇÃO DAS ABSORBÂNCIAS APÓS APLICAÇÃO DOS PROCESSOS FÍSICO-QUÍMICOS COM O PADRÃO PERMITIDO .....</b>	<b>48</b>
<b>3.4.1 Coagulação e Floculação.....</b>	<b>48</b>
<b>3.4.2 Carvão ativado.....</b>	<b>49</b>
<b>3.4.3 Ozônio .....</b>	<b>50</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>51</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>53</b>

## INTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia no mundo tem propiciado o desenvolvimento de uma vasta cadeia de atividades industriais que vem fortalecendo a economia de vários países nas últimas décadas. Porém, junto com esse desenvolvimento, a preocupação com os ecossistemas tem aumentado, pois, a maioria das atividades consomem grandes quantidades de matéria-prima e, conseqüentemente à geração de rejeito com alto potencial de degradação ambiental.

Dentre as matérias-primas, a água tem uma especial atenção, pois está presente no desenvolvimento da maioria das atividades industriais, sendo um recurso que vem sofrendo escassez tanto em quantidade quanto em qualidade. Uma das principais agressões mais impactantes aos recursos hídricos consiste no despejo *in natura* dos resíduos industriais e domésticos sem nenhum processo de remediação (PEREIRA; FREIRE, 2005).

Diversos ecossistemas aquáticos são comumente contaminados por efluentes industriais contendo metais pesados e elevada concentração de substâncias, como nitrogênio, fósforo, compostos orgânicos, gerando grande quantidade de materiais dissolvidos e suspensos, ocasionando altos índices de cor, eutrofização e turbidez (VAZ, 2009).

Nesse contexto, o setor têxtil apresenta um especial destaque quanto à geração de grandes volumes de efluentes, os quais, quando não corretamente tratados, podem causar sérios problemas de contaminação ambiental, além de seus resíduos conterem espécies fortemente coloridas e pouco biodegradáveis, muitas das quais apresentam elevado potencial carcinogênico e mutagênico (KUNZ et al., 2002; CAMPOS; BRITO, 2014).

As atividades empregadas nos processos envolvendo tingimento acabam gerando problemas devido à eliminação de rejeitos tóxicos, provenientes dos subprodutos gerados na indústria, que, se não tratados convenientemente antes de serem lançados em águas naturais, são capazes de atingir reservatórios e estações de água, sendo esta a preocupação ecológica mais emergente, visto que uma pequena quantidade desse efluente lançado nos corpos

hídricos pode causar uma acentuada mudança de coloração dos rios (GUARATINI; ZANONI, 2000; IMMICH, 2006).

Em compensação, há um grande interesse das indústrias em reduzir a poluição no processo industrial, não apenas na estação de tratamento, mas em cada etapa da cadeia produtiva, através da reciclagem das correntes de efluentes líquidos, da recuperação de produtos e subprodutos, diminuindo, além dos volumes de água requeridos e eliminados, os custos de tratamento da água, tratamento de efluentes e do consumo de produtos químicos (FREITAS, 2002).

Na indústria têxtil nacional, os processos de tratamentos mais utilizados são os primários e secundários, ou seja, os tratamentos físico-químicos e biológicos por lodo ativado. Muitas vezes, somente a aplicação desses processos não é suficiente para atingir os níveis aceitáveis de lançamento nos corpos receptores, sendo necessária a aplicação de tecnologias avançadas para o tratamento desses efluentes (BELTRAME, 2000).

Almeida et al., (2004) ressaltam que vários estudos têm sido realizados com intuito de desenvolver tecnologias capazes de minimizar o volume e a toxicidade dos efluentes industriais, de forma a permitir não somente a remoção de substâncias contaminantes, mas também sua completa mineralização.

Com o desenvolvimento de tecnologias efetivas para resolução do impasse ambiental, os Processos Oxidativos Avançados (POAs) têm se tornado uma potencial alternativa para reduzir a cor desses efluentes, devido à presença de substâncias recalcitrantes (ARAÚJO et al., 2006).

Mediante o exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar de remoção de cor do corante violeta 25 da fabricante Guarany, pela aplicação dos processos físico-químicos de coagulação/floculação, adsorção em carvão ativado em pó e na aplicação de ozônio.

# 1 REFERENCIAL TEÓRICO

## 1.1 TRATAMENTO DE EFLUENTE INDUSTRIAL

Devido à extrema complexidade dos efluentes industriais e a diversidade de compostos que podem ser encontrados nos mesmos, cada estudo da viabilidade de tratamento deve ser realizado de maneira isolada. Isto é, os processos desenvolvidos devem ser direcionados a um tipo particular de efluente, já que não existem procedimentos padronizados que possam ser aplicados no tratamento de um grande número de efluentes (KUNZ et al., 2002).

Assim, juntamente ocorre uma preocupação universal em se evitar episódios de contaminação ambiental, porém eventos prejudiciais continuam acontecendo, pois, grande parte dos processos produtivos industriais são intrinsecamente poluentes e nem sempre bem planejados (JARDIM; CANELA, 2004).

Dessa forma, a crescente implantação de medidas para aperfeiçoar as unidades de tratamento de efluentes nas indústrias, com foco na melhoria da qualidade dos mesmos, vem contribuindo para melhorar a qualidade da água dos corpos receptores, mas estas medidas não são suficientes para solucionar os problemas de poluição dos recursos hídricos (SANTOS, 2006). Assim, existem vários métodos para a remoção de poluentes de efluentes, os quais podem ser divididos em duas grandes categorias: biológica e físico-química. Todos os métodos têm suas vantagens e desvantagens (IMMICH, 2006).

Normalmente, os efluentes gerados nas indústrias são tratados por processos físico-químicos e biológicos convencionais (coagulação química e lodos ativados), os quais apresentam bons resultados na redução da matéria orgânica carbonácea, mas têm como inconveniente a alta produção de lodo e a necessidade de disponibilização de grandes áreas para implantação do sistema de tratamento e de aterros sanitários industriais para disposição do lodo (HASSEMER, 2000).

No tratamento físico-químico de coagulação e floculação, por exemplo, há uma depuração dos efluentes, porém, as substâncias contaminantes não são degradadas ou eliminadas, mas apenas transferidas para uma nova fase, pois os poluentes encontram-se concentrados no lodo gerado por esse processo, sem serem efetivamente degradados (FREIRE et al., 2000). Assim, a aplicação de processos oxidativos como Fenton, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, ozônio e



outros conseguem mineralizar os compostos químicos presentes na matriz aquosa (ALMEIDA et al., 2004).

Um processo biológico que apresenta bons resultados na degradação de corantes é a anaerobiose, contudo, o processo normalmente requer longos tempos de reação e, portanto, reatores anaeróbios de maior volume, o que representa maiores custos e demanda de área (COSTA et al., 2010). Além disso, muitas vezes o efluente apresenta constituintes, substâncias tóxicas e recalcitrantes de difícil degradação o que pode inviabilizar o processo biológico.

Portanto, quando algumas partículas não são degradadas, o tratamento terciário deve ser aplicado, através dos processos oxidativos avançados, filtração com carvão ativo ou separação por membranas (SANTOS, 2006).

Dentre esses processos, o reativo de Fenton vem sendo muito estudado e apresentado excelentes perspectivas. É um processo muito simples e realizado com uma mistura de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) e íons de ferro ( $Fe^{2+}$ ) que catalisam a reação resultando em um forte oxidante. Os principais benefícios do reativo de Fenton são a sua capacidade de converter uma gama ampla de poluentes para produtos biodegradáveis, seus reagentes residuais não representam uma ameaça ambiental e o custo relativamente baixo do reativo (DEZOTTI, 2008; PATEL; RESHMA 2013). Porém, um dos grandes entraves da sua utilização é a produção de lama rica em ferro e compostos presentes na matriz do efluente, o que não ocorre em outros POAs como o ozônio, o UV-C/ $H_2O_2$ .

Desta forma, os processos de oxidação avançada (POAs) têm sido utilizados para o tratamento de águas residuais contendo compostos orgânicos persistentes, como os pesticidas, tensoativos, corantes, produtos farmacêuticos e produtos químicos de desregulação endócrina. Além de ser utilizados como métodos de pré-tratamento, a fim de reduzir as concentrações de compostos orgânicos tóxicos que inibem o tratamento biológico de águas residuais (STASINAKIS, 2008).

Esses processos caracterizam-se por transformar a grande maioria dos contaminantes orgânicos em dióxido de carbono, água e ânion inorgânico, ou seja, sua mineralização através de reações de degradação que envolve espécies transitórias oxidantes, principalmente o radical hidroxila (TEIXEIRA; JARDIM, 2004). O radical hidroxila possui propriedades específicas que o torna apto para reagir com compostos orgânicos, capaz de produzir mudanças significativas na estrutura do poluente, promovendo a sua completa mineralização em  $CO_2$ , água e ácidos minerais, como os ácidos sulfúrico, clorídrico e nítrico (SILVA et al., 2015).

Ainda, uma alternativa é a combinação entre os processos avançados com um tratamento prévio ou posterior, objetivando, em geral, apenas a transformação dos compostos tóxicos e/ou recalcitrantes em substâncias biodegradáveis ou em substâncias facilmente elimináveis por processos físico-químicos (KAMMRADT, 2004).

O processo oxidativo avançado é uma metodologia de tratamento promissora que visa minimizar ao máximo o impacto à natureza, principalmente em efluentes recalcitrantes, como têxteis, baseando-se na degradação dos poluentes a substâncias mais facilmente degradáveis, mudando sua estrutura química, para que se tornem substâncias inofensivas ou inertes (BRITO; SILVA, 2009).

## **1.2 CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE INDUSTRIAL TÊXTIL**

Diferentes processos industriais produzem resíduos que necessitam de destino adequado, mas na maioria das vezes são descartados sem nenhum tratamento prévio nos corpos receptores (PELIZER et al., 2007). Nesse contexto, destacam-se os efluentes têxteis, quando não tratados convenientemente e lançados em águas naturais, são capazes de pôr em risco o sistema aquático, pois os corantes presentes são considerados extremamente perigosos devido sua toxicidade e por apresentarem baixa taxa de degradabilidade (PEIXOTO et al., 2013).

A presença de cor em efluentes está associada a corantes solúveis provenientes, principalmente, do processo de tingimento, devido a ineficiências dessa etapa. A concentração dos corantes é menor que a de outros produtos químicos, mas a cor é visível, mesmo em baixas concentrações (LOPES et al., 2013).

Os corantes têxteis são compostos orgânicos que possuem em sua estrutura várias duplas ligações conjugadas formando grupos funcionais denominados cromóforos. São estes grupos que absorvem radiação eletromagnética conferindo cor às substâncias que os contém (SÁ, 2008), podendo ser classificados em: nitrofenol, nitrosfenol, azo, trifenilmetano, antraquinona, entre outros (GEADA, 2006).

Os corantes azo, são de longe a classe mais importante e mais utilizada, representando mais de 50% de toda linha de corantes comerciais empregados mundialmente no tingimento de fibras, conseqüentemente, constituindo a maior parte dos efluentes gerados nas indústrias têxteis. Este grupo apresenta em sua estrutura um ou mais grupamentos azo ( $-N=N-$ ) ligados a sistemas aromáticos, o que contribui para a resistência destes corantes e

dificulta a degradação química e biológica destes compostos (KUNZ et al., 2002; HUNGER, 2003).

Ainda, são compostos coloridos, insolúveis em água, que são realmente sintetizados sobre a fibra durante o processo de tingimento. Nesse processo a fibra é impregnada com um composto solúvel em água, conhecido como agente de acoplamento (naftol) que apresenta alta afinidade por celulose. A adição de um sal de diazônio ( $RN^{2+}$ ) provoca uma reação com o agente de acoplamento já fixado na fibra e produz um corante insolúvel em água (CERQUEIRA, 2006).

Os corantes também são classificados de acordo com as classes químicas a que pertencem e com as aplicações a que se destinam. Os principais grupos estão apresentados na Tabela 1 a seguir (ABIQUIM, 2012).

**Tabela 1-**Classificação dos corantes segundo as classes químicas.

<b>Classe química</b>	<b>Classificação por aplicação</b>
Acridina	Básicos, pigmentos orgânicos
Aminocetona	À tina, mordentes
Antraquinona	Ácidos, mordentes, à tina, dispersos, azóicos, básicos, diretos, reativos, pigmentos orgânicos
Ao enxofre	Enxofre, à cuba
Azina	Ácidos, básicos, solventes, pigmentos orgânicos
Azo	Ácidos, diretos, dispersos, básicos, mordentes, reativos
Azóico	Básicos, naftóis
Bases de oxidação	Corantes especiais para tingimento de pelos, pelegos, cabelos
Difenilmetano	Ácidos, básicos, mordentes
Estilbeno	Diretos, reativos, branqueadores ópticos
Ftalocianina	Ácidos, diretos, azóicos, à cuba, reativos, solventes
Indamina e Indofenol	Básicos, solventes
Indigóide	À tina
Metina e Polimetina	Básicos, dispersos
Nitro	Ácidos, dispersos, mordentes
Nitroso	Ácidos, dispersos, mordentes
Oxazina	Básicos, mordentes
Quinolina	Ácidos, básicos
Tiazina	Básicos, mordentes
Triazol	Branqueadores ópticos, básicos, diretos
Triarilmetano	Ácidos, básicos, mordentes
Xanteno	Ácidos, básicos, branqueadores ópticos, solventes

**Fonte:** Adaptado de Abiquim, 2012.

A forma de fixação da molécula do corante a essas fibras geralmente é feita em solução aquosa e pode envolver basicamente 4 tipos de interações: ligações iônicas, de hidrogênio, de Van der Waals e covalentes (GUARATINI; ZANONI, 2000). Os que possuem como grupos cromóforos a funções azo, a interação com a fibra é feita através de uma ligação covalente onde o grupo nucleofílico do corante é substituído pelo grupo hidroxila da celulose (SOUZA, 2006).

### **1.2.1 Tratamento de efluente têxtil**

Existe uma problemática no que concerne a introdução de resíduos de produtos industriais para o meio Ambiente. Muitos destes produtos são ofensivos devido a sua persistência (baixa biodegradabilidade) e/ou toxicidade no meio em que estão dispostos como, por exemplo, os metais pesados mercúrio, chumbo, cromo e cádmio os quais possuem alto potencial à contaminação e elevado caráter tóxico (FERREIRA et al., 2010; VINODHKUMAR et al., 2013).

A indústria têxtil tem sido alvo de muitas pesquisas, principalmente no que refere ao tratamento de seus efluentes e desenvolvimento de processos mais limpos. Os mesmos são de alta complexidade, pois possuem diferentes composições físicas e químicas, grande diversidade de corantes sintéticos e distintas potencialidades de toxicidade, tornando-os um dos mais difíceis de tratamento e um dos mais poluentes (MARTINS et al., 2011).

Esse setor industrial é um dos mais significativos consumidores de produtos químicos. Estes são aplicados na fabricação de fibras sintéticas, naturais e como auxiliares no beneficiamento, representando um consumo de materiais de tintura (quase 80%) (BELTRAME, 2000; VINODHKUMAR et al., 2013).

Assim, o uso de corantes e pigmentos, além de vários produtos químicos auxiliares, é um dos maiores responsáveis pela geração de efluentes recalcitrantes nesse setor industrial (MARCELINO et al., 2013), como os metais pesados que são de difícil remoção. Os metais pesados são provenientes principalmente do efluente de tingimento, que podem ser originados da própria molécula do corante, como é o caso do cromo nos corantes ácidos, ou do cobre, nos corantes diretos, além do cádmio, mercúrio, chumbo, zinco que podem ser originário de outros materiais utilizados no processo (SILVA, 2007). Dentre os grupos de corantes, os pré-metalizados são os de maior preocupação ambiental, pois em sua composição possuem os complexos estáveis de cromo, sendo a desvantagem ecológica deste tipo de corante o alto conteúdo desse metal nas águas de rejeito (GUARATINI; ZANONI, 2000).

Concernente a isso, Cogo (2011) recomenda ter atenção ao lodo residual da estação de tratamento de efluentes, uma vez que em sua composição pode conter metais pesados, provenientes dos corantes, e que precisam receber tratamentos para poderem ser dispostos adequadamente.

Ainda, Menezes (2005) aponta que, de todos os insumos químicos utilizados para o beneficiamento têxtil, mais de 90% são removidos após cumprir o seu papel requerido. Esse dado mostra que a indústria têxtil é potencialmente poluidora porque a grande maioria dos produtos químicos utilizados é eliminada.

Outro fator importante é a indústria têxtil requerer grandes quantidades de água em seu processamento a úmido (FREITAS, 2002). Sendo o seguimento que leva a formação de grandes volumes de efluentes é o processo de tingimento, que pode ser dividido em três etapas consideradas importantes: a montagem, a fixação e o tratamento final (MAHMOUD, 2006). As etapas de montagem e fixação do corante à fibra são feitas através de reações químicas de insolubilização do corante ou de seus derivados gerados. Entretanto, todo processo de tintura envolve como operação final uma etapa de lavagem em banhos correntes para retirada do excesso de corante original ou corante hidrolisado não fixado nas etapas precedentes (TWARDOKUS, 2004). Esses procedimentos geram um residual, que quando não tratados e dispostos corretamente, causam efeitos danoso ao meio ambiente.

O impacto ambiental causado pelo efluente têxtil se deve, principalmente, à presença de altas concentrações de corantes, resultantes da não fixação à fibra durante o processo de tingimento os quais interferem negativamente no processo de fotossíntese, quando lançado, sem devido tratamento, em corpos receptores (JÚNIOR, 2010).

Guaratini e Zanoni (2000), afirmam que os corantes são altamente detectáveis a olho nu, sendo visíveis em alguns casos mesmo em concentrações tão baixas quanto 1ppm (1mg/L). Este comportamento apresenta vantagens e desvantagens, pois uma pequena quantidade lançada em efluentes aquáticos pode causar uma acentuada mudança de coloração dos rios, mas pode também ser facilmente detectada pelo público e autoridades que controlam os assuntos ambientais.

Outro problema proveniente principalmente da tinturaria, que é pouco discutido no meio científico, é a alta salinidade presente nos efluentes têxteis. Os sais são amplamente utilizados para assegurar a máxima fixação do corante à fibra de celulose, como o cloreto sódio, sulfato de sódio, nitrato de sódio e carbonato de sódio (ISIK, 2004).

Ainda, os corantes sintéticos têm uma estrutura molecular complexa que são resistentes à degradação microbiana, física e química (NANDHINI, et al., 2012). Mesmo

assim, muitos corantes sintéticos e pigmentos são liberados para o meio ambiente, principalmente sob a forma de águas residuais de indústrias têxteis, indústrias de couro e papel causando poluição grave da água (KULKARNI; THAKUR, 2014).

Porém, as indústrias têxteis têm grande dificuldade em tratar eficientemente as águas residuárias geradas em sua complexa cadeia produtiva, particularmente, em relação à remoção de corantes desses efluentes que, mesmo em pequenas quantidades, conferem cor intensa (VASQUES et al., 2011). Sem tratamento adequado desses efluentes, os corantes podem permanecer no meio ambiente por longos períodos (JÚNIOR, 2010).

De uma forma geral, na indústria têxtil os processos de tratamento de efluentes estão fundamentados na operação de sistemas físico-químicos de coagulação-precipitação, seguidos de tratamento biológico via sistema de lodos ativados (MAHMOUD, 2006). Todavia, as substâncias são apenas separadas da fase líquida e permanecem no lodo físico-químico ou no lodo biológico, ou adsorvidas no carvão. Este fato exige um cuidado na disposição ou tratamento posterior desses resíduos (KAMMRADT, 2004).

Além do mais, o tratamento biológico é uma tecnologia de baixo custo, mas certos poluentes apenas são adsorvidos no lodo e não são degradados (SANTOS, 2008), devido à baixa biodegradabilidade dos corantes, tornando os processos convencionais de tratamento biológico dos efluentes têxteis não muito eficientes (VASQUES et al., 2011), fazendo com que a água colorida seja lançada nos corpos d'água receptores (MARCELINO et al., 2013).

Por outro lado, para remoção necessária da matéria orgânica e da cor, para atendimento da legislação ambiental, faz-se necessário a implantação de unidades de tratamento mais caras, tais como floculação-precipitação, adsorção em carvão ativado, evaporação, oxidação química, combinados ou não ao processo biológico. Entretanto, muitas dessas tecnologias somente transferem o corante de fase, não resolvendo essencialmente o problema (MARCELINO et al., 2013).

Diante do conhecimento do perigo potencial que esses efluentes têxteis apresentam para o meio ambiente, faz-se necessário o desenvolvimento de processos alternativos e eficientes de tratamento (MARCELINO et al., 2013). Sendo a alternativa mais adequada a que promove a destruição dos contaminantes, evitando a geração de subprodutos do tratamento, ou que os gere em volume reduzido, com menor toxicidade e, portanto, melhor tratabilidade (KAMMRADT, 2004).

Dessa forma, procura-se uma alternativa que permita, não somente a remoção das substâncias contaminantes, mas sim a sua completa mineralização. Dentre essas alternativas,

os vários processos que geram o radical hidroxila têm sido estudados, geralmente utilizando ozônio, peróxido de hidrogênio, fotocatalise e o Reagente de Fenton (KUNZ et al., 2002).

### **1.3 TRATAMENTO POR PROCESSO FÍSICO-QUÍMICO**

#### **1.3.1 Coagulação-Floculação**

A coagulação é o processo por meio do qual o agente coagulante é adicionado à água, reduzindo as forças que tendem a manter separadas as partículas em suspensão (BONGIOVANI et al., 2010). A etapa de coagulação é realizada em processos de mistura rápida para que o agente coagulante seja rapidamente distribuído por todo o efluente. Os coagulantes mais comuns são sais de ferro ou de alumínio, cal e polímeros orgânicos sintéticos (MARCELINO, 2014), ressaltando a importância de estudos do comportamento dos agentes coagulantes nesta etapa (VAZ, 2009).

Geralmente a primeira etapa do tratamento de efluentes contendo metais pesados é a coagulação química a qual, provavelmente, influencia significativamente as etapas de tratamento subsequentes (VAZ, 2009). Tendo a coagulação um papel fundamental para remover a matéria orgânica não biodegradável, ou seja, a matéria orgânica dissolvida e particulada do lixiviado (ZHAO et al., 2013).

Dentre os coagulantes mais utilizados, temos os sais de alumínio, que são agentes inorgânicos não biodegradáveis que acrescentam elementos químicos à água ou ao lodo. E como principal dificuldade de sua utilização, destaca-se o complexo manuseio do lodo inorgânico gerado, em função do volume elevado e do alto teor de umidade (VAZ et al., 2010).

Os sais de ferro, também são utilizados como agentes coagulantes para tratamento de água e efluentes; reagem neutralizando cargas negativas dos colóides proporcionando a formação de hidróxidos insolúveis de ferro, e, devido à baixa solubilidade dos hidróxidos férricos formados, eles agem sobre ampla faixa de pH (MARTINS et al., 2014).

Hoje se buscam elementos que apresentem eficiência semelhante aos coagulantes inorgânicos e que por sua vez sejam facilmente degradados, como por exemplo, o coagulante orgânico Tanfloc ou elementos que se encontrem prontamente disponíveis na natureza como, solo laterítico (SYAFALNI et al., 2012).

Assim, a coagulação indica que o processo de partículas coloidais e suspensões sólidas muito finas são desestabilizadas, de modo que eles podem começar a se aglomerar, se

as condições são adequadas. Os colóides comumente encontrados em águas residuais são estáveis devido à carga elétrica que carregam. A carga dos colóides pode ser positiva ou negativa (FARAJNEZHAD; GHARBANI, 2012).

Já a floculação refere-se ao processo pelo qual, se desestabiliza as partículas conglomeradas em agregados maiores, de modo que eles podem ser separados das águas residuais (FARAJNEZHAD; GHARBANI, 2012). Esse processo ocorre em condições de agitação mais lenta e depende do desempenho da unidade de mistura rápida (coagulação) e do tempo de agitação (BATISTA et al., 2016). Nesse processo, as partículas sólidas colidem entre si e formam agregados maiores e mais pesados. Os gradientes que produzem tensão cisalhante nos flocos existentes são limitados para que não ultrapassem a capacidade de resistência ao cisalhamento dessas partículas (ALVES, 2012).

Por conseguinte, o melhor desempenho dos processos de coagulação e floculação vai depender da dosagem e a condição ótima para aplicação do coagulante, porque as reações químicas envolvidas no processo são muito rápidas e dependem da energia de agitação, da dose do coagulante, do pH e da alcalinidade da água (SCHMITT, 2011).

Deste modo, o emprego do processo de coagulação e floculação é eficaz na remoção de elevada concentração de poluentes orgânicos, metais pesados, alguns aniões, na redução da cor, demanda química de oxigênio (DQO) e os sólidos suspensos totais (SST), (KURITZA, 2012), e vem sendo proposta, por vários autores, o seu emprego como tratamento, pós-tratamento ou pré-tratamento de efluentes com presença de uma variedade carga de poluentes.

A título de exemplo, Junior e Carrara (2000), obtiveram em seus estudos de tratamento de efluentes de galvanoplastia, uma ótima eficiência de remoção de metais pesados, por meio de tratamento físico-químico de coagulação/floculação, utilizando  $30\text{mg.L}^{-1}$  de cloreto férrico, em pH igual a 10 e 60 minutos de sedimentação, tendo um percentual de 98,97% de remoção de turbidez. Resultados similares foram encontrados por Vaz et al., (2010) com o uso do coagulante inorgânico sulfato de alumínio, sendo os maiores valores na remoção de cor (98,13%) e turbidez (98,78%) foram obtidos empregando a concentração de 40ppm no tempo de sedimentação de 20 minutos.

Fortino (2012), conseguiu em seu estudo de pós tratamento de efluente têxtil, as concentrações ótimas para o processo de coagulação/floculação, onde foram utilizados  $50\text{mg.L}^{-1}$  do coagulante cloreto férrico e  $0,3\text{mg.L}^{-1}$  de floculante, implicando numa redução de 98% de turbidez.

Outro resultado positivo foi encontrado por Hassemer e Sens (2002). Em seus estudos de tratamento de efluente têxtil por coagulação/floculação, eles alcançaram uma



eficiência média de 97% para remoção de cor e 93% para remoção de turbidez para um tempo de decantação de 4 minutos. Para o tempo de decantação de 7 minutos, a eficiência média de remoção de cor foi de 98% e remoção de turbidez de 95%. Para atingir esses resultados, a melhor dosagem do sulfato de alumínio foi  $500\text{mg. L}^{-1}$  e pH 7,27.

Esses resultados mostram que a aplicação do processo físico-químico de coagulação/floculação tem apresentado bom desempenho nas etapas de tratamento de alguns efluentes, sendo um dos processos mais empregados para a remoção de corantes de efluentes têxteis (KIMURA, 2001).

### **1.3.2 Adsorção em Carvão Ativado**

A adsorção é um processo espontâneo e normalmente se considera uma etapa mais lenta, pois a difusão do adsorbato é através dos poros. O processo é acompanhado pela diminuição da energia livre do sistema que tem como resultado a concentração do soluto na superfície do sólido (LAS CASAS, 2004).

Os principais fatores que podem influenciar a adsorção são: a temperatura, a polaridade do solvente, velocidade de agitação, relação sólido-líquido, tamanho das partículas do sólido, concentração inicial do adsorbato, pH da solução, outras espécies competitivas e impurezas na superfície do adsorvente (SCHIMMEL, 2008).

Juntamente com esses fatores, a porosidade dos carvões ativados é um dos aspectos importantes para a avaliação de seu desempenho, além de suas propriedades texturais e natureza química de sua superfície que são responsáveis por sua grande capacidade de adsorção. Pois, na superfície do carvão existem basicamente características químicas ácidas e básicas devido aos grupos funcionais, as quais irão influenciar significativamente a capacidade de adsorção de forma positiva ou negativa dependendo da natureza do adsorbato (CLAUDINO, 2003). Ainda, a estrutura molecular ou a natureza do adsorvente, o tipo e a localização dos grupos funcionais são responsáveis pelo grau de adsorção, ou seja, compostos com diâmetros moleculares menores têm mais facilidade em difundir-se para o interior do sólido e conseqüentemente a adsorção é maior (SAUER, 2006).

Destá forma, existe um grande desenvolvimento nos processos de adsorção, que envolvem a transferência de massa de uma fase fluida para a superfície de um sólido, podendo ser aplicado com grande eficiência e economia no tratamento de efluentes têxteis, onde a adsorção dos corantes pelo sólido poroso envolve o transporte do corante da solução e a difusão das moléculas do corante para os poros do adsorvente (SOARES, 1998). Entretanto,

existe um consenso entre os pesquisadores de adsorção de corantes que a primeira etapa para a investigação do processo de adsorção é a escolha do adsorvente (DOTTO et al., 2011).

Nesse sentido, Las Casas (2004) diz que quando se trata de substâncias solúveis dissolvidas em água, o uso de adsorventes a base de materiais carbonáceos como o carvão ativado, é o mais recomendado e o mais adequado para a remoção de contaminantes, sendo utilizado como pré-tratamento, na eliminação da toxicidade de águas residuárias, pela sua alta capacidade de adsorção e a sua versatilidade.

Um exemplo disso foi encontrado por Koroishi et al., (2000), onde descreveram em seus estudos que para a concentração de 5% de carvão ativo alcançaram uma capacidade de adsorção de aproximadamente 97% do corante reativo, fato pelo qual os autores atribuem ao adsorvente por este possuir uma área superficial muito elevada o que justifica a pequena quantidade necessária para uma boa remoção do corante reativo.

Aguiar (2014), avaliou a adsorção do corante amarelo ouro básico 28 através do carvão ativado modificado química e fisicamente, apresentando melhores resultados de adsorção para o carvão modificado a 450°C, com eficiência de 97,8 % em comparação com a adsorção realizada com o carvão comercial que foi de 91,4%.

Já Maciel (2013), investigou a condição de equilíbrio (quantidade de corante adsorvida por grama de carvão por tempo) para o corante em estudo (azul Royal Dianix CC). O melhor resultado alcançado foi a partir de 150 minutos. O equilíbrio foi atingido rapidamente com valores de capacidade adsorptiva aproximadamente igual a 67,5mg.g<sup>-1</sup>.

Em outro estudo da eficiência do carvão ativado em pó na remoção de cor de uma solução de corante reativo, desenvolvido por Gomes et al., (2013), a taxa máxima de adsorção ocorreu ao utilizar uma massa de adsorvente de 0,5mg. A condição de equilíbrio foi de 22,84mg.L<sup>-1</sup>, resultando em uma remoção de 54,32% do corante presente na solução.

Vale ressaltar que o desempenho do método de adsorção vai depender do tipo de carvão usado e a característica do efluente, ou seja, requer a seleção do sólido adsorvente, cuja análise é realizada a partir do desempenho do adsorvente na remoção do contaminante de interesse (SCHIMMEL, 2008). A capacidade de adsorção de qualquer adsorvente é função da pressão (quando gases) ou da concentração (quando líquidos) e da temperatura (CLAUDINO, 2003).

### 1.3.3 Ozonização

Entre os processos oxidativos avançados, destaca-se a utilização do ozônio, que é capaz de reagir com uma numerosa classe de compostos orgânicos, devido, principalmente, ao seu elevado potencial de oxidação (CARVALHO, 2015).

O ozônio é um gás incolor de odor pungente e com alto poder oxidante ( $E_0 = 2,07$  V), como mostrado na Tabela 2 a seguir. Possui forma triatômica do oxigênio e, em fase aquosa, ele se decompõe rapidamente a oxigênio e espécies radicalares (MAHMOUD; FREIRE, 2007).

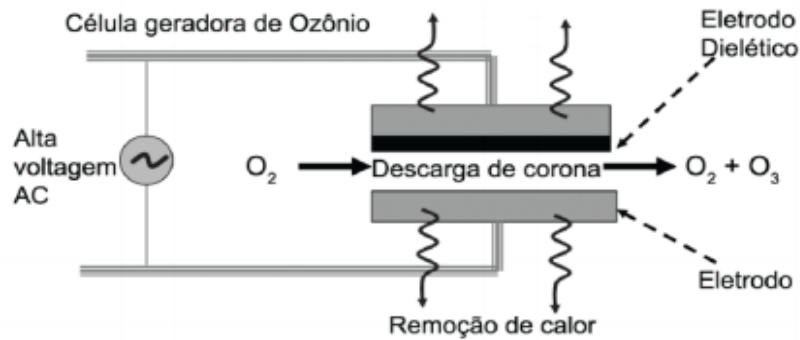
**Tabela 2-**Potenciais de oxidação de alguns oxidantes em água.

Oxidante	Potencial de Oxidação (eV)
•OH	2,80
O( <sup>1</sup> D)	2,42
O <sub>3</sub>	2,07
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	1,77
Radical Peridróxido	1,70
Íon Permanganato	1,67
Dióxido de Cloro	1,50
Cloro	1,36
O <sub>2</sub>	1,23

**Fonte:** CRC HANDBOOK, 1985; apud DEZOTTI, 2008.

O ozônio é oxidante muito poderoso, somente os radicais OH apresentam poder de oxidação maior do que o ozônio (DEZOTTI, 2008). Parcialmente solúvel em água, instável e que evapora à temperatura de  $-112^{\circ}\text{C}$ , à pressão atmosférica. É facilmente detectável em concentrações muito baixas (0,01 a 0,05mg/L). Pode ser produzido a partir de descargas elétricas em meio gasoso (GONÇALVES, 2003).

Segundo Almeida et al., (2004), nos processos de produção do ozônio, que utiliza descarga elétrica (também conhecido por efeito corona) é o mais utilizado pela maioria dos ozonizadores comerciais, principalmente pelo fato de se obter maior taxa de conversão do oxigênio em ozônio. Um esquema de geração de ozônio por efeito corona está representado na Figura 1.



**Figura 1-** Esquema do sistema de geração de ozônio por efeito corona.  
**Fonte:** DEZOTTI, 2008.

No processo de descarga por efeito corona, o oxigênio sofre a ação de uma descarga elétrica de alta voltagem, se decompondo em seus elementos constituintes. O oxigênio atômico gerado é então incorporado por outra molécula de oxigênio, gerando o ozônio (RIBEIRO, 2012), conforme descritos nas equações a seguir (Equação 1 e 2).



A oxidação via ozônio também tem sido estudado há muitos anos e a sua utilização tem sido citada em um número cada vez maior de trabalhos, pois é eficiente na degradação de uma grande variedade de poluentes em fase líquida, remoção de odores em fase gasosa, bem como na aplicação de processos terciários na desinfecção de água e efluentes (MAHMOUD; FREIRE, 2007).

Bassani (2003), no estudo de desinfecção de efluente sanitário por ozônio, informou que a desinfecção por ozônio a uma dosagem de  $4\text{mgO}_3/\text{L}$  e o fator CT de  $0,309\text{mgO}_3.\text{min}.\text{L}^{-1}$  mostrou-se um processo eficiente na remoção de 100% dos microorganismos *Cryptosporidium* e *Giardias* concentrações máximas em que estes microorganismos aparecem no efluente tratado da ETE de lodos ativados.

Já Guimarães et al., (2010), avaliaram a eficiência de remoção de cor do licor negro de uma indústria de celulose e papel, por meio da variação da dosagem específica de ozônio e o tempo de aplicação. No trabalho, os autores observaram que foram necessários diferentes tempos para se atingir a remoção desejada de 80%, sendo estes de 20, 40 e 80 minutos para uma aplicação de  $0,4$ ,  $1,5$  e  $4,3\text{gO}_3.\text{L}^{-1}.\text{H}^{-1}$  respectivamente.

Castro (2016), estudou a degradação do corante azo laranja reativo 16 por ozônio. Em seu trabalho, foi utilizado amostras da solução contendo o corante com concentrações de

25 a 100mg/L. Essas amostras ficaram em contato por até 5 minutos com o ozônio em concentração de 51,09 ( $\pm 0,76\text{mgO}_3/\text{L}$ ) na entrada do reator. Os valores encontrados foram superiores a 97% de remoção de cor.

Momenti (2006), avaliou a eficiência de degradação e remoção de cor do efluente industrial de branqueamento de polpa celulósica, através do ozônio, em diferentes condições de pH. Os tempos de aplicação escolhidos foram de 10, 30, 45 e 60 minutos para as dosagens de ozônio de 257, 770, 1155 e 1540 $\text{mg.L}^{-1}$ . A maior eficiência do processo foi alcançada com uma aplicação de 1540 $\text{mg.L}^{-1}$  de ozônio e 60 minutos de oxidação. A biodegradabilidade teve um acréscimo de 113% em pH neutro e 93% de remoção de cor foi alcançado em pH 3.

Dessa forma, os mecanismos de ação do ozônio em compostos orgânicos ocorrem por reações do ozônio com esses compostos e podem ser divididos em dois tipos: reações diretas, as quais envolvem o ozônio molecular, e reações indiretas, que envolvem reações com os radicais hidroxila OH (GONÇALVES, 2003). As reações de oxidação com o ozônio molecular ( $\text{O}_3$ ) ocorrem em baixo pH e os radicais OH ocorrem em condições de pH mais elevado (TELLES, 2010). O ozônio é um oxidante muito seletivo e de natureza eletrofílica, em contrapartida, os radicais OH são espécies muito reativas, porém com baixa seletividade. Esses diferentes caminhos de reação conduzem a diferentes produtos de oxidação (DEZOTTI, 2008).

Já em condições neutras a ação do ozônio pode ser realizada de forma direta com o ozônio molecular e indireta através da geração do radical hidroxila. Ambos os mecanismos (direto e indireto) podem ser relevantes (GOTTSCHALK et al., 2010).

Outro fator indispensável do ozônio é a sua característica de ser um gás muito instável, o que não deixa residual danoso ao meio ambiente (GONÇALVES, 2003), além do mesmo não poder ser armazenado nem transportado, o que permite ser gerado no próprio local de consumo (LAPOLLI et al., 2003).

Além do mais, por ser termodinamicamente instável, a decomposição do ozônio é catalisada por vários materiais. Em meio aquoso, o principal desencadeador da decomposição do ozônio é o ânion hidroxila ( $\text{OH}^-$ ), sendo que a reação entre  $\text{O}_3$  e  $\text{OH}^-$  induz uma série de reações radicalares que levam à formação do radical hidroxila (BAKALIAN, 2012).

O mecanismo de formação dos radicais compreende das etapas de iniciação, propagação e terminação. A seguir estão representadas as principais etapas de reação indireta do ozônio (GOTTSCHALK et al., 2010).

Na etapa de iniciação, representado pelas Equações (3 e 4), ocorre a reação entre o íon hidroxila e o ozônio formando o ânion radical superóxido  $O_2^-$  e o radical hidroperoxila  $HO_2^\bullet$ , que apresenta um equilíbrio ácido-base.



Na etapa de propagação, ocorre a reação entre o ozônio e o ânion radical superóxido formando o ânion radical ozonóide ( $\bullet O_3^-$ ). O ânion radical superóxido se decompõe rapidamente formando o radical hidroxila como mostram as Equações 5, 6 e 7.



Pode ocorrer a reação do radical  $\bullet HO$  com o ozônio conforme as Equações 8 e 9.



Com a formação de  $HO_2^\bullet$  e  $O_2$  através do consumo de  $HO_4^\bullet$ , a reação em cadeia pode reiniciar.

Na etapa terminação, alguns compostos orgânicos e inorgânicos reagem com o radical hidroxila e formam radicais secundários que não produzem  $O_2^-$  e  $HO_2^\bullet$  atuando como inibidores das reações em cadeia, (Equação 10 e 11).



Outra possibilidade para a etapa de terminação ocorrer é ilustrado pela Equação 12.



Pela combinação destas reações, três moléculas de ozônio produzem dois radicais OH.



Outro mecanismo de decomposição do ozônio em radical hidroxila pode ser obtido a partir de uma mistura de ozônio e peróxido de hidrogênio, na ausência ( $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ ) ou presença de radiação ultravioleta ( $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ), ou simplesmente utilizando-se um meio fortemente alcalino ( $\text{O}_3/\text{pH}$  elevado) (KUNZ et al., 2002).

Assim, no processo de ozonização os compostos podem ser oxidados pelos radicais hidroxilas, pelo ozônio molecular ou pela combinação desses dois agentes oxidantes. A rota da reação irá depender das concentrações de ozônio, dos radicais OH e das cinéticas de reação (TELLES, 2010).

Contudo, o processo de ozonização apresenta-se eficiente, principalmente, na descoloração, remoção de compostos refratários e aumento da biodegradabilidade de diferentes tipos de efluente (ALMEIDA et al., 2004).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O efluente utilizado foi produzido apartir do corante sintético violeta 25 da Fabricante Guarany. Para o preparo da solução foi utilizado 1g (um grama) do corante em 1L (um litro) de água.

A composição do corante direto Violeta 25 da fabricante Guarany e as informações de segurança do produto químico estão mostrados na Tabela 3 a seguir.

**Tabela 3-** Ficha de informação de segurança de produto químico.

<b>FISPQ- Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos</b>	
Caracterização química	Cloreto de sódio, azo corante/ Corante Estilbeno e Dispersante
Risco para a saúde	Irritante para os olhos e trato respiratório
Toxicidade	A DL50 oral para ratos é > 2,0 g/kg

\*DL50- Dose letal que mata 50% da população em estudo.

Fonte: FISPQ Guarany, 2016.

A análise da eficiência dos processos físico-químicos empregados para remoção de cor do corante sintético foi efetuada com o subsídio do espectrofotômetro UV-Vis da marca Quimis e modelo Q898DRM5. Para determinação da curva de calibração, foi feito uma varredura espectrofotométrica em todos os comprimentos de onda para conhecer o pico de maior absorbância do corante, ou seja, o comprimento de onda em que o corante absorve mais luz no espectrofotômetro. O comprimento de onda utilizado para leitura da concentração do corante foi de 560nm.

Todas as análises e procedimentos empregados para realização desse estudo foram realizados no Laboratório de Saneamento, Laboratório de Química Ambiental e Laboratório de Microbiologia Ambiental do Departamento de Engenharia Ambiental-Campus de Ji-Paraná – UNIR e estão descritos a seguir.

### 2.1 COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO

Os ensaios de coagulação/floculação foram efetuados por meio do equipamento Jar Test JT 102 série 1709/156 contendo três jarros com capacidade de 2L cada (Figura 2). A



movimentação do fluido é proporcionada por agitadores do tipo pás que são controlados por um regulador de rotações que varia de 0 a 260rpm.

Para o ensaio, foram utilizados os coagulantes inorgânico cloreto férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) e sulfato de alumínio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ), com concentração de 250mg/mL. Nessa etapa, determinou-se a dosagem ótima dos coagulantes e o pH ideal para a reação. A eficiência desse processo foi obtida pela homogeneidade da mistura e a formação de flocos, que ocorre com a aglomeração dos colóides.



**Figura 2-**Jar Test JT 102 série 1709/156

Fonte: TECNAL.

A dosagem dos coagulantes e a variação do pH estão apresentados nas Tabelas 4 e 5 a seguir.

**Tabela 4-** Dosagem dos coagulantes.

Coagulante	Dosagem ( $\text{mg. L}^{-1}$ )			
Cloreto Férrico	10	20	40	80
Sulfato de Alumínio	10	20	40	80

**Tabela 5-** pH

Coagulante	pH						
Cloreto Férrico	4	5	6	7	8	9	10
Sulfato de Alumínio	4	5	6	7	8	9	10

As correções de pH das amostras foram realizadas com auxílio das soluções de hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ ) e ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) previamente preparadas em

concentração de  $400\text{g.L}^{-1}$ . Os valores de pH foram obtidos por meio de um pHmetro de bancada da marca Hanna modelo HI 3512.

Para execução do ensaio de coagulação, foi inserido um volume padrão de 1L do efluente em cada jarro, variando-se a concentração dos coagulantes e do pH conforme mostrado nas Tabelas 4 e 5, respectivamente. Essa etapa foi importante para averiguar o efeito dos coagulantes e a melhor faixa de pH sobre o efluente analisado, ou seja, saber qual é a melhor condição do processo para desestabilizar as partículas em suspensão. As amostras foram submetidas à agitação rápida (80rpm) por um intervalo de tempo de 5 minutos.

Subsequente ao processo de coagulação, que desestabilizou as partículas coloidais, as amostras foram submetidas ao processo de floculação. Esse processo ocorreu sob agitação lenta (30rpm) por 15 minutos para formação dos flocos. Posterior a isso, as amostras ficaram em repouso por 30 minutos para sedimentação dos flocos formados, em seguida coletaram-se alíquotas para análise de remoção de cor.

## 2.2 CARVÃO ATIVADO

O adsorvente utilizado foi o carvão ativado em pó da marca Dinâmica. Suas características estão apresentadas na Tabela 6 a seguir.

**Tabela 6-** Características físicas do Carvão ativado em pó.

<b>Características do Carvão Ativado em Pó</b>	
Diâmetro médio de poros	25,31Å
Volume dos poros	$0,285\text{cm}^3.\text{g}^{-1}$
Área superficial	$860\text{m}^2.\text{g}^{-1}$
Densidade real (imerso em água)	1,25 – 1,35g/cm <sup>3</sup>
Gravidade específica	2,11
pH	6,5 – 10,0

A cinética de adsorção do adsorvente foi realizada em uma mesa agitadora da marca Quimis modelo Q225H (Figura 3), na qual 200mL das soluções aquosas contendo o corante foram colocadas em erlenmeyers de 250mL contendo 0,005g; 0,01g; 0,02g e 0,04g (massa seca) de adsorvente. As amostras foram mantidas sob agitação a 200rpm por um período de até 105 minutos, sendo retirados alíquotas de 10mL a cada 15 minutos. Os ensaios foram realizados sob temperatura ambiente.

Após os tempos de agitação, as amostras foram retiradas e filtradas em membranas com tamanho dos poros de  $0,45\mu\text{m}$  para separar o adsorvente do adsorvato e posterior leitura da absorbância para análise de remoção de cor.



**Figura 3-** Mesa agitadora modelo- Q225H.  
**Fonte-** QUIMIS.

### 2.3 OZONIZAÇÃO

O gerador de ozônio utilizado para os ensaios é da marca Vigor modelo A81 com capacidade de geração, conforme o fabricante, de  $200\text{mg}\cdot\text{h}^{-1}$  com ar atmosférico, porém foi realizada a aferição, conforme o procedimento a seguir.

A quantidade de ozônio produzida foi medida através do borbulhamento direto de ozônio em uma solução de iodeto de potássio (KI) 2% por 2 minutos. A reação para a determinação quantitativa de ozônio consiste na liberação do iodo ( $\text{I}_2$ ) na solução de iodeto de potássio. Nesta reação, o elemento ativo é o oxigênio atômico liberado pela molécula de ozônio, que se reverte em oxigênio molecular. A reação de oxidação do iodeto de potássio pelo ozônio é dada pela Equação 14.



Para garantir o deslocamento da reação para a produção de  $\text{I}_2$  é necessário acidificar o meio com 10mL de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 2N para reduzir o pH abaixo de 2, assim realiza-

se a titulação com tiosulfato de sódio,  $S_2O_3^{2-}$  padronizada a 0,1N. A reação de oxidação dos íons tiosulfato pelo iodo produz o tetrionato conforme (AWWA, 2005), dada pela Equação 15 abaixo.



Para determinar a massa de  $O_3$  em mg, calcula-se a partir da Equação 16.

$$O_3 = V \times N \times 24 \quad (16)$$

Onde:

V é a média do volume titulado em ml

N é a normalidade do tiosulfato de sódio em  $mg.mEq^{-1}$

24 é o fator de conversão.

No gerador ocorre a formação do ozônio, o qual é direcionado para uma coluna constituída por um difusor microporoso formador de bolhas que permite o contato do ozônio com efluente a ser tratado. A produção do ozônio é realizada pela descarga de efeito corona, que consiste em aplicar uma corrente elétrica em um fluxo de ar com uma vazão de alimentação  $1L.min^{-1}$ .

Para a aplicação do ozônio, foram utilizados 70mL da solução contendo o corante para cada ensaio em um frasco lavador de gases de 125mL, conforme a Figura 4 abaixo, onde a concentrações de ozônio era determinada a partir do tempo de contato do mesmo com o fluido. Após cada tempo de contato, coletou-se 3mL de cada amostra para análise de remoção de cor.



**Figura 4**-Esquema representativo do conjunto gerador de ozônio e frasco lavador de gases.

As melhores condições de ozonização foram avaliadas pelo tempo e o pH das amostras que estão mostrados na Tabela 7. Todos os ensaios foram realizados à temperatura ambiente (25-27°C).

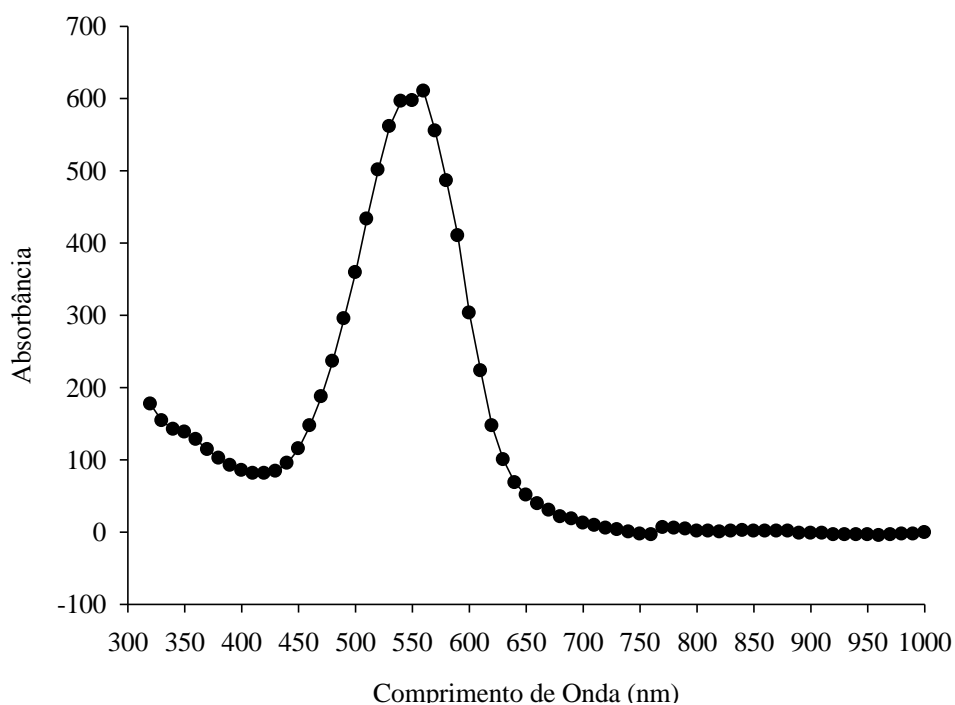
**Tabela 7-** Tempo de Ozonização em função do pH das amostras.

pH		Tempo de Ozonização (minutos)									
4	n.d.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
7	0,5	1	2	3	4	5	6	n.d.	n.d.	n.d.	
Natural	0,5	1	2	3	4	5	6	n.d.	n.d.	n.d.	
10	n.d.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

\*n.d. Não determinado.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação dos processos físico-químico de coagulação/floculação, carvão ativado e ozonização, foram realizados com o objetivo de analisar a capacidade de remoção de cor do corante sintético violeta 25 dentro das condições ideais de operação de cada sistema. As análises para identificação da eficiência de remoção de cor foram subsidiadas através da leitura da absorbância no espectrofotômetro em comprimento de onda de 560nm mostrado na Figura 5 a seguir.



**Figura 5-**Varredura do comprimento de onda do corante no espectrofotômetro.

A efetividade da remoção da cor foi avaliada por um padrão espectrofotometricamente permitido, apresentado por Cooper (1993), o qual pode ser usado para controlar a diluição do corante nas águas dos rios, Apud (MENDES et al., 2015).

A escolha do corante se deu pelo fato do mesmo ser utilizado pela população no tingimento de seus tecidos, devido seu baixo custo, além do lançamento dos seus rejeitos, para os corpos receptores em forma de águas residuárias, ocorrerem sem nenhum tratamento prévio.

O efluente bruto apresentou pH natural variável de 6,5 ( $\pm 1$ ) próximo à neutralidade. Todos os ensaios foram realizados em temperatura ambiente (25-27°C). Os resultados encontrados das análises são apresentados e discutidos a seguir.

### 3.1 ENSAIO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO

Nos ensaios de coagulação/floculação foram buscados a concentração ótima e pH ideal para cada coagulante em estudo, para assim aprimorar as condições de melhor eficiência durante a operação desse processo.

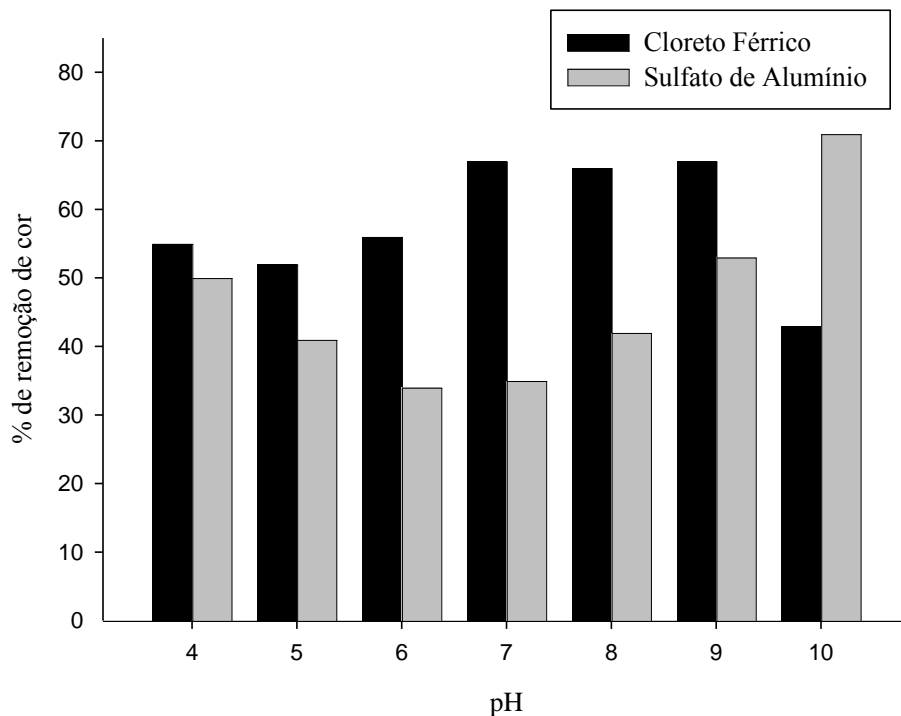
#### 3.1.1 pH ideal

Para determinar o pH ideal no processo de coagulação/floculação foram feitos testes de jarro com volume de 1L da solução de corante e uma dosagem fixa de  $10\text{mg.L}^{-1}$  dos coagulantes cloreto férrico e sulfato de alumínio, variando o pH das amostras de 4 a 10. Essa etapa é muito importante para avaliar o desempenho dos coagulantes em função do pH, pois para que ocorra o processo de coagulação e floculação é necessário haver a hidrólise do agente coagulante, que acontece em pH específico para cada coagulante, otimizando a remoção de elementos dissolvidos na massa líquida (ALBUQUERQUE, 2009).

Na Tabela 8 estão apresentados os resultados obtidos em concentração ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) e a Figura 6 representa o percentual de remoção de cor do corante sintético Violeta 25 nas diferentes faixas de pH.

**Tabela 8-** Concentração do corante ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) após o processo de coagulação/floculação com aplicação dos coagulantes cloreto férrico e sulfato de alumínio em diferentes faixas de pH.

pH	Cloreto Férrico	Sulfato de Alumínio
Bruto	1000	1000
4	447	504
5	483	586
6	440	661
7	330	645
8	335	583
9	332	474
10	567	292



**Figura 6**-pH ideal dos coagulantes Cloreto Férrico e Sulfato de Alumínio no processo físico-químico de coagulação/ Floculação.

O cloreto férrico apresentou melhores resultados, no que se refere à remoção de cor, em pH 7, 8 e 9, sendo a concentração do corante passando de  $1000\text{mg.L}^{-1}$  para 330, 335 e  $332\text{mg.L}^{-1}$ , respectivamente, expressando um percentual de 67, 66 e 67% aproximadamente.

Já o sulfato de alumínio mostrou um comportamento mais discrepante, tendo menor eficácia em pH 6 e 7 com redução da concentração do corante de  $1000\text{mg.L}^{-1}$  para  $661$  e  $645\text{mg.L}^{-1}$ , representando um percentual de 34 e 35% de remoção de cor. O melhor desempenho do coagulante foi em pH 10 onde a amostra atingiu, após a aplicação do processo de coagulação/floculação, concentração do corante de  $292\text{mg.L}^{-1}$  e eficiência 71% de remoção de cor.

Dessa forma, os resultados encontrados no presente estudo, para o processo de coagulação floculação, apresentou comportamento similar que podem ser comparados com trabalhos realizados por outros autores, sendo condizente com o que foi evidenciado por Spinelli (2001), que o cloreto férrico produz bons flocos na faixa de pH entre 5,0 a 11,0 e próximo com o que foi encontrado por Martins (2015) que avaliou a eficiência de diferentes agentes coagulantes no tratamento de efluentes industriais, sendo o sulfato de alumínio o que apresentou maior formação de coágulos em meio mais alcalino, em pH de 8,0 a 9,0.



Em contrapartida, em outro estudo realizado por Costa et. al., (2013), foram obtidos resultados distintos do presente trabalho, sendo o melhor pH que, no tocante à redução de cor e poluentes orgânicos e inorgânicos de um efluente têxtil, foram os próximos de 3,64 para o tratamento com sulfato de alumínio e 2,47 para tratamento com cloreto férrico com eficiência mínima de 85% remoção de cor.

Assim, vale ressaltar que os coagulantes possuem uma faixa de pH específica de operação que deve ser rigorosamente seguida para que o processo de coagulação ocorra de modo eficaz, pois um pH inadequado provoca ineficiência nesta etapa e aumenta os custos operacionais em uma Estação de Tratamento (SILVA, 2009).

Dessa forma, o pH é um fator muito importante nos processos de coagulação/floculação, mas que a eficiência do coagulante como agente de aglomeração de impurezas pode variar se aplicado em meio ácido, neutro ou básico, visto que a complexidade das características dos líquidos sujeitados aos tratamentos é que vão definir o pH do meio (BASSANI, 2010).

### **3.1.2 Concentração ideal**

Após a determinação do pH, foram realizados os testes da melhor dosagem para cada coagulante estudado. As dosagens dos coagulantes foram de 10, 20, 40 e 80mg.L<sup>-1</sup> para o respectivo pH ideal igual a 7 (para o cloreto férrico) e pH 10 (para o sulfato de alumínio) determinados na etapa anterior. A escolha do pH 7 para o coagulante cloreto férrico, visto que em pH 9 também apresentou bom resultado, se deu pelo fato de ser um pH próximo ao encontrado no efluente bruto, promovendo assim uma economia de reagentes para o ajuste de pH. Ainda, para o descarte de um efluente ser adequado o valor de pH compreende-se próximo do neutro (pH 7), uma vez que o ajuste de pH acarreta em acréscimo nos custos para a liberação do efluente tratado, por exigir uma correção antes de estar apto a liberação nos cursos d'água (MAURO, 2016).

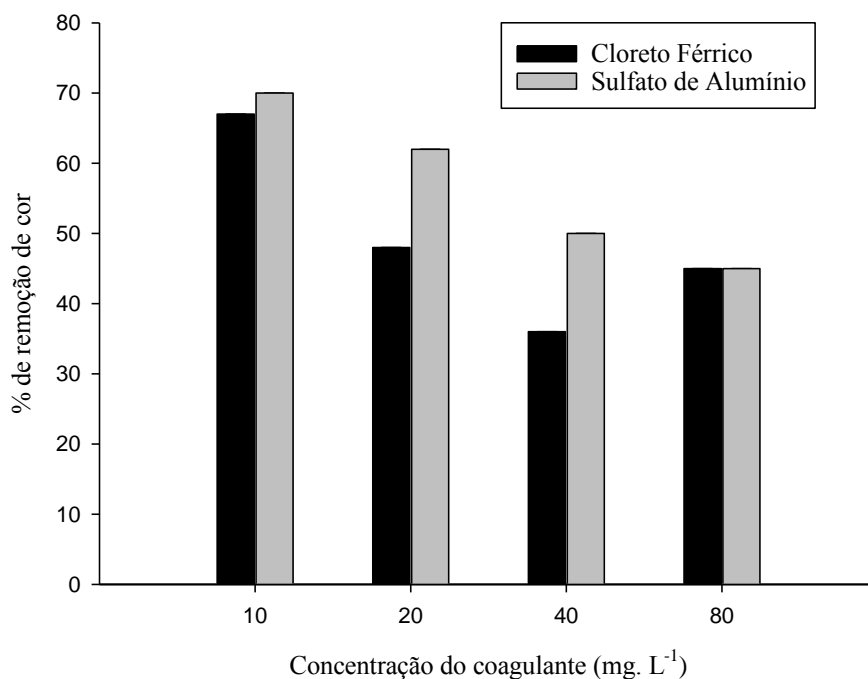
Em consequente, Fortino (2012) afirma que o tipo e a dosagem ideal de coagulante são definidos em função principalmente da viabilidade econômica e características do efluente. Por esse motivo, testes de coagulação são extensivamente usados para determinar as dosagens químicas ótimas no tratamento, uma vez que se tem menor custo de material coagulante, com praticamente a mesma faixa de remoção.

Outro fator, mencionado por Beltrame (2000), que pode interferir no processo de coagulação é a turbidez, quanto maior a turbidez, menor será a dose de coagulante, devido a maior possibilidade de choque.

Assim, a eficiência de descoloração pelo processo físico-químico de coagulação e floculação foi em função da concentração dos coagulantes e a variação do pH. Os resultados encontrados nesse estudo estão apresentados a seguir, na Tabela 9 (remoção da concentração do corante) e Figura 7 (percentual de remoção de cor).

**Tabela 9-** Concentração do corante ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) após o processo de coagulação/floculação com aplicação de diferentes dosagens dos coagulantes cloreto férrico e sulfato de alumínio.

Dosagem ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Cloreto Férrico	Sulfato de Alumínio
Bruto	1000	1000
10	330	297
20	519	376
40	640	497
80	552	546



**Figura 7-** Concentração ideal do coagulante Cloreto Férrico e Sulfato de Alumínio no processo físico-químico de coagulação/Floculação.

O comportamento do cloreto férrico apresentou-se bem peculiar quanto à sua dosagem, resultando numa máxima redução da concentração do corante de  $1000\text{mg.L}^{-1}$  para  $330\text{mg.L}^{-1}$  com a dosagem mínima de  $10\text{mg.L}^{-1}$  usada nesse estudo, apresentando uma

eficiência de 67% remoção de cor da amostra. Essa eficiência foi diminuída à medida que se aumentou a concentração do coagulante para 20 e 40mg.L<sup>-1</sup> com redução da concentração do corante para 519 e 640mg.L<sup>-1</sup> e eficiência de remoção de cor de 48 e 36% respectivamente. A maior dosagem do coagulante proporcionou uma redução de 45% de remoção de cor do efluente sintético.

Esses resultados apresentam divergência com os encontrados por Freire e Freitas (2010), que atingiu bons resultados na remoção de cor do efluente sintético, em concentração de 1ml.L<sup>-1</sup>, com aplicação do processo de coagulação e floculação utilizando o cloreto férrico. Nesse processo, o melhor resultado foi alcançado com a concentração de 40mg.L<sup>-1</sup> do agente coagulante resultando em uma eficiência de 99% de remoção de cor.

A menor concentração do corante obtida pelo sulfato de alumínio foi alcançada com uma dosagem de 10mg.L<sup>-1</sup> do coagulante. A amostra apresentava inicialmente uma concentração de 1000mg.L<sup>-1</sup>, após o processo de coagulação/floculação atingiu uma concentração de 297mg.L<sup>-1</sup>, totalizando um percentual de remoção de cor de 70% como mostrado na tabela 7 e figura 6. À medida que se aumentava a dosagem do coagulante para 20, 40 e 80mg.L<sup>-1</sup>, menores valores de remoção de cor eram alcançados, perfazendo um percentual de 62, 50 e 45%, respectivamente.

Segundo Vaz (2009), quando o cloreto férrico é adicionado em excesso ao meio, parte não participa da reação de coagulação/floculação, ficando este em solução e aumentando os valores dos parâmetros cor e turbidez. Tal situação que pode ter ocorrido com coagulante sulfato de alumínio, pois apresentou maior eficiência de remoção de cor com a menor dosagem utilizada nesse estudo.

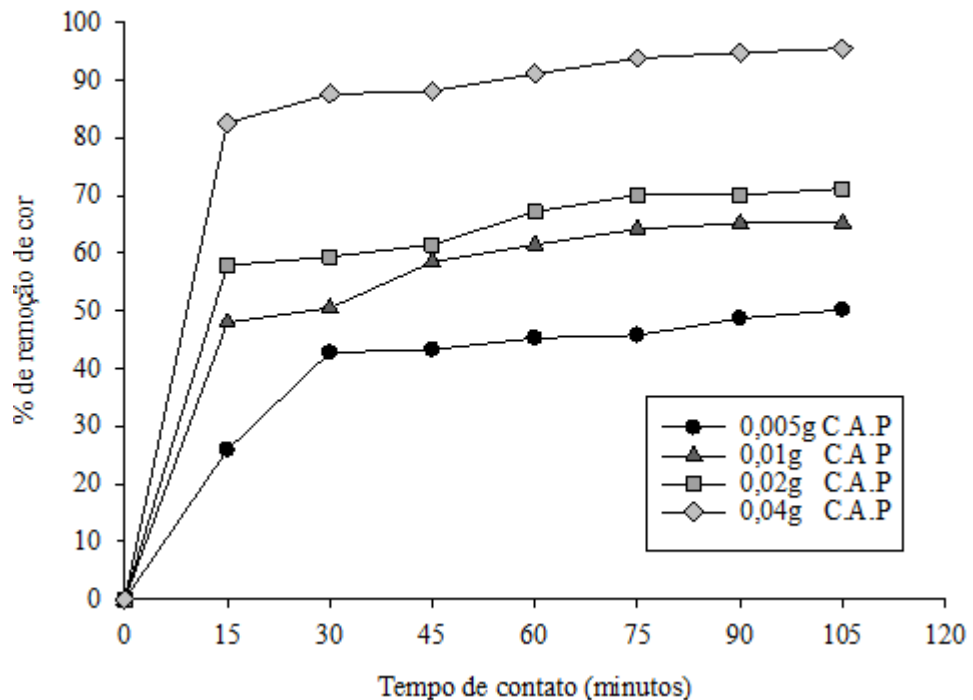
### **3.2 ENSAIO COM O CARVÃO ATIVADO**

A adsorção do corante pelo carvão ativado foi avaliada pela aplicação de diferentes dosagens do adsorvente de 0,005g, 0,01g, 0,02g, 0,04g em contato com o corante em concentração fixa de 1000mg.L<sup>-1</sup> em diferentes tempos de contato, sendo este de 15 à 115 minutos com intervalos de 15 minutos. Nessa etapa, não foi corrigido o pH, sendo o utilizado o natural da solução do corante. A escolha do carvão ativado em pó foi subsidiada pelas características do adsorvente, ou seja, sua capacidade de adsorção relacionada com as dimensões das moléculas do adsorvato.

Durante os ensaios foram avaliados o comportamento do processo de adsorção do carvão ativado em pó em diferentes concentrações e tempos de contatos. Os resultados encontrados no presente estudo apresentaram relação entre a quantidade de adsorvente utilizada e o tempo de contato com o adsorvato. Os resultados estão ilustrados na Tabela 10 e Figura 8 a seguir.

**Tabela 10-** Concentração do corante ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) após o processo de adsorção em função do tempo de contato em diferentes massas de carvão ativado em pó.

Tempo (min)	0,005g	0,01g	0,02 g	0,04 g
Bruto	1000	1000	1000	1000
15	741	520	421	174
30	572	495	406	124
45	567	415	385	119
60	547	385	328	89
75	542	358	299	62
90	513	348	299	52
105	498	348	288	45



**Figura 8-** Percentual de remoção de cor pelo processo de adsorção em função do tempo de contato em diferentes massas de carvão ativado em pó.

A menor quantidade de corante removida pelo processo foi verificado com aplicação de 0,005g do adsorvente com 15 minutos de contato, resultando numa concentração de equilíbrio igual a  $741\text{mg.L}^{-1}$  e eficiência de 26% remoção de cor. À medida que se aumentava o tempo de contato, maior eficiência era alcançada, sendo o valor máximo encontrado após 105 minutos de contato e 0,005g do adsorvente foi de concentração de equilíbrio de  $498\text{mg.L}^{-1}$  e 50% de remoção de cor.

Comportamento similar sucedeu com as demais massas de carvão ativado. Com a utilização de 0,01g e 0,02g de adsorvente, a concentração de equilíbrio após 15 minutos de contato foram de  $520$  e  $421\text{mg.L}^{-1}$ , resultando num percentual de remoção de cor de 48 e 58%, respectivamente. Após 105 minutos de contato, a concentração de equilíbrio do corante decresceu para  $348$  e  $288\text{mg.L}^{-1}$  com percentual de remoção de cor de 65 e 71%, respectivamente. Transcorrido 75 minutos de contato do adsorvente com o adsorvato, o sistema começou a entrar em equilíbrio, ou seja, o carvão ativado começou a saturar, diminuindo a sua capacidade de adsorver as partículas do corante.

O comportamento observado ocorre porque a remoção aumenta enquanto houver sítios ativos livres na superfície do carvão. Após determinado tempo de contato, os sítios ativos estarão, em sua maioria, ocupados pelo corante, levando à saturação do adsorvente (FERREIRA, 2013).

O melhor resultado foi observado com a aplicação de 0,04g de adsorvente que após o tempo mínimo de contato, a concentração de equilíbrio do corante foi de  $174\text{mg.L}^{-1}$  e 83% de remoção de cor. Esse sistema começou a apresentar indicações de saturação após seguidos 75 minutos, com diferença apenas de 2% comparado com o tempo máximo de contato, que foi de 105 minutos e 96% de remoção de cor.

Wang & Zhu (2007), apontam que os carvões ativados apresentam um comportamento da cinética de adsorção semelhante para diferentes tipos de corantes. A adsorção dos corantes é rápida nos primeiros minutos de contato com o carvão ativado e então fica lento e estagna com o decorrer do tempo de contato.

Ferreira (2013), realizou um estudo para determinar o tempo de adsorção para o carvão ativado com intuito de remover maior percentual do corante Amarelo Tetrazina. Para este estudo, foram utilizados diferentes massas de carvão ativado em 100mL de solução do corante em concentração de  $400\text{mg.L}^{-1}$ . As amostras ficaram sob agitação por tempos determinados. O maior percentual de remoção de cor foi atingido com a utilização de 2,5g de carvão ativado durante 210 minutos de contato com o adsorvato, compreendendo em 86,4% de remoção de cor.

Schimmel (2008), avaliou a cinética de adsorção do carvão ativado para os corantes azul 5G e azul turquesa QG em relação ao pH e temperatura. A concentração inicial dos corantes foram  $500\text{mg.L}^{-1}$  para o corante Azul 5G e  $600\text{mg.L}^{-1}$  para o corante Azul Turquesa QG. O processo de adsorção teve um melhor desempenho nas condições de pH 2 e temperatura de  $30^{\circ}\text{C}$ . A quantidade removida foi de  $140,48\text{mg.g}^{-1}$  para o corante azul 5G e  $148,54\text{mg.g}^{-1}$  para o corante azul turquesa QG.

Ody (2014), estudou a capacidade de adsorção do carvão ativado na remoção dos corantes Acid Black 210 e Alaranjado G sob influencia do pH, o tempo de adsorção e a concentração do sólido adsorvente. Para o corante Acid Black 210, o resultado foi muito baixo, sendo inviável a aplicação desse processo. Já para o Alaranjado G, partindo-se de 100mL de uma solução de 50ppm de corante, foi possível atingir uma eficiência de remoção de 96% nas condições de pH 2, tempo de 120 minutos e 1,5g de massa de carvão.

Dessa forma, é possível estimar a concentração de sólidos a ser utilizada para remoção de determinada concentração de corante, melhorando o desempenho do processo dentro das condições ideais de operação.

### 3.3 ENSAIO COM O OZÔNIO

Os ensaios com aplicação do ozônio foram realizados com o objetivo de analisar a sua eficiência na remoção de cor do corante sintético violeta 25 em diferentes condições de pH e seu respectivo tempo de contato. Para os ensaios foram utilizados 70ml da solução de corante com concentração de  $1000\text{mg.L}^{-1}$ . Nos ensaios com pH 4 e pH 10, as amostras ficaram em contato com o ozônio em intervalos de 1 a 9 minutos (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9), para o pH 7 e pH natural, os tempos de contato foi 0,5 a 6 minutos (0,5, 1, 2, 3, 4, 5 e 6). Em todos os ensaios, a concentração de ozônio na entrada da coluna de ozonização foi de  $130\text{mgO}_3.\text{H}^{-1}$ .

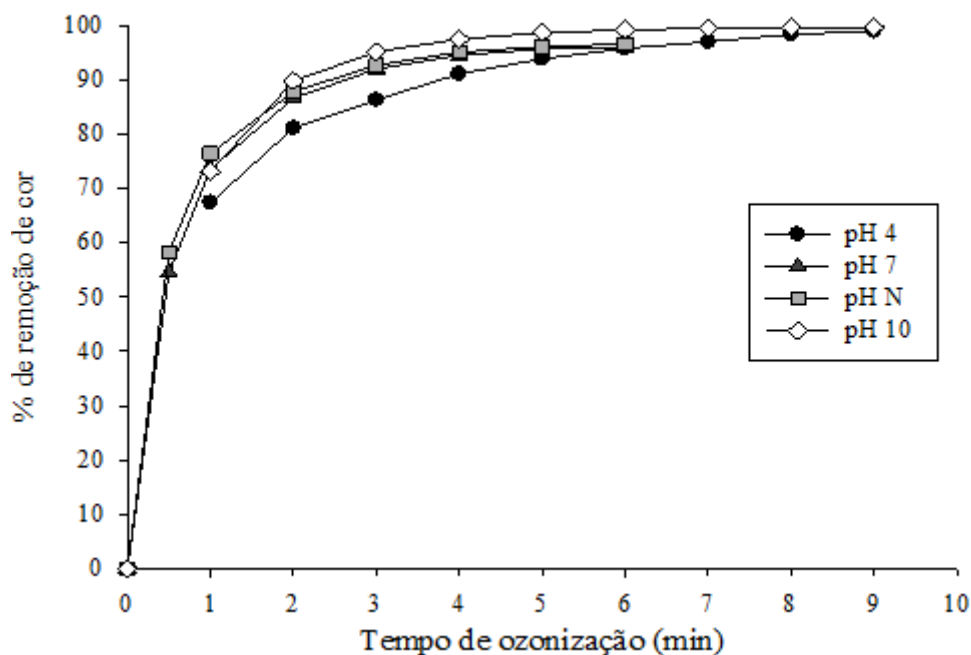
Como pode ser observado na Tabela 11 a seguir, a eficiência do ozônio na remoção da concentração do corante mostrou-se muito eficiente em todas as faixas de pH. Essa eficiência aumentava em função do tempo de contato do ozônio com o corante, sendo os melhores resultados alcançados em maiores tempos de reação. O pH também foi um fator relevante, apresentado os melhores resultados de remoção de cor em meio alcalino.

**Tabela 11-** Concentração do corante após aplicação do ozônio ( $\text{mg. L}^{-1}$ ) em diferentes faixas de pH e tempo de contato.

Tempo (min)	O <sub>3</sub> ( $\text{mg. L}^{-1}$ )	pH 4	pH 7	pH N	pH 10
0	Bruto	1000	1000	1000	1000
0,5	15,47	n.d.	431	417	n.d.
1	30,95	326	264	235	269
2	61,90	189	134	122	102
3	92,85	137	80	73	48
4	123,80	89	55	49	25
5	154,75	61	43	39	13
6	185,70	42	39	34	8
7	216,65	30	n.d.	n.d.	5
8	247,60	16	n.d.	n.d.	3
9	278,55	11	n.d.	n.d.	3

\*n.d. Não determinado.

O efeito do ozônio variou conforme o pH, onde nos primeiro 2 minutos de reação, com aplicação de  $61,90\text{mgO}_3\cdot\text{L}^{-1}$  já houve uma redução na cor das amostras acima de 80% mostrando sua efetividade mesmo em baixas dosagens, atingindo quase 90% de remoção de cor em pH 10, o qual, em meio alcalino, tem mostrado maior eficiência em todos os ensaios, como mostrado na Figura 9 abaixo.



**Figura 9-** Percentual de remoção de cor pelo processo de ozonização em função do pH em diferentes tempos de contato.

Em meio ácido, valores superiores a 90% de remoção de cor foram atingidos após 4 minutos de contato com aplicação de  $123,80\text{mgO}_3\cdot\text{L}^{-1}$ , reduzindo a concentração do corante de  $1000\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  para  $89\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . Segundo Telles (2010), no processo de ozonização ocorrem dois tipos de reações de oxidação, a reação direta e indireta. A reação direta ocorre em pH ácido, favorecendo a oxidação via ozônio molecular, que é mais seletivo.

Em condições de pH 7 e pH Natural, as amostras apresentaram comportamento similar com mais de 50% de remoção de cor com aplicação de  $15,47\text{mgO}_3\cdot\text{L}^{-1}$  em apenas 0,5 minutos de contato com corante. Os maiores valores encontrados foram com a aplicação da dosagem máxima de  $185,70\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de ozônio em um tempo de 6 minutos de contato, reduzindo mais de 96% da cor, com apenas uma diferença de 0,5% para ambos os pHs. Resultado similar foi encontrado por Castro (2016), onde ao autor investigou a eficiência do ozônio na remoção de cor do corante azo reativo laranja 16. Nesse estudo, valores superiores a 97% de remoção de cor foram atingidos em até 5 minutos de ozonização para concentrações de até  $100\text{mgO}_3\cdot\text{L}^{-1}$ .

Já em meio alcalino, o processo se mostrou mais eficiente com quase 100% de remoção de cor para um tempo de contato de 8 minutos. Nessas condições, com uma dosagem de  $247,60\text{mgO}_3\cdot\text{L}^{-1}$  o corante reduziu de  $1000\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  para  $3\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ .

A efetividade do ozônio na descoloração ocorre por que o ozônio é empregado em primeiro momento para quebrar as moléculas de corantes, em seguida, ele atua no processo de descoloração dos efluentes (HASSEMER; SENS 2002).

Trevizani (2015), avaliou a eficiência de remoção de um corante azo-reativo (Vermelho BR) pelo processo de ozonização em variações de pH e concentração inicial do corante para duas soluções: solução aquosa acrescida de corante que foi chamada de solução 1 e solução de efluente sintético acrescido de corante chamada de solução 2. Para tal, os ensaios foram realizados em pH 4, pH 7 e pH 10 e a concentração inicial do corante foi de 50, 100 e  $150\text{mg/L}$ . As melhores eficiências de remoção foram de 98% para ambas soluções ozonizadas. Para a solução 1 ocorreu em 60min e pH igual a 10 e concentração inicial de  $50\text{mg/L}$ . Para solução 2 ocorreu em 120min em pH igual a 4 e concentração de  $50\text{mg/L}$ .

Eficiência satisfatória também foi encontrada por Guimarães et al., (2010) em seu estudo de ozonização em meio básico para redução de cor do licor negro de indústria de celulose de algodão. O autor justifica que a redução da cor do efluente pela ozonização em meio básico, certamente, além da degradação dos grupos cromóforos, podem ter acontecido com as modificações estruturais nas moléculas dos componentes do efluente, aumentando a



biodegradabilidade. Ainda, o consumo de ozônio é 1,6 vezes menor para redução de cor do efluente desejada quando se utiliza ozonização em meio básico.

Experimento com ozônio também foi empregado por Muhammad et al., (2008). Em seus estudos foram avaliados o tempo de exposição do ozônio com o efluente de banho de tintura têxtil e o grau de remoção de DQO, cor e DBO. O experimento foi realizado a um pH constante de 6,2. Foi aplicado uma dose de ozônio (5% de concentração) com fonte de oxigênio de  $1,5\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ . Os resultados encontrados apresentaram ser bastante promissores, com percentual de remoção de 75% de DQO, 95% de cor e 85% de DBO com 25 minutos de aplicação do ozônio. Segundo os autores, a remoção de DQO, cor e DBO aumentaram inicialmente com o tempo de exposição à ozonização de 25 minutos e posteriormente não se alterou sensivelmente, podendo ser explicado pelo fato de que alguns compostos orgânicos serem mais susceptíveis à oxidação que outros, enquanto que outros são apenas parcialmente oxidados.

Guendy (2007), avaliou a influencia do pH, da concentração de corante, da dosagem do ozônio e o tempo de contato para remoção dos corantes Reactive Violet e Direct Pink. Nesse estudo, foi observado que a quantidade de ozônio variou de 2000 a menos de 5000mg para as concentração inicial de corante entre 40 a  $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  e um tempo de contato de 2 e 7 minutos respectivamente, mostrando que a concentração do corante aumenta, a dosagem e o tempo necessário para a descoloração também aumenta para ambos os corantes. Outro fator considerado foi o pH. Para o corante Reativo o pH mais baixo, meio ácido (pH de 3 a 5), apresentou-se mais favorável, pois a quantidade de ozônio e tempo de ozonização são inferiores do que em meio alcalino. Enquanto que no caso de Direct Pink o pH adequado foi encontrado em meio alcalino (pH de 7 a 10).

Vale ressaltar que as duas principais fases da reação em meio aquoso são a decomposição do ozônio que depende do pH e a oxidação da matéria orgânica pelos radicais hidroxila (MAHMOUD; FREIRE, 2007).

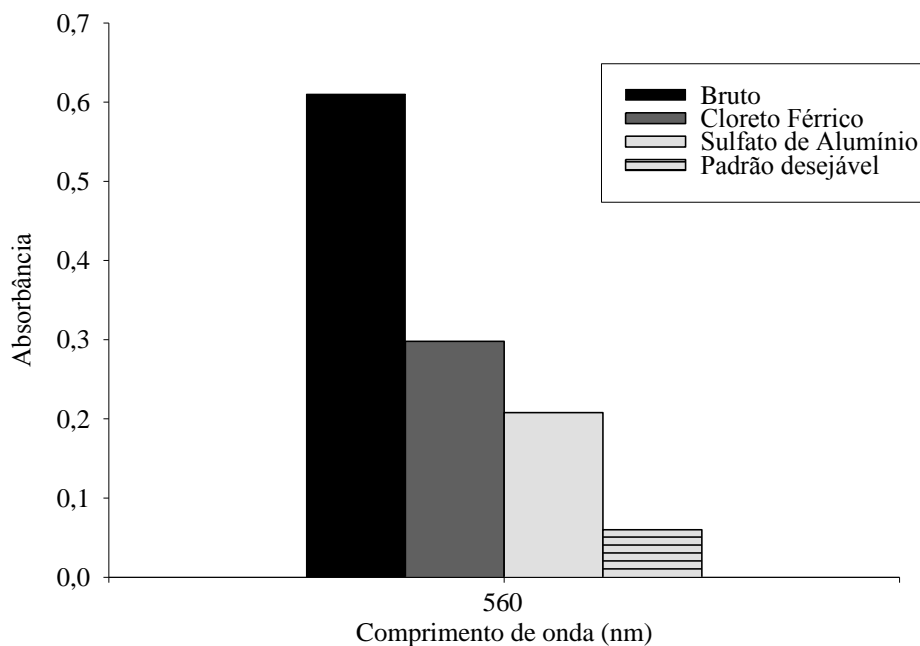
Dessa forma, o pH é um fator de grande influência no processo de ozonização, pois a variação no pH exerce mudanças na taxa de decomposição do ozônio. Porém, a dose de ozônio necessária para satisfazer o objetivo é geralmente a variável mais importante para a concepção de um sistema de contato por ozônio (GUENDY, 2007).

### 3.4 COMPARAÇÃO DAS ABSORBÂNCIAS APÓS APLICAÇÃO DOS PROCESSOS FÍSICO-QUÍMICOS COM O PADRÃO PERMITIDO

Osmelhores resultados encontrados dentro das condições ideais apresentadas para o processo de coagulação e floculação, adsorção em carvão ativado em pó e ozonização, foram comparados com o padrão espectrofotométrico definido na literatura para o lançamento de efluentes contendo corantes, onde é possível avaliar o grau de contaminação através da absorbância do resíduo em solução, sendo o valor desejável até 0,06 Absorbância (COOPER, 1995 Apud MENDES et al., 2015).

#### 3.4.1 Coagulação e Floculação

Apesar de ter mostrado uma regular remoção de cor pelo processo de coagulação e floculação em relação ao efluente bruto, ambos os coagulantes utilizados, após a aplicação desses processos, ficaram acima do valor estipulado na literatura para a absorbância dos resíduos presentes no efluente a ser lançado no corpo hídrico receptor, sendo esse de 0,185 absorbância para o cloreto férrico e 0,164 absorbância para o sulfato de alumínio. Esses resultados estão apresentados na Figura 10 a seguir.

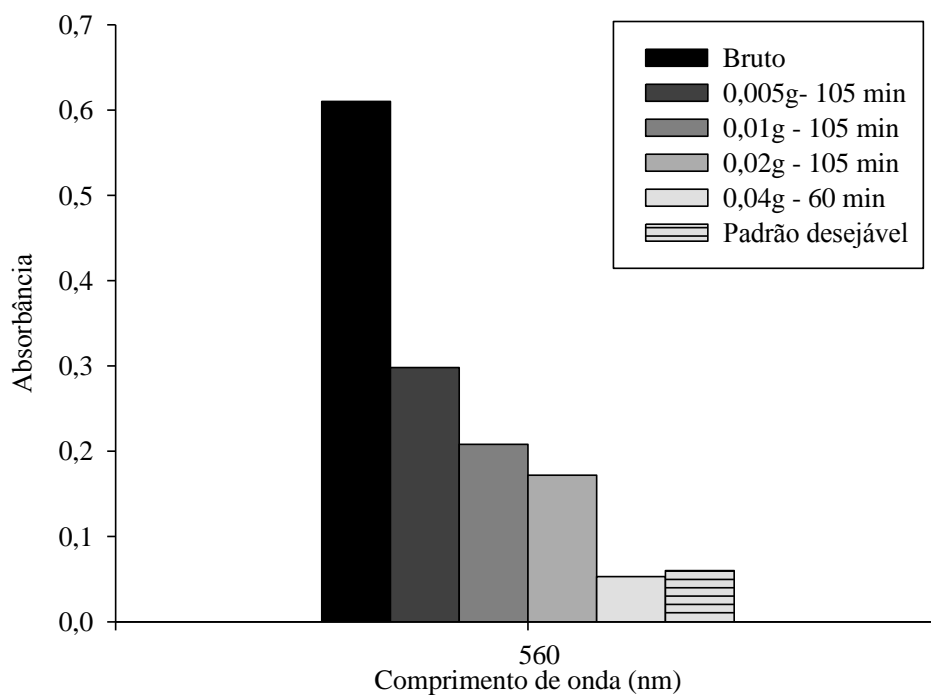


**Figura 10-** Análise espectrofotométrica do corante, em relação ao padrão desejável apresentado por Cooper (1995), após a coagulação/floculação com cloreto férrico e sulfato de alumínio.

### 3.4.2 Carvão ativado

Após o processo de adsorção, foram comparados os melhores valores de absorbância das amostras em relação ao tempo de contato. As amostras que continham 0,005g, 0,01g e 0,02g de carvão ativado não atingiram o valor mínimo de absorbância definido por Cooper (1995), mesmo após 105 minutos de contato com o adsorvente, sendo os valores alcançados de 0,298; 0,208 e 0,172 absorbância, respectivamente.

A amostra que continha 0,04g de carvão ativado, após 60 minutos de contato, ficou abaixo do padrão, apresentando uma absorbância na amostra de 0,053, mostrando que em relação ao potencial da absorbância dos resíduos presentes no efluente não afetaria corpo hídrico receptor. Os resultados estão apresentados na Figura 11 a seguir.

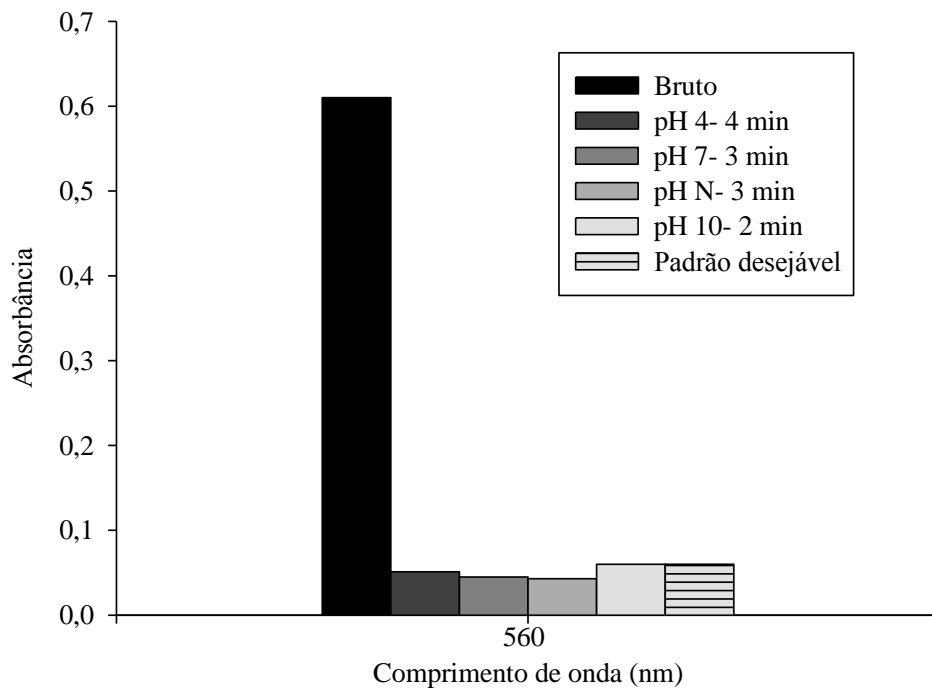


**Figura 11**-Análise espectrofotométrica do corante em relação ao padrão desejável apresentado por Cooper (1995), após adsorção em carvão ativado em pó.

### 3.4.3 Ozônio

O ozônio apresentou bons resultados na remoção de corante nas diferentes faixas de pH estudada, se enquadrando dentro do valor máximo de 0,06 absorvância para disposição do efluente nos corpos receptores. Os resultados estão apresentados na Figura 12.

Em pH 4, a amostra alcançou o valor de 0,051 absorvância após 4 minutos de contato com o ozônio, sendo este um valor inferior para contaminação do resíduo em solução. Já em pH 7 e o natural, após 3 minutos de contato as amostras atingiram os valores de 0,045 e 0,043 absorvância. Esses valores foram bem próximos devido à pequena variação de pH de uma amostra em relação a outra. O menor tempo necessário para a absorvância do corante se aproximar do padrão desejável foi de 2 minutos em pH 10. Nessas condições, a amostra ficou no limite com 0,06 absorvância.



**Figura 12-**Análise espectrofotométrica do corante em relação ao padrão desejável apresentado por Cooper (1995), após o processo de ozonização.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação dos processos físico-químicos de coagulação e floculação, carvão ativado e ozonização, apresentaram bons resultados na remoção do corante violeta 25, sendo a menor eficiência alcançada por esses processos, na amostra tratada por coagulação e floculação com cloreto férrico e sulfato de alumínio. Podendo ser maximizado por mecanismo de flotação, uma vez que os flocos formados apresentam maior facilidade de flotar do que de sedimentar.

O processo de adsorção obteve ótimos resultados de remoção de cor com aplicação de 0,04g de carvão ativado, removendo 96% do corante em solução após um tempo de contato de 105 minutos. Essa eficiência foi alcançada devido às características físicas do adsorvente em possuir elevada área superficial e uma variedade no tamanho dos poros, bem como o tamanho das partículas do corante apresentar características favoráveis ao processo de adsorção.

Os resultados do processo de ozonização indicaram que houve uma similaridade no desempenho do ozônio seja em pH ácido, neutro ou alcalino, revelando uma boa eficiência independente da via de oxidação utilizada, seja direta ou indireta.

Dessa forma, a composição do efluente pode ser o fator determinante para a eficiência da ozonização. O estudo de remoção do corante pelo processo de ozonização revelou que o ozônio afeta diretamente nos centros cromóforos, removendo de forma satisfatória corante em todas as faixas de pH aplicado nesse estudo.

Em relação à absorvância das amostras, após aplicação dos processos físico-químicos de coagulação e floculação, adsorção em carvão ativado em pó e ozonização, comparados ao padrão desejável definido por Cooper (1995), as amostras tratadas por coagulação e floculação, não atingiram tal eficiência.

No processo de adsorção, apenas as amostras com massa de 0,04g de carvão ativado alcançou, após 60 minutos de contato, se enquadrar dentro do padrão desejável de 0,06

absorbância. Para o processo de ozonização, esse valor foi alcançado em todas as faixas de pH estudada.

Contudo, o presente estudo tem mostrado a viabilidade da utilização dos processos físico-químicos de coagulação/floculação, carvão ativado e ozonização, sendo uma alternativa, o seu emprego na remoção de cor no tratamento de efluentes têxteis.

## REFERÊNCIAS

- ABIQUIM, Associação Brasileira da Indústria Química. **Corantes e pigmentos, 2012**. Acesso em: 08.10.2016. Disponível em: [WWW.abiquim.org.br/corantes](http://WWW.abiquim.org.br/corantes).
- AGUIAR, C. R. L. **Adsorção do corante têxtil amarelo básico 28 sobre carvão ativado: modificação, isotermas, cinética e reuso**. Florianópolis (UFSC), 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.
- ALMEIDA, E.; ASSALIN, M. R.; ROSA, M. A.; DURÁN, N. Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio. **Revista Química Nova**, v. 27, p. 818-824, 2004.
- ALBUQUERQUE, L. F. **Aplicação da água residuária das salinas no tratamento de efluente têxtil**. Natal (UFRN), 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2009.
- ALVES, A. C. D. **Estudo da eficiência do processo de coagulação/floculação e do processo combinado de coagulação/floculação/adsorção para tratamento de águas residuárias de galvanoplastia utilizando *moringa oleífera***. Toledo (UNIOEST), 2012. Dissertação (Mestre em Engenharia Química). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2012.
- APHA, AWWA, WPCF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20 th edition, **American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, Washington, D. C., USA**, 2005.
- ARAÚJO, F. V. F.; YOKOYAMA, L. TEIXEIRA L. A. C. Remoção de cor em soluções de corantes reativos por oxidação com  $h_2 o_2 /uv$ . **Química Nova**, v. 29, p. 11-14, 2006.
- BAKALIAN, A. M. C. **Caracterização e tratamento do efluente de solução sulfocrômica utilizada em análise de solos**. Santa Cruz do Sul (UNISC), 2012. Dissertação (Mestre em Tecnologia Ambiental), Universidade de Santa Cruz do Sul, 2012.
- BASSANI, F. **Monitoramento do lixiviado do aterro controlado de Maringá, paraná, e avaliação da tratabilidade com Coagulantes naturais, radiação ultravioleta (uv) e**

**Ozônio.** Maringá (UEM), 2010. Dissertação (Mestre em Engenharia Urbana). Universidade Estadual de Maringá, 2010.

BASSANI, L. **Desinfecção de efluente sanitário por ozônio: Parâmetros operacionais e avaliação econômica.** Florianópolis (UFCS), 2004. Dissertação (Mestre em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

BATISTA, M. S.; QUEIROZ, A. L. P.; SILVA, C. K. S.; PEREIRA, D. S. F.; SANTOS, G. Estudo de parâmetros no processo de coagulação/floculação no tratamento de águas. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 8, p. 177-183, 2016.

BELTRAME, L. T. C. **Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento.** Natal: (UFRN), 2000. Dissertação (Mestrado em engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2000.

BONGIOVANI, W. C.; KONRADT-MORAES, L. C.; BERGAMASCO, R.; LOURENÇO, B. S. S.; TAVARES, C. R. G. Os benefícios da utilização de coagulantes naturais para a obtenção de água potável. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 32, p. 167-170, 2010.

BRITO, N. N.; SILVA, V. B. N. Processo oxidativo avançado e sua aplicação ambiental. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 1, p. 36-47, 2012.

CAMPOS, V. M.; BRITO, N. N. Tratamento de Efluente Têxtil Utilizando Coagulação/Floculação e Fenton. **Instituto de Química, Universidade Federal de Goiás**, p. 1-7, 2014.

CARVALHO, M. C. S. **Ozônio no tratamento de águas residuárias de laticínios: otimização e cinética de degradação da matéria orgânica.** Viçosa (UFV), 2015. Tese (Doutor em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, 2015.

CASTRO, F. D. **Degradação do corante azo laranja reativo 16 por ozônio, identificação dos intermediários e metabolização em reator MBBR.** Rio de Janeiro (UFRJ), 2016. Dissertação (Mestre em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.

CERQUEIRA, A. A. **Aplicação da técnica de eletrofloculação no tratamento de efluentes têxteis.** Rio de Janeiro (UERJ), 2006. Dissertação (Mestre em Química). Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2006.

CLAUDINO, A. **Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes.** Florianópolis: UFSC, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

COGO, M. C. **Estudo da caracterização e disposição dos resíduos de uma indústria têxtil do Estado do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre (UFRGS), 2011. Monografia (Diplomação em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

COSTA, J. S. S.; MANGUEIRA, E. S. V.; RODRIGUES, E. G. S.; DE SENA, R. F. Tratamento de efluente têxtil utilizando coagulação/floculação. **53º Congresso Brasileiro de Química**, p. 1-2, 2013.



COSTA, M. C.; SANTOS, A. B.; MOTA, F. S. B.; MENDONÇA, G. L. F.; NASCIMENTO, R. F. Descoloração redutiva de corantes azo e o efeito de mediadores redox na presença do aceptor de elétrons sulfato. **Química Nova**, v. 33, p. 1514-1519, 2010.

DEZOTTI, M. **Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos**. V. 5. Rio de Janeiro: E- Papers, 2008.

DOTTO, G. L.; VIEIRA, M. L. G.; GONÇALVES, J. O.; PINTO, L. A. A. Remoção dos corantes azul brilhante, amarelo crepúsculo e amarelo tartrazina de soluções aquosas utilizando carvão ativado, terra ativada, terra diatomácea, quitina e quitosana: estudos de equilíbrio e termodinâmica. **Revista Química Nova**, vol. 34, p. 1193-1199, 2011.

FARAJNEZHAD, H.; GHARBANI, P. Coagulation treatment of wastewater in petroleum industry using poly aluminum chloride and ferric chloride. **IJRRAS**, v. 13, p. 306-310, 2012.

FERREIRA, A. P.; HORTA, M. A. P.; CUNHA, C. L. N. Avaliação das concentrações de metais pesados no sedimento, na água e nos órgãos de *Nycticorax nycticorax* (Garça-da-noite) na Baía de Sepetiba, RJ, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 10, p. 229-241, 2010.

FERREIRA, F. T. **Adsorção do corante Amarelo Tetrazina utilizando carvão ativado e casca de arroz**. Porto Alegre (UFRGS), 2013. Monografia (Diplomação em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

FORTINO, P. **Pós-tratamento de efluente têxtil usando coagulação/floculação combinado com processo de separação por membrana**. Porto Alegre (UFRGS), 2012. Dissertação (Mestre em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

FREIRE, F. B.; FREITAS, S. I. **Avaliação da remoção de cor de um efluente têxtil sintético**. Engenharia Ambiental, v. 7, p. 241-249, 2010.

FREIRE, R. S.; PELEGRINI, R.; KUBOTA, L. T.; DURÁN, N.; PERALTA-ZAMORA, P. Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. **Química Nova**, v. 23, p. 504-511, 2000.

FREITAS, K. R. **Caracterização e reuso de efluentes do processo de Beneficiamento da indústria têxtil**. Florianópolis (UFSC), 2002. Dissertação (Mestre em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

GEADA, O. M. R. N. D. **Remoção de corantes têxteis utilizando resíduos agrícolas Da produção de milho**. Porto (FEUP-UPORTO), 2006. Dissertação (Mestre em Engenharia do Ambiente). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2006.

GONÇALVES, R. F. Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de organismos patogênicos e substâncias nocivas: aplicação para fins produtivos como agricultura, aquicultura e hidropônica. **PROSAB**, v. 4, p. 169-208, 2003.

GOMES, J. B.; ARAÚJO, F. V. F.; WEBLER, A. D. Avaliação da eficiência do carvão ativado em pó na remoção de cor em soluções de corante reativo. **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, p. 1-6, 2013.

GOTTSCHALK, C.; LIBRA, J. A.; SAUPE, A. Ozonation of Water and Waste Water – **A Practical Guide to Understand Ozone and its Applications**, 2 ed. **WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim**, 2010.

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

GUENDY, H. R. Ozone treatment of textile wastewater Relevant to toxic effect elimination in marine Environment. **Egyptian journal of aquatic research**, v. 33, p. 98-115, 2007.

GUIMARÃES, J. R.; JUNIOR, R. L. A.; MANIERO, M. G.; FADINI, P. S. Ozonização em meio básico para redução de cor do licor negro de indústria de celulose de algodão. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.15, p. 93-98, 2010.

HASSEMER, M. E. N. **Tratamento do efluente de uma indústria têxtil. Processo físico-químico com ozônio e floculação em meio granular**. Florianópolis (UFSC), 2000. Dissertação (Mestre em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

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

HUNGER, K. **Industrial Dyes: chemistry, properties, applications**. V. 3, Frankfurt-Germany: Wiley-VHC, 2003.

IMMICH, A. P. S. **Remoção de corantes de efluentes têxteis utilizando folhas de *Azadirachta indica* como adsorvente**. Florianópolis (UFSC), 2006. Dissertação (Mestre em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

ISIK, M. Efficiency of simulated textile wastewater decolorization process based on the methanogenic activity of upflow anaerobic sludge blanket reactor in salt inhibition condition. **Revista Enzyme and Microbial Technology**, v. 35, p. 399-404, 2004.

JARDIM, W. F.; CANELA, M. C. Fundamentos da oxidação química no tratamento de efluentes e remediação de solos. **Caderno Temático**, v. 1, p. 1-9, 2004.

JÚNIOR, A. D. N. F. **Tratamento de efluente têxtil em reator Uasb seguido de biofiltro aerado submerso**. Recife (UFPE), 2010. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil). Universidade Federal do Pernambuco, 2010.

JUNIOR, R. B.; CARRARA, S. M. C. M. Reuso de águas residuárias geradas em processos de galvanoplastia. **XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**, p. 1-6, 2000.

KAMMRADT, P. B. **Remoção de cor de efluentes de tinturarias industriais através de processo de oxidação avançada.** Curitiba (UFPR), 2004. Dissertação (Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Universidade Federal do Paraná, 2004.

KIMURA, I. Y. **Remoção de corantes reativos contendo grupos vinilsulfona e triazina por Adsorção e coagulação/floculação com Quitosana.** Florianópolis (UFSC), 2001. Tese (Doutor em Química). Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

KOROISHI, E. T.; BONAN, A. A.; ANDRADE, C. B.; SILVA, A. F.; SANTOS, W. L. F.; SILVA, C. F. Determinação de isotermas de adsorção de corante têxtil em carvão ativo, serragem e algas marinhas arribadas. **Acta Scientiarum**, v 22, p. 1185-1188, 2000.

KULKARNI, M.; THAKUR, P. Photocatalytic Degradation of Real Textile Industrial Effluent under UV Light Catalyzed by Metal Oxide Nanoparticles. **Nepal Journal of Science and Technology**, v. 15, p. 105-110, 2014.

KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P.; MORAES, S. G.; DURÁN, N. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova**, v. 25, p. 78-82, 2002.

KURITZA, J. C. **Aplicação da coagulação, floculação e sedimentação como pós-tratamento de efluente de uma indústria de papel e celulose.** Irati (UNICENTRO), 2012. Dissertação (Mestre em Ciências Florestais). Universidade Estadual do Centro-Oeste, 2012.

LAPOLLI, F. R.; SANTOS, L. F.; HÁSSEMER, M. E. N.; AISSE, M. M.; PIVELI, R. P. Desinfecção de efluentes sanitários por meio da ozonização. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 10, p. 200-208, 2003.

LAS CASAS, A. **Tratamento de efluentes industriais utilizando a radiação ionizante de acelerador industrial de elétrons e por adsorção com carvão ativado. Estudo comparativo.** São Paulo: IPEN, 2004 Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear), autarquia associada à Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LOPES, T. J. ; VIEIRA, A. M.; OLIVEIRA, M.; PEREIRA, B. A.; SILVA, L. L.; FERNANDES, S. C.; SAVIO, J.; COSTELLI, M. C. Obtenção e aplicação de carvão do pseudofruto artigos da Uva-Japão (*Hoveniadulcis*Thunberg) no tratamento de efluentes líquidos com corantes. **Acta Ambiental Catarinense**, v. 10, p. 29-44, 2013.

MACIEL, W. L. S. **Estudo do processo de adsorção do corante azul royaldianixcc presente em meio aquoso empregando carvão ativado obtido a partir de um resíduo agro-industrial - semente de siriguela (*Spondiaspupurea L*).** Itapetinga (UESBA), 2013. Dissertação (Mestre em Ciências Ambientais). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2013.

MAHMOUD, A. **Avaliação de métodos emergentes visando aumentar a eficiência do ozônio na mineralização do azocorante Preto Ramazol B.** São Paulo (USP), 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade de São Paulo, 2006.

MAHMOUD, A.; FREIRE, R. S. Métodos emergentes para aumentar a eficiência do ozônio no tratamento de águas contaminadas. **Revista Química Nova**, v. 30, p.198-205 2007.

- MARCELINO, R. B. P. **Aplicação de processos oxidativos avançados para o tratamento de efluente da produção de antibióticos**. Belo Horizonte (UFMG), 2014. Dissertação (Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.
- MARCELINO, R. B. P.; FRADE, P. R.; AMORIM, C. C.; LEÃO, M. M. D. Tendências e desafios na aplicação de tecnologias avançadas para o tratamento de efluentes industriais não biodegradáveis: Atuação do grupo de pesquisas POA Control da UFMG. **Revista UFMG**, v. 20, p. 358-383, 2013.
- MARTINS, A. A.; OLIVEIRA, R. M. S.; GUARDA, E. A. Potencial de uso de compostos orgânicos como, coagulantes, floculantes e adsorventes no tratamento de água e efluentes. **Fórum Ambiental**, v. 10, p. 168-183, 2014.
- MARTINS, L. M.; SILVA, C. E.; NETO, J. M. M.; LIMA, A. S.; MOREIRA, R. F. P. M. Aplicação de Fenton, foto-Fenton e UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> no tratamento de efluente têxtil sintético contendo o corante Preto Biozol UC. **Revista Engenharia Sanitária Ambiental**, v.16, p. 261-270, 2011.
- MARTINS, P. L. **Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes no tratamento de efluentes industriais**. Anápolis (UEG), 2015. Monografia (Bacharel em Química Industrial). Universidade Estadual de Goiás, 2015.
- MAURO, A. B. **Remoção de corantes têxteis em efluentes simulados por coagulação e avaliação de toxicidade**. Rio Claro (UNESP), 2016. Dissertação (Mestre em Ciências Biológicas). Universidade Estadual Paulista, 2016.
- MENDES, C. R.; DILARRI, G.; PELEGRINI, R. T. Aplicação da biomassa *Saccharomyces cerevisiae* como agente adsorvente do corante Direct Orange 2GL e os possíveis mecanismos de interações adsorbato/adsorvente. **Revista Matéria**, v.20, p. 898-908, 2015.
- MENEZES, P. A. V. Tensoativos na indústria têxtil. **Revista Química Têxtil**, v. 80, p. 54-74, 2005.
- MOMENTI, T. J. **Processo anaeróbio conjugado com processo oxidativo avançado (POA) no tratamento dos efluentes do processo industrial de branqueamento da polpa celulósica**. São Carlos (USP), 2006. Tese (Doutor em Hidráulica e Saneamento). Universidade de São Paulo, 2006.
- MUHAMMAD, A.; SHAFEEQ, A.; BUTT, M. A.; RIZVI, Z. H.; CHUGHTAI, M. A.; REHMAN, S. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 25, p. 453 - 459, 2008.
- NANDHINI, R.; VAISHNAVI V. K.; VADANASUNDARI, V.; RANGABHASHIYAM, S. Decolourization studies of synthetic textile dye using *aspergillus species* Under static and shaking conditions. **Asian Journal of Science and Technology**, v. 4, p. 80-83, 2012.

- ODY, D. A. **Remoção de corantes têxteis de efluentes por adsorção com carvão ativado.** Porto Alegre (UFRGS), 2014. Monografia (Diplomação em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.
- PATEL, R.; RESHMA, P. Treatment of dye intermediate waste- water by fenton and eletro-fenton treatments. **International journal of research in modern engineering and emerging technolofy**, v. 1, p. 1-7, 2013.
- PEIXOTO, F.; MARINHO, G.; RODRIGUES, K. Corantes têxtil: Uma revisão. **Holos**, v. 5, p. 98-106, 2013.
- PELIZER, L. H.; PONTIERI, M. H.; MORAES, I. O. Utilização de resíduos agroindustriais em processos biotecnológicos como perspectiva de redução do impacto ambiental. **Journalof Technology Management e Innovation**, v. 2, p. 118-127, 2007.
- PEREIRA, W. S.; FREIRE, R. S. Ferro zero: uma nova abordagem para o tratamento de águas contaminadas com compostos orgânicos poluentes. **Química Nova**,v. 28, p. 130-136, 2005.
- RIBEIRO, T. F. S. **Avaliação da ozonização e O<sub>3</sub>/UV seguido de membranas para o reúso de efluentes da indústria do petróleo.** Rio de Janeiro (UFRJ), 2012. Dissertação (Mestre em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.
- SÁ, M. M. A. M. **Aplicação de β-Ciclodextrinas no Tingimento de Materiais Têxteis.** Braga (UMINHO),2008. Dissertação (Mestrado em Química Têxtil). Universidade do Minho, 2008.
- SANTOS, M. F. **Estudo preliminar da avaliação técnica de metodologias de tratamento Terciário do efluente tratado gerado na ETE da Cetrel para reúso em atividades Industriais.** Salvador (UFBA), 2006. Dissertação (Mestre em Gerenciamento e tecnologias Ambientais no Processo Produtivo). Universidade Federal da Bahia, 2006.
- SANTOS, M. F. D. M. **Degradação do corante preto direto (blackdirect 38) através de processos foto-fenton homogêneos e heterogêneos.** Florianópolis (UFCS), 2008. Dissertação ( Mestre em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.
- SAUER, T. **Tratamento de efluentes de curtume através do processo combinado de degradação fotocatalítica seguida por adsorção em carvão ativado.** Santa Catarina: (UFSC),2006. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.
- SCHIMMEL, D. **Adsorção dos corantes reativos azul 5G e azul turquesa QG em Carvão Ativado comercial.** Toledo (UNIOESTE), 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2008.
- SCHMITT, D. M. F. **Tratamento de águas residuárias da indústria de laticínios pelo processo combinados coagulação/floculação/adsorção/ultrafiltração utilizando semente de *Moringa Oleífera* como coagulante.** Toledo (UNIOEST), 2011. Dissertação (Mestre em Engenharia Química). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2011.

SILVA, C.V.A. Remoção de Fósforo em Estação Compacta de Tratamento de Esgotos Sanitários Através de Precipitação Química. Vitória (UFES). Dissertação (Mestre em Engenharia Química). Universidade Federal do Espírito Santo, 2009

SILVA, K. K. O. S. **Caracterização o efluente líquido no processo de beneficiamento do índigo têxtil.** Natal (UFRGN), 2007. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007.

SILVA, T. E. M.; SILVA, L. F.; LIMA, R. B. C.; LEITE, Y. F. M. M. Avaliação do uso de coagulantes orgânicos no tratamento de efluentes de galvanoplastia: um estudo de caso. **BlucherChemistryProceedings**, v. 3, p. 1-6, 2015.

SOARES, J. L. **Remoção de corantes têxteis por adsorção em carvão mineral ativado com alto teor de cinzas.** Florianópolis (UFSC), 1998. Dissertação (Mestre em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.

SPINELLI, V. A. **Quitosana: Polieletrólito Natural para o Tratamento de Água Potável.** Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis – SC, 2001. Tese (Mestrado).

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

SYAFALNI.; LIM, H. K.; ISMAIL, N.; ABUSTAN, I.; MURSHED, M. F.; AHMAD, A. Treatment of landfill leachate by using lateritic soil as a natural coagulant. **Journal of Environmental Management**, v. 112, p. 353-359, 2012.

TEIXEIRA, C. P. A. B.; JARDIM, W, F. **Processos oxidativos avançados, conceitos teóricos.** Campinas (UNICAMP), 2004. Caderno Temático, v. 3, 2004.

TELLES, C. A. S. Processos combinados para o tratamento de lixiviado de aterro sanitário. Rio de Janeiro (UFRJ), 2010. Dissertação (Mestre em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

TREVIZANI, J. L. **.B.Descoloração e degradação do azo corante vermelho BR por ozonização.** CURTIBA (UTFPR), 2015. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

TWARDOKUS, R. G. **Reuso de água no processo de tingimento da Indústria têxtil.** Florianópolis (UFSC), 2004. Dissertação (Mestre em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

VASQUES, A. R.; SOUZA, S. M. A. G. U.; WEISSENBERG, L.; SOUZA, A. A. U.; VALLE, J. A. B. Adsorção dos corantes RO16, RR2 e RR141 utilizando lodo residual da indústria têxtil. **Revista Engenharia Sanitária Ambiental**, v.16, p. 245-252, 2011.

VAZ, L. G. L. **Performance do processo de coagulação/floculação no tratamento do efluente líquido gerado na galvanoplastia.** Toledo (UNIOEST), 2009. Dissertação (Mestre em Engenharia Química). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2009.

VAZ, L; G; L.; KLEN, M. R. F.; VEIT, T. M.; SILVA, E. A.; BARBIERO, T. A.; BERGAMASCO, R. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. *Revista Eclética Química*, v 35, p. 1-10, 2010.

VINODHKUMAR, T.; THIRIPURASUNDARI, N.; RAMANATHAN, G.; KARTHIK, G. Screening of dye degrading bacteria from textile effluents. **International Journal of Research and Reviews in Pharmacy and Applied science**, v. 3, p. 848-857, 2013.

WANG, S.; ZHU, Z.H. Effects of acidic treatment of activated carbons on dye adsorption. **Dyes and Pigments**, v. 75, p. 306-314, 2007.

ZHAO, X.; WEI, X.; XIA, P.; LIU, H.; QU, J. Removal and transformation characterization of refractory components from biologically treated landfill leachate by Fe<sup>2+</sup>/NaClO and Fenton oxidation. **Journal of Hazardous Materials**, v. 116, p. 107-113, 2013.