

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

LUANA MARIA MOREIRA GODOY BUENO

**IMOBILIZAÇÃO DE TiO₂ EM CARVÃO ATIVADO APLICADO EM
PROCESSOS DE FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA VISANDO A REMOÇÃO
DE COR DE UMA SOLUÇÃO DE CORANTE REATIVO**

APUCARANA

2020

LUANA MARIA MOREIRA GODOY BUENO

**IMOBILIZAÇÃO DE TiO₂ EM CARVÃO ATIVADO APLICADO EM
PROCESSOS DE FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA VISANDO A REMOÇÃO
DE COR DE UMA SOLUÇÃO DE CORANTE REATIVO**

**Immobilization of TiO₂ in activated carbon applied in heterogeneous
photocatalysis processes aiming to remove color from a reactive dye
solution**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção de título em Bacharel em Engenharia Têxtil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Dra. Valquíria Aparecida dos Santos Ribeiro.

Coorientadora: Dra. Milena Martins Andrade

APUCARANA

2020



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Apucarana



COENT – Coordenação do curso de Engenharia Têxtil

TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso:

**IMOBILIZAÇÃO DE TiO₂ EM CARVÃO ATIVADO APLICADO EM
PROCESSOS DE FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA VISANDO A REMOÇÃO
DE COR DE UMA SOLUÇÃO DE CORANTE REATIVO**

Por

Luana Maria Moreira Godoy Bueno

Monografia apresentada às **14:00 horas do dia 10 de novembro de 2020**, como requisito parcial, para conclusão do Curso de **Engenharia Têxtil** da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Apucarana. O(a) candidato(a) foi arguido(a) pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerado **APROVADO**.

Banca examinadora:

PROF^ª. DR^ª VALQUÍRIA APARECIDA DOS SANTOS RIBEIRO – ORIENTADOR (A)

PROF^ª. DR^ª. ANDREA SARTORI JABUR – EXAMINADOR (A)

PROF. ME. LEANDRO VICENTE GONÇALVES – EXAMINADOR (A)

*A Folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso processo SEI 23064.033498/2020-08.

Dedico este trabalho ao
meu marido e família, pelos
momentos de ausência.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus, pois sem Ele nada seria possível.

Agradeço meu marido por todo apoio, compressão e incentivo durante todos esses anos.

À minha família que sempre me incentivaram a não desistir dos meus sonhos, em especial meu avô Célio e minha avó Dirce que infelizmente não estão mais entre nós.

Aos meus amigos por sempre estarem ao meu lado.

À professora Valquíria por ter aceito ser minha orientadora.

À professora Milena por ter aceito ser minha coorientadora.

RESUMO

A geração de resíduos ocorre em todo o processo produtivo têxtil, gerando resíduos sólidos, gasosos e líquidos. Os resíduos são um grande problema da indústria têxtil, sendo considerada uma grande poluidora de águas, pois um elevado volume de efluente são gerados nos processos de acabamentos (beneficiamento, tingimento e estamparia). Para amenizar os consequentes problemas causados pela geração de efluentes têxteis durante o processo produtivo, diversas tecnologias vêm sendo estudadas, uma delas é o Processo de Oxidação Avançados (POAs). Outro método bastante utilizado para tratamento de efluentes é a adsorção a partir de carvão ativado. Com isso o objetivo geral desse trabalho foi realizar a combinação dos processos de tratamento de efluente por fotocatalise heterogênea com carvão ativado, visando incorporar o catalisador no carvão ativado e então melhorar o processo fotocatalítico na etapa de separação sólido-líquido. O estudo mostrou que é possível a obtenção de carvão ativado a partir do pó de filtro, bem como a imobilização do TiO_2 no carvão. Para a sua utilização em processo de fotocatalise heterogênea na remoção de cor, os melhores resultados foram apresentados em pH 5, com o carvão produzido em mufla e com a mistura prévia do catalisador. Também se identificou a possibilidade de reuso do carvão, porém a sua concentração deverá ser ajustada uma vez que a sua eficiência teve um decréscimo na remoção de cor. O tempo de decantação do carvão, em comparação com o catalisador em suspensão foi menor, porém deve-se tentar a fabricação do carvão em grânulos e não em pó, o que melhoraria ainda mais o tempo de decantação e evitaria finas partículas em suspensão.

Palavras-chave: processo de oxidação avançada; dióxido de titânio; pó de filtro; ativação química.

ABSTRACT

The generation of waste occurs throughout the textile production process, generating solid, gaseous and liquid waste. Waste is a major problem for the textile industry, being considered a major water polluter, as a high volume of effluent is generated in the finishing processes (processing, dyeing and printing). To mitigate the consequent problems caused by the generation of textile effluents during the production process, several technologies are being studied, one of them is the Advanced Oxidation Process (POAs). Another widely used method for treating effluents is adsorption from activated carbon. With that, the general objective of this work was to perform the combination of the processes of treatment of effluent by heterogeneous photocatalysis with activated carbon, incorporate the catalyst in the activated carbon and then improve the photocatalytic process in the solid-liquid separation stage. The study revealed that it is possible to activate activated carbon from the filter powder, as well as to immobilize TiO₂ on the coal. For its use in a heterogeneous photocatalysis process to remove color, the best results were obtained at pH 5, with the charcoal produced in a muffle and with the previous mixture of the catalyst. The possibility of reusing coal was also identified, but the concentration must be adjusted since its efficiency had a decrease in color removal. The decantation time of the coal, in comparison with the suspended catalyst, was shorter, however one should try to manufacture the coal in granules and not in powder, which would further improve the decantation time and avoid fine particles in suspension.

Keywords: advanced oxidation process; titanium dioxide; filter powder; chemical activation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma da cadeia produtiva têxtil	17
Figura 2 - Resíduo de pó de filtro da fiação	20
Figura 3 - Princípio da Fotocatálise Heterogênea.....	24
Figura 4 - Pó de filtro ativado com NaOH	27
Figura 5 - Reator	28
Figura 6 - TiO ₂ impregnado ao carvão por maceração.....	28
Figura 7 - Processo de obtenção do carvão ativado	29
Figura 8 - Rampa de aquecimento	29
Figura 9 - Vista superior do reator	30
Figura 10 - Agitador magnético	31
Figura 11 - Tratamento dos efluentes	31
Figura 12 - Caixa metálica.....	32
Figura 13 - Centrífuga.....	32
Figura 14 - Tratamento de efluentes com diferentes pHs	33
Figura 15 - Agitador magnético	34
Figura 16 - Decantação.....	34
Figura 17 - Carvão ativado com TiO ₂ na mufla.....	35
Figura 18 - Comparação entre os métodos incorporados TiO ₂ e a adsorção.....	36
Figura 19 - (1) Solução de corante e processos de descoloração utilizando diferentes métodos de produção do material, (2) impregnação (3) mufla (4) adsorção	36

Figura 20 - Absorbância dos diferentes valores de pH	38
Figura 21 - (1) Solução de corante e processos de descoloração utilizando diferentes pHs (2) pH 5 (3) pH 7 (4) pH 9	39
Figura 22 - Absorbância das triplicatas em pH 5	40
Figura 23 - (1) Solução de corante e (2) (3) (4) processos de descoloração em triplicata do pH 5.....	41
Figura 24 - (1) Decantação do carvão ativado incorporado TiO₂ (2) Decantação do TiO₂.....	42
Figura 25 - Carvão após processo de remoção de cor.....	42
Figura 26 - (1) Solução de corante e (2) (3) (4) processos de descoloração em triplicata com carvão reutilizado.....	43
Figura 27 - Gráfico da absorbância do processo de descoloração utilizando carvão reutilizado.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Rendimento da produção de carvão ativado	35
Tabela 2 - Comparação entre os métodos de adição do TiO_2 para o processo de descoloração.....	37
Tabela 3 - Descoloração de efluente têxtil em diferentes pHs.....	38
Tabela 4 - Descoloração em triplicata do efluente têxtil em pH 5 ...	40
Tabela 5 - Descoloração reutilizando o carvão	44

LISTA DE ABREVIATURAS

BC	Banda de Condução
BV	Banda de Valência
H ₂ SO ₄	Ácido Sulfúrico
NaOH	Hidróxido de Sódio
Nm	Nanômetros
N ₂	Nitrogênio
OH	Hidroxila
O ₂	Oxigênio
POAs	Processos Oxidativos Avançados
RPM	Rotação por minuto
TiO ₂	Dióxido de Titânio
UV	Radiação Ultravioleta

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	14
1.1.1	Objetivo Geral	14
1.1.2	Objetivos Específicos.....	14
1.2	Justificativa	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Indústria têxtil	17
2.1.1	Resíduos da Indústria Têxtil.....	19
2.1.1.1	Resíduo sólido	19
2.1.1.1.1	<i>Efluente têxtil</i>	20
2.2	Tratamento de efluentes	21
2.2.1	Adsorção.....	22
2.2.1.1	Carvão ativado	22
2.2.2	Processo de Oxidação Avançada	23
2.2.2.1	Fotocatálise heterogênea com dióxido de titânio	23
3	METODOLOGIA	27
3.1	Material	27
3.1.1	Produção do Carvão Ativado	27
3.1.2	Fotocatálise Heterogênea	29
3.1.3	Teste de Decantação	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1	Produção de carvão ativado	35
5	CONCLUSÃO	45
	REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

A indústria têxtil foi a principal responsável da primeira revolução industrial, no século XVIII, substituindo teares manuais por máquinas movidas a vapor. Desde então, novas tecnologias de produção vêm surgindo e nos dias atuais está buscando a implementação da chamada Indústria 4.0 (ABIT, 2017).

A cadeia produtiva têxtil é dividida em setores, na fiação as fibras são transformadas em fios, na tecelagem e na malharia os fios se tornam tecidos, no setor de não tecido, fibras e filamentos são transformadas em véus e posteriormente em mantas. Após a produção de tecidos planos, malhas e não tecidos, são realizados processos de acabamentos químicos, físicos ou ambos, agregando propriedades e valor aos mesmos. A última etapa é a confecção na qual transforma em produtos finais para o consumidor (PAIVA, 2010).

De acordo com Santos (2018), a geração de resíduos ocorre em todo o processo produtivo têxtil, podendo gerar resíduos sólidos, gasosos e líquidos (efluentes). Esses resíduos são um grande problema, devido a esse fato, pesquisadores buscam alternativas principalmente em países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, que é o caso do Brasil (PINHEIRO, 2014).

A indústria têxtil é considerada uma grande poluidora de águas, pois um elevado volume de efluente é gerado nos processos de acabamentos (beneficiamento, tingimento e estamparia), na qual esses efluentes são considerados um dos mais poluentes entre todos os setores industriais (FERREIRA, 2015).

Esses efluentes apresentam elevada carga orgânica, forte coloração e compostos químicos tóxicos, sendo então proibido o seu descarte na rede de esgoto, em corpos de água, ou disposto no solo sem um tratamento apropriado para remoção desses agentes contaminantes (RIBEIRO; TAVARES, 2018).

Como consequência, novas alternativas de processos de tratamento de efluentes vem surgindo, os Processos Oxidativos Avançados (POAs) são um exemplo, o procedimento é considerado rápido, eficiente e versátil (FERRARI et al., 2019).

A fotocatalise heterogênea, usando catalisadores semicondutores é um processo entre os POAs que vem sendo bastante utilizado pois apresenta uma

alta eficiência no tratamento do efluente, principalmente na decomposição de compostos orgânicos (YASMINA et al., 2014).

O Dióxido de Titânio (TiO_2), vem sendo utilizado como semicondutor dos POAs pois tem obtido excelentes resultados em relação a eliminação de poluentes com baixa concentração (DIAS et al., 2018).

Outro método bastante utilizado para tratamento de efluentes que tem se mostrado eficiente e possível baixo custo é a adsorção a partir de carvão ativado (SCHIMMEL, 2008).

A partir da combinação dos POAs com o carvão ativado, são esperados melhores resultados na etapa de separação sólido- líquido.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Realizar a combinação dos processos de tratamento de efluente por fotocatalise heterogênea com carvão ativado, visando incorporar o catalisador no carvão ativado e então melhorar o processo fotocatalítico na etapa de separação sólido-líquido.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Produzir carvão ativado a partir da reutilização do resíduo de pó de filtro do setor de fiação;
- Incorporar o TiO_2 no carvão ativado;
- Realizar a remoção de cor de uma solução de corante reativo por meio do processo de oxidação avançada com carvão ativado e comparar com resultados de processo de oxidação avançada sem carvão ativado;
- Determinar o tempo de decantação do catalisador combinado com carvão ativado, comparando com o tempo de decantação do catalisador.

1.2 Justificativa

Nos últimos anos, a indústria têxtil vem sendo repreendida nos aspectos ecológicos, devido ao fato de contribuir grandemente com a poluição ambiental durante os seus processos produtivos (SILVA, 2018). Essa poluição gerada pode

impactar de diferentes formas o ambiente, dependendo do estado físico dos resíduos gerados (sólidos, líquidos e gasosos).

O fato de a indústria têxtil utilizar elevada quantidade de água e em alguns momentos com o pequeno aproveitamento de insumos, ocorre a geração de uma grande quantidade de resíduos líquidos, chamados de efluente têxtil (SOUZA; PERALTA-ZAMORA, 2005). Os efluentes têxteis são coloridos, devido ao corante não se fixar totalmente a fibra durante o processo de tingimento (ARAUJO; YOKOYAMA; TEIXEIRA, 2006).

Devido a esse volume grande de efluentes gerados durante os processos de beneficiamento dos materiais têxteis e do seu potencial poluidor, há décadas, os efluentes vem despertando interesse da comunidade científica.

A liberação desse efluente nos meios aquáticos diminui a transparência da água e conseqüentemente a fotossíntese devido à dificuldade de os raios solares penetrarem na água, bem como pode causar danos irreparáveis a ecossistema devido a presença de substância altamente tóxicas.

Para amenizar os conseqüentes problemas causados pela geração de efluentes têxteis durante o processo produtivo, diversas tecnologias vêm sendo estudadas, uma delas é o Processo de Oxidação Avançados, que são tecnologias que destroem compostos orgânicos que são difíceis de degradar sem formar resíduos sólidos, por isso, consideradas tecnologias limpas (RIBEIRO et al., 2010).

A busca pela reutilização da água são fatores que justificam a inserção de Processos Oxidativos Avançados na indústria têxtil (HASSEMER, 2006).

Apesar da alta qualidade do efluente tratado pelos POAs, essa técnica para que seja aplicada em escala industrial, ainda necessita de estudos que viabilizem a sua utilização, dentre eles, uma forma de imobilização do catalisador, eliminando então a dificuldade de separação do catalisador ao final do processo, com isso diminuindo o tempo de retenção do efluente.

Nesse contexto, propõe-se combinar a fotocatalise heterogênea com um processo físico de tratamento de efluente, a adsorção em carvão ativado. A adsorção de corantes por carvão ativado ocorre com a condução do corante do efluente e a difusão de suas moléculas para os poros do carvão ativado, ficando o corante retido no carvão (MACHADO, 2007).

Com isso espera-se que fazendo a junção dos processos, o carvão obtido a partir dos resíduos de fiação sirva como suporte ao catalisador (TiO_2), melhorando a aplicação da fotocatalise heterogênea e diminuindo o tempo de decantação do catalisador no final do processo. Além disso, espera-se outros benefícios ambientais uma vez que o carvão ativado será obtido a partir de um resíduo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico é discutido a indústria têxtil, os resíduos gerados durante os processos de fiação e tingimento, os métodos utilizados para realizar o tratamento de efluentes e a combinação de dois tipos de tratamentos.

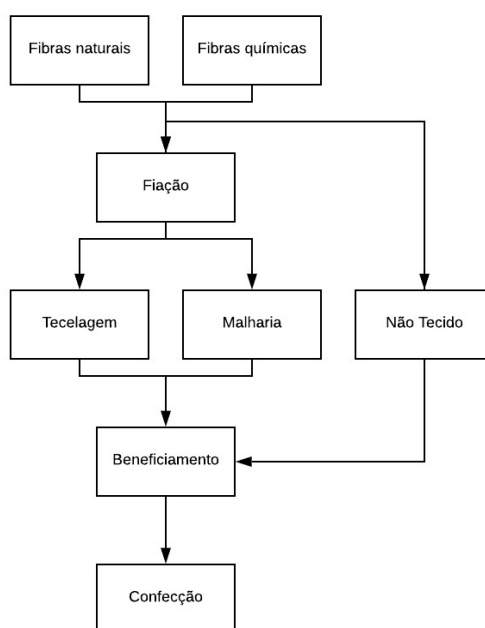
2.1 Indústria têxtil

As fibras têxteis são subdivididas em naturais e químicas, onde a fibra têxtil natural é obtida pela natureza, podendo ser de origem animal, mineral ou vegetal e as fibras químicas são produzidas a partir de polímeros modificados (fibras artificiais) ou polímeros obtidos por síntese química (fibras sintéticas) (SILVA, 2018).

Dentre as naturais, a fibra de algodão possui maior destaque, devido a sua grande produção. De acordo com a ABRAPA (2020), o Brasil ocupa o primeiro lugar na produção de algodão em sequeiro, entre os cinco maiores produtores mundiais e está entre os maiores consumidores de algodão do mundo.

A cadeia produtiva têxtil é dividida em setores conforme apresenta a Figura 1, onde o produto de uma etapa serve de matéria prima para a etapa seguinte até chegar ao produto final.

Figura 1 - Fluxograma da cadeia produtiva têxtil



Fonte: Adaptado de Paiva (2010)

O primeiro setor é a fiação, onde as fibras são beneficiadas e são produzidos os fios. A etapa seguinte consiste na produção de tecidos, podendo ser produzidos pelos setores de tecelagem, malharia ou não tecido. Após o tecido, malha e não tecido prontos, é realizado o acabamento, adicionando propriedades ao produto, deixando o produto competitivo para o mercado. Enfim, os mesmos seguem para a etapa de confecção, na qual o produto sai acabado (GARCIA, 1994).

No processo de tingimento, além do volume excessivo de água necessária para o procedimento, ainda há o agravante dos contaminantes, principalmente os corantes (FREIRE; FREITAS, 2010).

Segundo Salem (2010), os corantes podem ser classificados de acordo com a sua estrutura química ou por sua aplicação, conforme apresenta o Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação dos corantes por aplicação

Corantes	Celulose	Lã	Seda	Poliamida	Poliéster	Acrílico
Diretos	x		x			
Reativos	x		x			
Sulfuroso	x					
Azóicos	x					
A tina	x					
Leuco ésteres	x					
Catiônicos						x
Ácidos		x	x	x		
Complexos metálicos		x	x	x		
Cromo		x		x		
Dispersos					x	
Pigmentos	x					

Fonte: Adaptado de SALEM (2010)

Dentre os tipos de tingimento de fibras celulósicas, o tingimento com corantes reativos são os mais utilizados nos processos de beneficiamento no Brasil, devido à sua facilidade de produção, baixo custo, alta solubilidade, alta solidez e pelo fato de favorecer a obtenção de todos os tons (KUHN, 2019).

De acordo com Ribeiro (2015), a classe de corante reativo é a que possui menor índice de afinidade corante/fibra, entre 50 – 80%, sendo o percentual restante, a quantidade de corante no banho residual, juntamente com os produtos auxiliares, que estão presentes no efluente têxtil.

2.1.1 Resíduos da Indústria Têxtil

Correspondente as leis e normas direcionadas ao ambiente, as indústrias vem buscando não só uma eficiência na produtividade, mas também em relação ao aspecto ambiental. Com isso, a redução de insumos e uma menor geração de poluentes deve estar ligado a produção, mesmo com o aumento da mesma (FREIRE; FREITAS, 2010).

2.1.1.1 Resíduo sólido

A Associação Brasileira de Normas Técnicas na NBR 10004 Resíduos sólidos – Classificação, define resíduos sólidos como:

Resíduos nos estados sólidos e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

O Brasil é um importante produtor do setor têxtil. A cadeia têxtil gera impactos consideráveis ao ambiente, na qual diariamente centenas de toneladas de resíduos têxteis são descartados nos grandes polos têxteis do país, muitas vezes contaminados por elementos tóxicos e produtos químicos (RODRIGUES; HENKES, 2018).

Os resíduos industriais têxteis, mais precisamente o processo de fabricação de fios de algodão, gerados pela fiação ou por empresas verticais, em que um de seus processos produtivos contém essa operação, originam de diversos procedimentos como a abertura e limpeza da fibra, cardagem e da fiação propriamente dita. O teor de umidade e a densidade desses resíduos são muito baixos, gerando elevados volumes (SILVA, 2009).

Esse material é coletado a partir de filtros, conhecido como pó de filtro apresentado na Figura 2, esse resíduo é transformado em outros subprodutos têxteis tais como estopa, piolho e varredura (PAGANNI, 2011).

Figura 2 - Resíduo de pó de filtro da fiação



Fonte: A autoria própria (2020)

Em razão a excessiva necessidade de água nos diversos processos realizados pela indústria têxtil, é gerada elevada quantidade de água poluída com diferentes produtos químicos utilizados nos procedimentos, sendo o corante um alto contribuinte para a poluição da água, pois o mesmo dificulta a penetração de raios solares para o processo de fotossíntese (SALGADO et al., 2009).

Segundo Ribeiro et al., (2010), entre 1% a 15% dos corantes utilizados durante o processo de tingimento pelas indústrias têxteis são liberados no efluente. Os corantes são bem visíveis a olho nu mesmo em pequenas concentrações, a eficiência da remoção da cor do efluente pode ser analisada por um padrão espectrofotométrico, avaliando o grau de poluição do mesmo, podendo não ser detectado nessa escala, onde o problema se agrava ainda mais (GUARATINI; ZANONI, 2000).

2.1.1.1.1 Efluente têxtil

A Resolução CONAMA nº430/2011, dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, sendo os principais parâmetros analisados nos efluentes têxteis: cor, turbidez (físico) e pH (químico).

A cor está relacionada com o grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la, em consequência à presença de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal orgânico e inorgânico.

A turbidez da água é caracterizada pela presença de partículas de material em suspensão (CAMÊLO; CORDEIRO; RIBEIRO, 2020). A aparência turva da água, se dá pela presença dessas partículas, prejudicando a fotossíntese e tornando a aparência da água, com aspectos indesejáveis (SILVA, 2019).

Segundo Souza et al (2019), nos processos fotocatalíticos, o pH está relativamente ligado a eficiência do processo, podendo afetar a carga das partículas do catalisador e as posições das bandas de condução e de valência.

Devido aos impactos gerados, as indústrias aumentaram a preocupação em relação a reutilização dos banhos de descarte gerados durante os processos produtivos, procurando diminuir ao mínimo possível a utilização de água, de modo que não deixe de realizar a produção e sem afetar os custos e a qualidade do produto. Com isso, o tratamento e a reutilização de água se tornaram mais um processo dentro da indústria (FREIRE et al., 2018).

Correspondente a implicações ambientais, novos procedimentos têm sido pesquisados (KUNZ et al., 2002). Métodos como tratamento por absorção com carvão ativado e processos avançados de oxidação são usados, podendo gerar efluentes conforme a legislação, possibilitando o reuso do mesmo, diminuindo custos (MACHADO, 2007).

2.2 Tratamento de efluentes

Com o intuito de diminuir os impactos ambientais causados pela presença de compostos dissolvidos nos efluentes industriais, sejam estes orgânicos ou inorgânicos, a divisão destes elementos pode ser efetuada por meio da adsorção, na qual é conhecida como um método não destrutivo e que permite a recuperação do componente adsorvido pelo material adsorvente (DALLAGO; SMANIOTTO; OLIVEIRA, 2005).

Técnicas físico-químicas convencionais para tratamento de efluente, promovem a mudança de fase do resíduo, solucionando apenas uma parte do problema, para isso técnicas fotoquímicas na degradação oxidativa de

compostos orgânicos dissolvidos e dispersos vem sendo consolidadas, conhecidas como Processos Oxidativos Avançados (DIAS *et al.*, 2018).

2.2.1 Adsorção

O processo de adsorção, ocorre com a transferência do soluto de um fluido para uma superfície sólida. O que se acumula na interface do material é chamada de adsorvato e a superfície sólida na qual o adsorvato se concentra é denominada de adsorvente (SILVA *et al.*, 2018).

De acordo com Montanher, Farias e Dalpasquale (2019), a eficiência da adsorção será cada vez mais eficaz, conforme maior for a superfície de contato devido as substâncias adsorvidas se concentrarem na superfície externa dos poros do adsorvente.

Segundo Barbosa (2018), o processo de adsorção é um dos mais eficientes em relação a tratamento de efluentes e águas residuárias, por isso vem sendo utilizado nas indústrias, principalmente na têxtil que possui poluentes em seu processo de produção, buscando diminuir a toxicidade de seus contaminantes ao meio ambiente, gerando o menor dano possível. Porém, é um processo que apenas transfere o poluente de fase, transformando-o do estado líquido para sólido.

2.2.1.1 Carvão ativado

De acordo com Lopes (2017), o adsorvente que vem sendo mais utilizado no tratamento de efluentes da indústria têxtil é o carvão ativado, devido ao fato de remover diversos compostos orgânicos e inorgânicos, como por exemplo, os corantes.

O carvão ativado pode ser obtido a partir de materiais carbonáceos, tendo como característica a alta adsorção, provindo da alta área superficial e existência de uma diversidade de grupos funcionais na mesma (GUILARDUCI *et al.*, 2006). A partir da carbonização e em seguida pela ativação com dióxido de carbono ou vapor de água, à temperatura elevada, é obtido o carvão ativado (SOARES, 1998).

De acordo com Pereira *et al.*, (2008), devido ao fato de o carvão ativado apresentar excelentes características adsorventes, o mesmo pode ser usado em

uma grande variedade de processos, tais como filtração, purificação, desodorização e separação.

O desempenho do processo de tratamento de efluente está relacionado ao tipo de efluente e carvão ativado utilizado, devendo ser selecionado o carvão ativado de acordo com o as especificidades do tratamento (MACHADO, 2007).

2.2.2 Processo de Oxidação Avançada

Os processos oxidativos avançados são normalmente utilizados em tratamentos de efluentes com grandes cargas orgânicas, na qual tratamentos convencionais não atingem a eficiência demandada, realizados por meio de processos físico-químicos, alterando a estrutura química dos poluentes utilizando agentes oxidantes fortes, capazes de gerar radicais hidroxila (-OH). (AMORIM; LEÃO; MOREIRA, 2009).

Os Processos Oxidativos Avançados transformam substâncias difíceis de eliminar em substâncias biologicamente degradável, ecologicamente inofensiva ou em substâncias que possam ser eliminadas pelos processos físico-químicos convencionais (HASSEMER, 2006).

A remoção da cor do efluente é obtida através dos radicais hidroxila que atacam o cromóforo presente no corante, descolorindo então o efluente (HSUEH et al., 2005).

De acordo com Araújo (2002), os Processos Oxidativos Avançados são classificados em homogêneos e heterogêneos. Nos homogêneos ocorrem a formação de sistema em uma única fase e nos heterogêneos a formação de mais de uma na qual normalmente possuem catalisadores na forma sólida.

2.2.2.1 Fotocatálise heterogênea com dióxido de titânio

A fotocatalise heterogênea tem como principal vantagem a não utilização de reagentes químicos (DIAS *et al.*, 2018). De acordo com Bellido *et al.*, (2019), dentre os diversos tipos de processos oxidativos, a fotodegradação é considerada promitente, pois é um tratamento baixo custo, versátil, e ambientalmente benevolente para a maior parte dos poluentes.

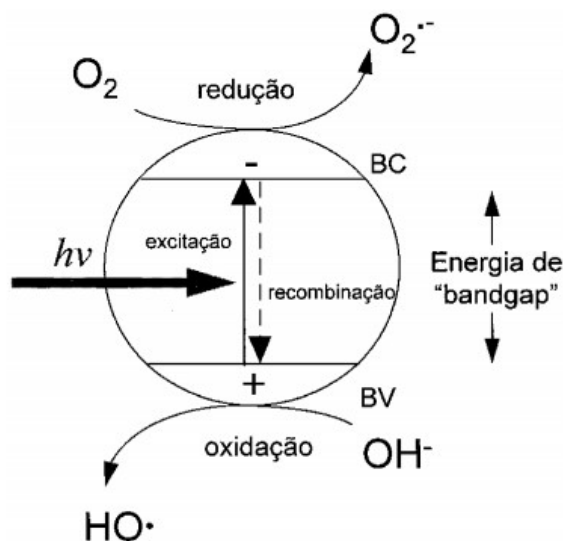
Para ocorrer a fotocatalise, é necessária uma superfície catalítica (semicondutor), um componente oxidante (geralmente o oxigênio) e pôr emissão

de um fóton, com um comprimento de onda ideal ao catalisador (PEREIRA; NAVA, 2016).

Segundo Mishra *et al.*, (2017), na fotodegradação, a oxidação e a redução ocorrem em conjunto, precisando serem equilibrados para que a atividade seja efetiva. Esses dois fenômenos agem através da absorção da luz ultravioleta equivalente ao intervalo de banda. Na superfície de um semicondutor (TiO_2) o fóton ocasiona uma transição eletrônica concebendo lacunas na banda de valência e elétrons depositados na banda de condução.

Quando uma molécula de água entre em contato com o par elétron/lacuna na superfície desprotegida, o potencial originado é possibilitado para gerar radicais $\cdot\text{OH}$ (hidroxila) a partir destas moléculas adsorvidas na banda de valência. O OH^- oxida moléculas orgânicas na presença de TiO_2 e elétrons na banda de condução reagem com O_2 (oxigênio) do ar para formar radical $\cdot\text{O}_2^-$ que ocasiona o processo de redução (Mishra *et al.*, 2017), conforme apresentada a Figura 3.

Figura 3 – Princípio da Fotocatálise Heterogênea



Fonte: NOGUEIRA e JARDIM (1998)

A foto-oxidação com TiO_2 tem sido muito utilizado devido ao fato de ter uma alta estabilidade, disponibilidade, baixo custo e menor toxicidade, também é altamente eficiente na degradação de contaminantes orgânicos e na eliminação microbológica sem a geração de lodo residual (DIAS *et al.*, 2018).

Conforme Silva (2011), outras vantagens sobre os métodos convencionais que a fotocatalise heterogênea com TiO_2 apresenta é a não necessidade da adição de oxidantes químicos, possibilidade de reuso do catalisador, permite o emprego da radiação solar para a sua ativação, constitui um processo de custo relativamente baixo, ampla variedade de compostos orgânicos podem ser mineralizados.

Suas propriedades de espalhamento e reflexão de raios ultravioletas (UV), também são fatores relevantes para o TiO_2 ser o semicondutor mais usado na fotocatalise (PEREIRA; NAVA, 2016).

De acordo com Pereira e Nava (2016), ao dividir o TiO_2 em partículas nanométricas, o mesmo se torna transparente à luz visível, mas mantém suas propriedades de espalhamento e reflexão de raios ultravioletas (UV). Por isso, o TiO_2 absorve uma boa parte destes raios, favorecendo a formação de radicais HO em meio aquoso, o que beneficia a fotocatalise.

De acordo com TEIXEIRA & JARDIM (2004), o TiO_2 pode ser usado na forma de suspensão na solução ou aderido à superfície do reator. Os sistemas em suspensão são mais eficientes quando comparados aos suportados, pois, como as partículas do catalisador estão espalhadas na solução, a resistência a transferência de massa entre os radicais $\bullet\text{OH}$ e os compostos orgânicos diminui.

Uma das limitações dos processos fotocatalíticos com o uso do catalisador em suspensão é que como o semicondutor encontra-se em suspensão no meio reacional, há uma dificuldade na sua remoção após o processo, sendo necessário etapas adicionais para realizar a separação das partículas do semicondutor da fase líquida (TEIXEIRA & JARDIM, 2004).

Além do material amorfo, o TiO_2 é encontrado naturalmente em três formas de polimorfos cristalinos: anatase, rutilo e broquita. Para partículas com tamanhos acima de 14nm (nanômetros), a fase rutilica é a fase termodinamicamente mais estável, já para tamanhos abaixo de 14nm, a fase anatase torna-se mais estável.

A anatase é a fase mais utilizada em processos fotocatalíticos por conter uma estrutura com zonas de deficiência em oxigênio, que atuam como captadoras de elétrons. O TiO_2 pode também ser facilmente sintetizado em laboratório por diversas rotas sintéticas, podendo ser formado em pó, cristais ou até filmes (BRAGA, 2019).

2.2.3 Combinação da Fotocatálise Heterogênea com Carvão Ativado

Os processos de fotocatalise heterogênea apresentam eficiência na degradação de micropoluentes, principalmente utilizando o semicondutor TiO_2 como fotocatalisador. Porém, ainda existem alguns inconvenientes para a execução de sistemas de tratamento em grande escala, o que faz com que adequações e complementações sejam apresentadas com frequência.

Por isso, nos últimos anos, o uso de fotocatalisadores associados a materiais carbonáceos tem sido intensamente investigado, principalmente em função da presença de formas de carbono como carvão ativado por exemplo, com o intuito de favorecer o processo de degradação e ainda facilitar a separação do fotocatalisador após finalização do processo (ROSA, 2014).

3 METODOLOGIA

Neste item serão apresentados os materiais e os métodos utilizados para a realização dos experimentos feitos nesse trabalho.

3.1 Material

O pó de filtro foi coletado na fiação de algodão Cocamar, instalada na cidade de Maringá - Paraná. O catalisador utilizado no trabalho é o dióxido de titânio – Anatase, da empresa Cosmo Chem. Preparou-se o efluente sintético com corante reativo Corafix Azul BR, da marca Coratex.

3.1.1 Produção do Carvão Ativado

O processo de carbonização iniciou-se com a impregnação do material precursor com o agente de ativação química hidróxido de sódio (NaOH), conforme Figura 4.

Figura 4 - Pó de filtro ativado com NaOH



Fonte: Autoria própria (2020)

Para isso, foi adicionado 35 mL de solução de NaOH (0,01 M) em 4g de pó de filtro e a síntese realizada em um reator, apresentado na Figura 5, que possui o volume de 50 mL. O reator é de aço inoxidável, com tampa rosqueável e possui um recipiente de teflon em seu interior, agindo nos materiais precursores através do calor e pressão gerados. Este foi vedado e levado a estufa a 150°C pelo período de 4 horas, obtendo o pó de filtro impregnado com NaOH.

Figura 5 - Reator

Fonte: Aatoria própria (2020)

Foi realizado a produção de 3 tipos de carvão ativado: a primeira sem o catalisador, a segunda com o catalisador adicionado na mufla e a terceira com o catalisador impregnado por maceração, conforme apresenta a Figura 6, após a produção do carvão ativado.

Figura 6 - TiO₂ impregnado ao carvão por maceração

Fonte: Aatoria própria (2020)

Após a ativação do material precursor, o material impregnado foi acoplado em um reator de aço inoxidável com furos para entrada de ar e levado a mufla para ser submetido ao processo de pirólise lenta, com fluxo de gás Nitrogênio (N₂) de 100 mL/min, conforme a Figura 7.

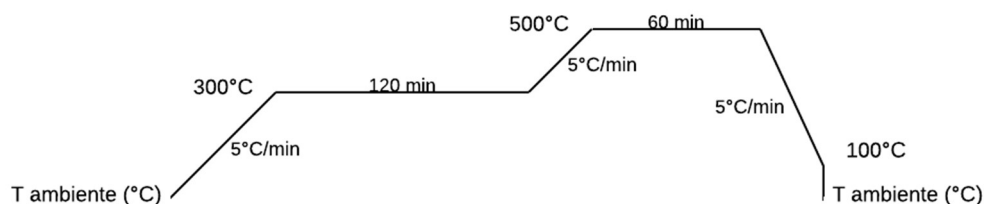
Figura 7 - Processo de obtenção do carvão ativado



Fonte: Autoria própria (2020)

Os tempos e temperaturas do processo de obtenção do carvão ativado são apresentados na rampa de aquecimento, conforme Figura 8.

Figura 8 - Rampa de aquecimento



Fonte: Autoria própria (2020)

Após a retirada do material da estufa, o mesmo foi lavado até a obtenção do pH 7 e depois seco na estufa à 80°C por 2 horas, após esse tempo, foi levado ao dissecador, obtendo-se o carvão ativado.

O rendimento da produção de carvão ativado é calculado de acordo com a equação 1.

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{\text{Massa final (g)}}{\text{Massa inicial (g)}} \cdot 100 \quad \text{Equação (1)}$$

3.1.2 Fotocatálise Heterogênea

Os ensaios foto-oxidativos foram realizados em reator tipo lama (TiO₂ é utilizado em suspensão no meio líquido), em escala de bancada, instalado no

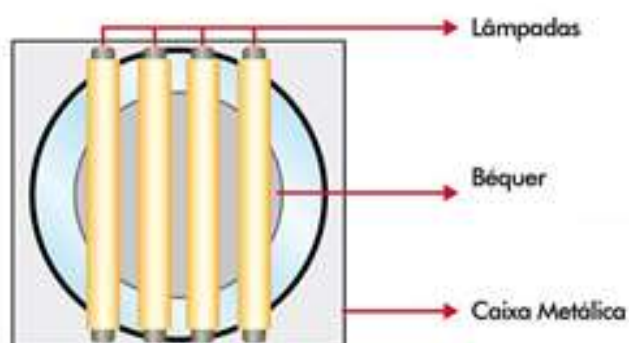
Laboratório de Grupo de pesquisa GETECA, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Apucarana.

Foi preparado uma solução mãe com corante reativo ($0,15 \text{ g.L}^{-1}$) e corrigido com Hidróxido de Sódio (NaOH) e Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) para pH 3, no pHmetro PH – 2000, após o ajuste, foi inserido 50 mL de solução em um béquer e $2,5 \text{ g/L}$ de TiO_2 em seus respectivos carvões.

No béquer 1 foi inserido a solução e $0,250\text{g}$ de carvão com TiO_2 preparado na mufla, no béquer 2 a solução com $0,375\text{g}$ de carvão ativado que teve o TiO_2 impregnado, béquer 3 somente a solução de corante, todos com uma barra magnética. Em um béquer 4 foi inserido $0,250\text{g}$ de carvão ativado sem a adição do TiO_2 e deixado ocorrer a adsorção, os demais foram colocados no reator.

O reator é composto por quatro lâmpadas germicidas de 15W cada, conforme apresenta a Figura 9, totalizando uma fonte de radiação ultravioleta de 60W, que ficam posicionadas sob os béqueres.

Figura 9 - Vista superior do reator



Fonte: Ribeiro (2015)

Os béqueres com os efluentes contendo carvão ativado foram colocados no reator, deixados por 10 minutos sob agitação (1100 rpm) em um agitador magnético, conforme Figura 10, com uma barra magnética, sem a inserção de luz, para que ocorresse a adsorção inicial.

Figura 10 - Agitador magnético

Fonte: Aatoria própria (2020)

Após esse tempo, acendeu-se as fontes de radiação ultravioleta e o efluente permaneceu em tratamento durante o tempo pré determinado de 120 minutos, conforme a Figura 11.

Figura 11 - Tratamento dos efluentes

Fonte: Aatoria própria (2020)

Todo o sistema foi isolado ambientalmente, por meio de uma caixa metálica, evitando a dissipação da radiação, conforme a Figura 12.

Figura 12 - Caixa metálica

Fonte: Autoria própria (2020)

Depois desse processo, deixou-se ocorrer a decantação do efluente visando a separação sólido-líquido e realizou-se a separação do carvão do efluente por filtração. No final do processo foi retirado amostras de 5 mL, centrifugadas em equipamento, conforme mostra a Figura 13, por 20 minutos a 350 rpm, para remover as partículas do catalisador e das fibras em suspensão.

Figura 13 - Centrifuga

Fonte: Autoria própria (2020)

Para determinar a efetividade da descoloração do efluente, foi analisado no espectrofotômetro UV- M51 da marca BEL PHOTONICS, a remoção de cor por meio da determinação do espectro da máxima absorbância do efluente, no intervalo de comprimento de onda de 190-700 nm (nanômetros).

Com o espectro obtido determinou-se o comprimento de onda de máxima absorção. Este comprimento de onda foi utilizado para o cálculo da

descoloração do efluente. Para a determinação da descoloração do efluente se empregou a seguinte equação:

$$\text{Descoloração (\%)} = \frac{\text{Abs}_i - \text{Abs}_f}{\text{Abs}_i} \cdot 100 \quad \text{Equação (2)}$$

Sendo,

Abs_i = Absorbância da solução antes do tratamento

Abs_f = Absorbância da solução após o tratamento

Posteriormente, os mesmos processos foram realizados com outros ajustes de pH, em 5, 7 e 9, com o carvão ativado e TiO_2 inserido na mufla, realizou-se o processo de fotocatalise, conforme a Figura 14.

Figura 14 - Tratamento de efluentes com diferentes pHs



Fonte: Autoria própria (2020)

Após a análise, a melhor condição apresentada foi repetida em triplicata. Calculou-se o desvio padrão dos resultados da triplicata a partir de Equação 3.

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M_A)^2}{n} \quad \text{Equação (3)}$$

Na qual:

V: é a variância;

x_i : é um valor no conjunto de dados na posição i ;

M_A : é a média aritmética dos valores do conjunto de dados;

n : é o total de valores no conjunto de dados.

Após a secagem do mesmo em estufa, pelo tempo de 2 horas e uma temperatura de 80°C e um intervalo de 24 horas no dissecador, nas mesmas condições dos experimentos anteriores, um outro teste de remoção de cor foi realizado, utilizando-se o mesmo carvão usado na triplicata.

3.1.3 Teste de Decantação

Foi preparado duas soluções, a primeira com 380 mL de água e 1,9 g de carvão ativado e a outra a mesma quantidade de água e 0,95g de TiO₂, ambos na proporção utilizada nos experimentos de 2,5 g/L, foram colocadas em um béquer e colocadas em um agitador magnético, conforme Figura 15, juntamente com uma barra magnética, para que ocorresse a suspensão das partículas.

Figura 15 - Agitador magnético



Fonte: Autoria própria (2020)

O ensaio de decantação foi realizado em dois cones de Imhoff (1.000 mL), Figura 16, até que não houvesse mais alteração no volume decantado. No primeiro cone foi adicionado 380 mL de água e 1,9 g de carvão ativado, no outro a mesma quantidade de água e 0,95 g de TiO₂, ambos na proporção utilizada nos experimentos de 2,5 g/L.

Figura 16 – Decantação



Fonte: Autoria própria (2020)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico será apresentado os resultados obtidos nas análises realizadas durante a pesquisa desse trabalho.

4.1 Produção de carvão ativado

O tratamento hidrotérmal consistiu em modificar a estrutura física do material precursor e promover a remoção de substâncias de sua superfície, o carvão ativado obtido com o TiO_2 acoplado no pó de filtro na mufla é apresentado na Figura 17.

Figura 17 - Carvão ativado com TiO_2 na mufla



Fonte: Autoria própria (2020)

O cálculo do rendimento, realizado por meio da Equação 1, pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 - Rendimento da produção de carvão ativado

	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Rendimento (%)
Produção 1	4,0	1,822	45,55
Produção 2	4,0	1,779	44,48

Fonte: Autoria própria (2020)

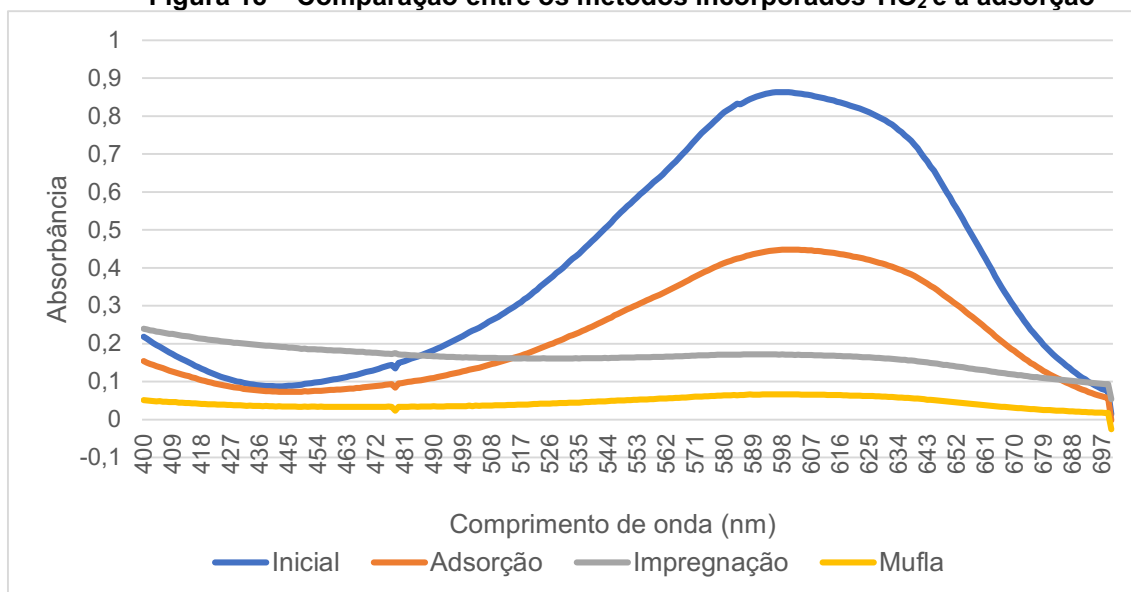
A perda de massa, equivale a remoção de impurezas, como óleos ou graxas, açúcares, substâncias proteicas das fibras e outros materiais presentes na superfície da fibra de algodão, como materiais inorgânicos (micropó) presente no material precursor (LOURENÇO, 2018).

Segundo Moreira; Maldí; Freschi (2019), a inserção de semicondutores no processo de fotocatalise apresenta resultados positivos no processo de degradação.

Analisando-se a absorvância dos tratamentos de efluentes, conforme a Figura 18, com os dois modos de acoplar o TiO_2 no carvão ativado, pode-se

definir o melhor método para continuar os experimentos, para a definição de outros parâmetros.

Figura 18 – Comparação entre os métodos incorporados TiO_2 e a adsorção

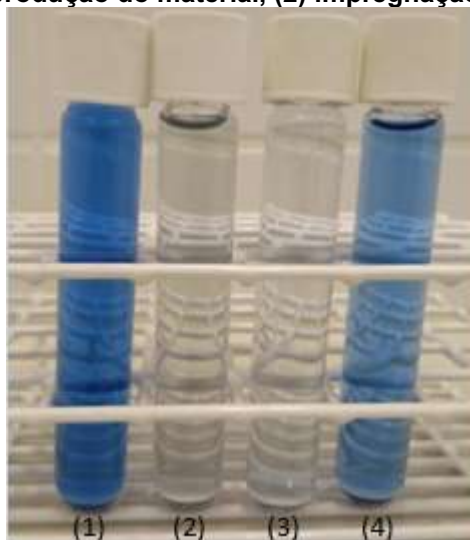


Fonte: Autoria própria (2020)

Os gráficos foram plotados, na faixa de 400 a 700 nm, a qual constitui a radiação visível para seres humanos, ou seja, a luz visível (SALEM, 2010).

A comparação da solução do corante, com os resultados dos tratamentos pode ser observada na Figura 19.

Figura 19 – (1) Solução de corante e processos de descoloração utilizando diferentes métodos de produção do material, (2) impregnação (3) mufla (4) adsorção



Fonte: Autoria própria (2020)

Utilizando-se a Equação 1, obteve-se os resultados da descoloração utilizando o espectro de máxima absorbância da solução de corante sendo essas apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Comparação entre os métodos de adição do TiO₂ para o processo de descoloração

Tratamento	Descoloração
Adsorção	48,18%
Impregnação	80,09%
Mufla	92,30%

Fonte: Autoria própria (2020)

De acordo com os resultados da Tabela 2, o método de adição do TiO₂ na mufla mostrou-se mais eficiente que os demais, porém todos apresentaram resultados satisfatórios, comprovando a eficácia do processo de obtenção do carvão ativado e a incorporação do catalisador no carvão ativado.

A adsorção obteve um percentual bem menor comparando com os processos de combinação da adsorção com a fotocatalise heterogênea, porém, de acordo com Costa (2020), em seus experimentos, a adsorção com carvão ativado produzido a partir de resíduos de tecido de algodão, na remoção de corante reativo em efluente sintético, apresentaram um rendimento de 39,10% em pH ácido, sendo então, a adsorção obtida nesse trabalho maior que a do mesmo.

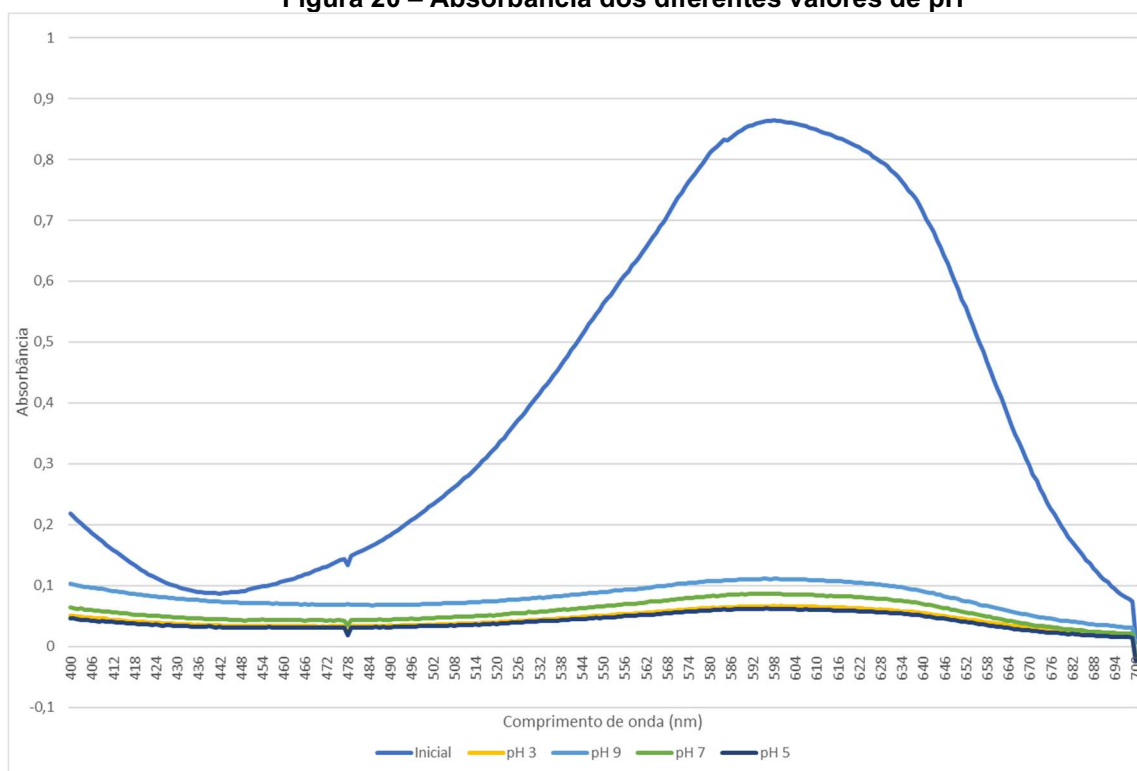
Segundo Stoppe *et al.* (2019), quanto menor a concentração de corante, maior é a eficiência da remoção de cor, como por exemplo, em seus experimentos a concentração de 40 mg/L, em que o percentual de descoloração alcançou 99,65%, em 1440 minutos com o corante azul de metileno (catiônico), a partir desta concentração há um decréscimo gradativo na eficiência de remoção, pois os sítios ativos do adsorvente começam a ser preenchidos mais rapidamente se comparados com as menores concentrações.

Para a concentração de 200 mg/ L o tempo reacional é de aproximadamente 330 minutos, ou seja, quase o triplo do tempo em que foi realizado a adsorção nesse trabalho. De acordo com esses resultados apresentados dos demais autores, se o tempo de adsorção nos experimentos desse trabalho for aumentada, possivelmente a eficiência da adsorção será melhorada, porém esse não era o objetivo (Stoppe *et al.*, 2019).

A concentração de 2,5 g/L de TiO_2 é citada por (RIBEIRO, 2015), como a mais efetiva, no tempo de 120 minutos e com o pH ácido. Em pH ácido (4) com a concentração de 2,5 g/L e o tempo de 4 horas Ribeiro, Ferrari e Tavares (2020), obtiveram um percentual de descoloração de 98,01%, no processo de fotocatalise aplicada ao tratamento de efluentes de lavanderia de jeans.

A partir disso, analisou-se a influência de diferentes valores de pH, visando maior eficiência no processo, conforme apresenta a Figura 20.

Figura 20 – Absorbância dos diferentes valores de pH



Fonte: Autoria própria (2020)

De acordo com a Figura 20, pode-se verificar que o pH 5 apresentou o melhor resultado e isso pode ser confirmado através do cálculo de descoloração (Equação 1), como apresentado na Tabela 3.

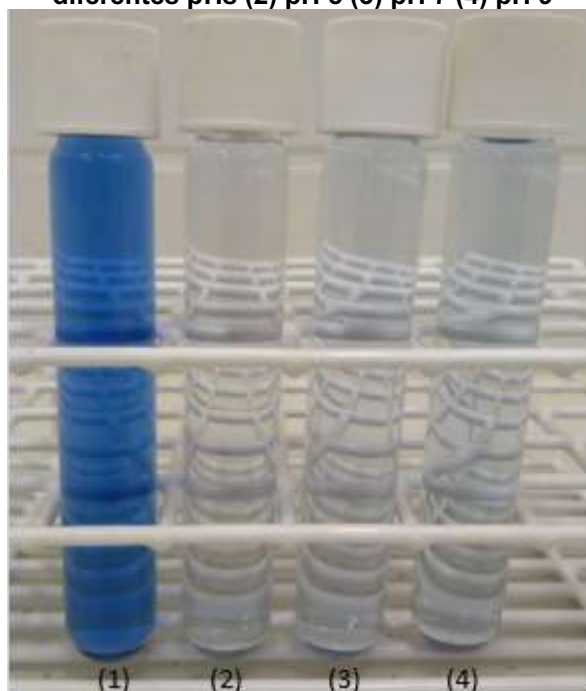
Tabela 3 - Descoloração de efluente têxtil em diferentes pHs

pH	Descoloração
3	92,29%
5	92,83%
7	90,02%
9	87,12%

Fonte: Autoria própria (2020)

A comparação desses resultados pode ser observada na Figura 21.

Figura 21 – (1) Solução de corante e processos de descoloração utilizando diferentes pHs (2) pH 5 (3) pH 7 (4) pH 9



Fonte: Autoria própria (2020)

De acordo com Ribeiro (2015), a maior descoloração do efluente, a partir do tratamento por Fotocatálise heterogênea com TiO_2 , foram atingidas em pH ácido. A melhor atividade deste catalisador em meio ácido também é reportada por diversos pesquisadores, tais como (Bellido *et al.*, 2019), realizaram os experimentos de remoção de cor em pH 11,0 e em pH 5,0, sendo o pH ácido o que apresentou maior eficiência na degradação do corante Rodamina - B, atingindo 97,84% da remoção da cor em 430 minutos. O experimento de Souza *et al.* (2019), realizado em pH 4, apresentou uma remoção de 87,9% da cor em 4 horas.

De acordo com Gomes Neto (2018), o ponto de carga zero (PCZ) corresponde ao pH em que a superfície do catalisador possui carga neutra. Nas partículas de TiO_2 , o valor do PCZ fica entre o pH 4,5-7,0, dependendo da composição das formas cristalinas no catalisador utilizado. Portanto, em pH ácido, o TiO_2 apresenta carga positiva (TiOH_2^+), o que facilita a interação com o corante reativo que apresenta carga negativa.

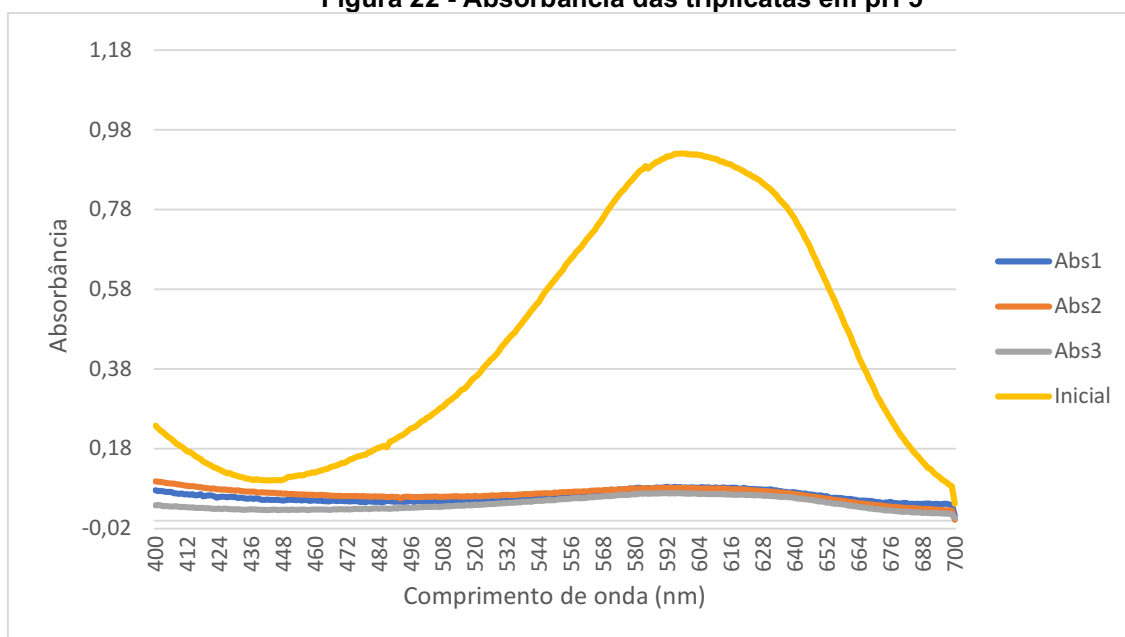
Na triplicata do pH 5, os percentuais de descoloração podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4 - Descoloração em triplicata do efluente têxtil em pH 5

Amostra	Descoloração
1	91,02%
2	91,08%
3	92,59%

Fonte: Aatoria própria (2020)

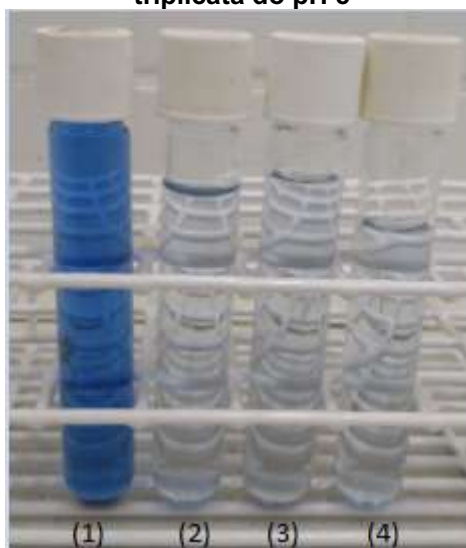
A partir desses resultados, pode-se calcular a média e o desvio padrão, utilizando a Equação 3, obtendo-se o valor de média 91,56% e o desvio padrão $\pm 1,59$. A Figura 22, apresenta os resultados obtidos na triplicata.

Figura 22 - Absorbância das triplicatas em pH 5

Fonte: Aatoria própria (2020)

A Figura 23, apresenta as amostras obtidas a partir da Fotocatálise heterogênea, com o pH 5.

Figura 23 - (1) Solução de corante e (2) (3) (4) processos de descoloração em triplicata do pH 5



Fonte: Aatoria própria (2020)

O percentual de descoloração de 96,34% foi atingido por Ribeiro (2015), nas mesmas condições de tempo, pH, potência e concentração de TiO_2 , porém sem a combinação do processo com carvão ativado. Os menores percentuais obtidos nos experimentos desse trabalho, se devem ao fato de as partículas do carvão ativado obtidas serem pequenas e isso influenciar na cor do efluente final, devido a coloração preta do carvão ativado.

A utilização do pH 5 também se deve ao fato que de acordo com CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011), os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que estejam com o valor de pH entre 5 e 9.

De acordo com Ribeiro (2015), o processo de decantação levou 3 horas, já no trabalho realizado, em 1 hora a decantação já havia estabilizado, o carvão havia decantado 10 mL e o TiO_2 1 mL, porém podendo-se observar resíduo disperso no meio. Devido as suas pequenas partículas do carvão ativado, não ocorreu total clareamento, conforme apresenta a Figura 24, uma solução seria a produção de carvão ativado granular, aumentando o tamanho dessas partículas o que poderia também influenciar na aceleração do processo de decantação, pois apesar de resultado satisfatório da decantação.

Figura 24 – (1) Decantação do carvão ativado incorporado TiO_2 (2) Decantação do TiO_2



Fonte: Autoria própria (2020)

O carvão ativado obtido após o processo de remoção de cor dos efluentes, pode ser observado na Figura 25, na qual é possível notar a coloração azulada, devido a adsorção que ocorreu durante o processo de descoloração do corante azul.

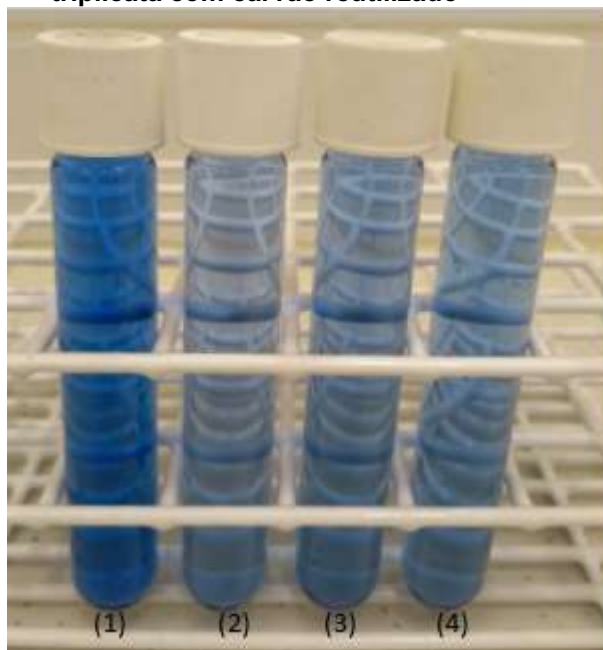
Figura 25 - Carvão após processo de remoção de cor



Fonte: Autoria própria (2020)

Os resultados obtidos no processo de reutilização do carvão ativado para a remoção de cor, podem ser observados na Figura 26.

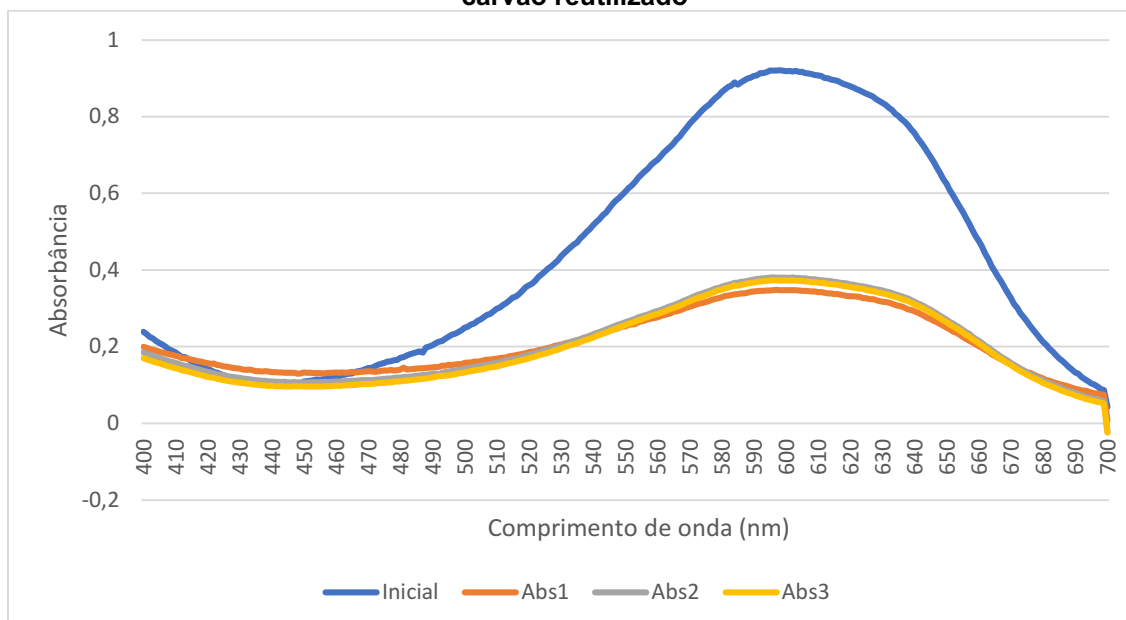
Figura 26 - (1) Solução de corante e (2) (3) (4) processos de descoloração em triplicata com carvão reutilizado



Fonte: Autoria própria (2020)

A partir da leitura no espectrofotômetro, obteve-se o gráfico apresentado na Figura 27.

Figura 27 - Gráfico da absorvância do processo de descoloração utilizando carvão reutilizado



Fonte: Autoria própria (2020)

Utilizando os valores obtidos na leitura do espectrofotômetro, calculou-se a descoloração (Equação 1), apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 - Descoloração reutilizando o carvão

<u>Amostra</u>	<u>Descoloração</u>
1	62,34%
2	58,70%
3	59,51%

Fonte: Autoria própria (2020)

Os resultados obtidos, foram menores em relação a descoloração do carvão ativado utilizado pela primeira vez, porém, o percentual ainda é significativo, levando em consideração que somente o processo de adsorção descoloriu 48,18% e então a junção dos processos de adsorção com a fotocatalise heterogênea, obteve um aumento no percentual de em média 11,70.

Outro ponto importante dos resultados obtidos nesse trabalho é o fato que há uma grande redução no volume de resíduos descartados no aterro, pois o volume de pó de filtro é muito grande e quando transformado em carvão ativado tem-se uma grande redução dessa quantidade e o mesmo ocorre com a quantidade de efluente, pois em outros tipos de tratamento de efluentes, é gerado uma grande quantidade de lodo que são descartados em aterros e isso não acontece no processo de Fotocatalise.

5 CONCLUSÃO

Com o intuito de incorporar o catalisador do processo de fotocatalise heterogênea no carvão ativado a partir de pó de filtro e realizar a remoção de cor combinando o processo de adsorção com o processo de oxidação avançada, para facilitar a etapa pós tratamento de separação sólido-líquido, esse trabalho atingiu seus objetivos.

Apesar de ser um estudo preliminar, os resultados mostram-se promissores, tanto para fazer o carvão ativado a partir do pó de filtro, como para utilizar o carvão como suporte do catalisador.

A produção de carvão ativado a partir de resíduo têxtil de fiação (pó de filtro), apresentou bons resultados nesse estudo preliminar, levando a acreditar que esse resíduo pode ser reutilizado ao invés descartá-lo em aterros sanitários ou industriais, o que gera gastos para as empresas, e ocupam grandes espaços nos aterros e poluem o meio ambiente.

De acordo com os resultados obtidos, o método mais promissor para imobilizar o catalisador no carvão é o de incorporar o TiO_2 previamente, misturando-o no pó de filtro e depois obtendo o carvão ativado em mufla.

Na comparação dos resultados obtidos com os relatados na literatura, esse processo não proporcionou ganhos significativos na remoção de cor, porém diminuiu o tempo de decantação na etapa de separação sólido-líquido.

Espera-se que com o aumento da quantidade de carvão reutilizado, usado para o processo de remoção de cor do efluente têxtil, obtenha-se melhores resultados.

A remoção da cor com outros tipos de corantes, a partir do processo de fotocatalise, possivelmente apresentara diferentes resultados.

Tanto o processo de tratamento do efluente quanto o processo de decantação, apesar de terem apresentado bons resultados, aconselha-se em tentar aumentar o tamanho da partícula do carvão, fazendo em grânulos para acelerar o processo de decantação e aumentar o percentual de coloração devido a sua cor característica.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO - ABIT. **O Setor Têxtil e de Confecção e os Desafios da Sustentabilidade**. 2017. Disponível em: <https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer_public/bb/6f/bb6fdd8d-8201-41ca-981d-deef4f58461f/abit.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE ALGODÃO – ABRAPA. **Algodão no Brasil**. Disponível em: <https://www.abrapa.com.br/Paginas/Dados/Algod%C3%A3o%20no%20Brasil.a.spx>. Acesso em: 05 out. 2020.

AMORIM, C. C. de; LEÃO, M. M. D.; MOREIRA, R. de F. P. M. Comparação entre Diferentes Processos Oxidativos Avançados para Degradação de Corante Azo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Belo Horizonte, v. 14, n. 4, p.543-550, dez. 2009.

ARAÚJO, F. V. da F.; YOKOYAMA, L.; TEIXEIRA, L. A. C. Remoção de Cor em Soluções de Corantes Reativos por Oxidação com H₂O₂/UV. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 1, p.11-14, fev. 2006.

ARAÚJO, R. N. de. **Degradação do Corante Azul Reativo 19 Usando UV; H₂O₂; UV/H₂O₂; Fenton e Foto-fenton: Aplicação em Efluentes Têxteis**. 2002. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71 p.

BARBOSA, G. de A. C. D. **Determinação da Remoção de Cor e Parâmetros Físico-Químicos em Efluente Têxtil Via Adsorção**. 2018. 65 f. TCC (Graduação em Engenharia Química) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

BELLIDO, J. D. A. *et al.* Fotocatálise Heterogênea Aplicada no Tratamento do Corante Rodamina b – Uso de Catalisador de TiO₂ sob Radiação UV. **E-xacta**, v. 12, n. 1, p.11-13, 23 jun. 2019.

BRAGA, C. S. **Síntese de Fotocatalisadores Baseados em Óxidos de Ferro e Dióxido de Titânio para Aplicação em Fotodegradação de Basagran®**. 2019. 80 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Curso de Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2019.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. **Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes**: Federal. Brasília, 16 maio 2011. n. 92, p. 1-9.

CAMÊLO, A. M. T.; CORDEIRO, C. L. S.; RIBEIRO, L. P. D. Tratamento de água barrenta usando semente da moringa e sistema em fluxo. **Brazilian Applied Science Review**, [S.L.], v. 4, n. 4, p. 2165-2174, 2020.

COSTA, J. G. B.. **Carvão Ativado a Partir de Resíduo Têxtil: Síntese, Caracterização e Aplicação na Remoção de Corante Reativo em Efluente Sintético**. 2020. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.

DALLAGO, R. M.; SMANIOTTO, A.; OLIVEIRA, L. C. A. de. Resíduos Sólidos de Curtumes como Adsorventes para a Remoção de Corantes em Meio Aquoso. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 3, p.433-437, fev. 2005.

DIAS, F. F. da S. *et al.* Tratamento de Efluente da Indústria de Laticínios Aplicando Processo Oxidativo Avançado ($H_2O_2/TiO_2/UV$). **GEAMA: Ciências Ambientais e Biotecnologia**, Recife, v. 4, n. 3, p.10-15, set. 2018.

DIAS, F. F. *et al.* Tratamento de Efluente Têxtil Através de Processo Oxidativo Avançado ($H_2O_2/TiO_2/UV$). **GEAMA: Ciências Ambientais e Biotecnologia**, Recife, v. 4, n. 3, p.4-9, set. 2018.

FERRARI, A. M. *et al.* $CaTiO_3$ Perovskite in the Photocatalysis of Textile Wastewater. **Ambiente e Água: An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, Taubaté, v. 14, n. 3, p.1-11, 20 maio 2019. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi).

FERREIRA, P. C. **Remoção de Corantes de Efluente Têxtil por Zeólita de Cinzas de Carvão Modificada por Surfactante e Avaliação dos Efeitos Tóxicos**. 2015. 124 f. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear) – Curso de Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais, Autarquia Associada à Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

FREIRE, F. B; FREITAS, S. L. de. Avaliação da Remoção de Cor de um Efluente Têxtil Sintético. **Remo**, Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 3, p.241-249, set. 2010.

FREIRE, L. F. A. *et al.* Avaliação da Adsorção de Efluente Têxtil por Compósitos de Quitosana. **Revista Processos Químicos**, Anápolis, v. 12, n. 24, p.9-17, 2 jul. 2018.

GARCIA, O. L. **Avaliação da Competitividade da Indústria Têxtil Brasileira**. 1994. 219 f. Tese (Doutorado em Economia) - Curso de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1994.

GOMES NETO, J. S. **Investigação do Mecanismo de Degradação e da Participação de Agentes Sequestrantes na Fotocatálise com TiO_2/UV do Corante Índigo Carmina**. 2018. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

GUARATINI, C.C.I.; ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. **Química nova**, São Paulo, p. 71-78, 2000.

GUILARDUCI, V. V. da S. *et al.* Adsorção de Fenol Sobre Carvão Ativado em Meio Alcalino. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 6, p.1-7, jun. 2006.

HASSEMER, M. E. N. **Oxidação Fotoquímica - UV/H₂O₂ - para Degradação de Poluentes em Efluentes da Indústria Têxtil**. 2006. 175 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

HSUEH, C.I. *et al.* Degradation of Azo Dyes Using Low Iron Concentration of Fenton and Fenton-like System. **Chemosphere**, [s.l.], v. 58, n. 10, p.1409-1414, mar. 2005.

KUHN, D. **Tingimento de Algodão com Corante Reativo sem Uso de Sal por Meio de Cationização e Aplicação de Óleo de Soja**. 2019. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Têxtil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2019.

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

LOPES, M. S. **Remoção do Corante Azul Reativo 19 por Adsorção em Carvão Ativado e em Lama Vermelha nas Formas Naturais e Tratadas por Ozônio**. 2017. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru, 2017.

LOURENÇO, G. R.; SILVA, T. L. da. Processo de pré-tratamento Hidrotermal de Resíduo Têxtil para Produção de Carvão Ativado. *In: Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica*, 2018, Apucarana. Apucarana: UTFPR, 2018. p. 1 – 7

MACHADO, L. L. **Utilização de Compósito Carvão/Fe₂O₃ e Pirita como Catalisadores da Peroxidação de Efluentes Têxteis**. 2007. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MISHRA, A. *et al.* Enhanced heterogeneous photodegradation of VOC and dye using microwave synthesized TiO₂/Clay nanocomposites: A comparison study of different type of clays. **Journal Of Alloys And Compounds**, Amsterdã, v. 694, p.574-580, fev. 2017.

MONTANHER, S. F.; FARIAS, L. B. N.; DALPASQUALE, M. Adsorção de corantes têxteis em serragem de MDF (*Medium-Density Fiberboard*). **Brazilian Journal Of Development**, Curitiba, v. 5, n. 9, p.14776-14789, 2019.

MOREIRA, A. J.; MALDI, C. P.; FRESCHI, G. P. G. Aplicação de Processo Fotocatalítico Mediado por Dióxido de Titânio para Degradação de Sertralina. **Acta Brasiliensis**, Minas Gerais, v. 4, n. 3, p. 17-20, 02 jan. 2019.

NOGUEIRA, R. F. P.; JARDIM, W. F. A Fotocatálise Heterogênea e sua Aplicação Ambiental. **Química Nova**, São Paulo, v. 21, n. 1, p.69-72, fev. 1998.

PAGANNI, N. C.; EURICH, V. R. P.; FRANCO, J. M. Gerenciamento de Resíduos Sólidos de Indústria de Fios em Cooperativa Agroindustrial. *In*: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2., 2011, Londrina. **Anais**. Londrina: IBEAS, 2011.

PAIVA, R. S. de A. **Modelo para Observação das Etapas Produtivas em Empresas de Confecção**. 2010. 62 f. Monografia (Especialização) - Curso de Moda, Cultura de Moda e Arte, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2010.

PEREIRA, C. A. A.; NAVA, M. R. **Estudo da Fotodegradação de Efluente de Celulose e Papel com Fotocatalisadores Sintetizados Via Precursores DE TiO₂**. 2016. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) - Curso de Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

PEREIRA, E. *et al.* Preparação de Carvão Ativado em Baixas Temperaturas de Carbonização a Partir de Rejeitos de Café: Utilização de FeCl₃ como Agente Ativante. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 6, p.1-5, jul. 2008.

PINHEIRO, E. **Contribuição da Logística Reversa para a Destinação de Resíduos Sólidos Têxteis do APL do Vestuário de Maringá /Cianorte – PR**. 2014. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2014.

RIBEIRO, J. P. *et al.* Uso do processo H₂O₂/UV - Adsorção no tratamento de efluente têxtil. **DAE**, São Paulo, v. 58, n. 183, p.4-8, 2010.

RIBEIRO, V. A. dos S. **Tratamento de Efluente de Lavanderia Industrial de Jeans por Fotocatálise Heterogênea Aplicando Catalisadores em Suspensão e Imobilizado**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2015.

RIBEIRO, V. A. dos S.; FERRARI, A. M.; TAVARES, C. R. G. Fotocatálise Aplicada ao Tratamento de Efluentes de Lavanderia de Jeans: Comparação entre TiO₂ e ZnO na Eficiência de Remoção de cor / photocatalysis applied tolaundry wastewater treatment. **Brazilian Journal Of Business**, v. 2, n. 3, p. 2788-2798, 2020.

RIBEIRO, V. A. dos S.; TAVARES, C. R. G. Análise do Reuso de Efluente de Lavanderia de Jeans Tratado por Fotocatálise Heterogênea. **Brazilian Journal**

Of Animal And Environmental Research. São José dos Pinhais, p. 395-404. ago. 2018.

RODRIGUES, L. S.; HENKES, J. A. Gerenciamento de Resíduos Sólidos em uma Indústria Têxtil. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 7, n. 1, p.700-745, 19 fev. 2018.

ROSA, S. M. C. **Preparo, Caracterização e Uso de Nanocompósitos Contendo TiO₂ e Carvão Ativado, Visando a Degradação de Estrogênios por Fotocatálise Heterogênea.** 2014. 145 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Curso de Química, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

SALGADO, B. C. B. *et al.* Descoloração de Efluentes Aquosos Sintéticos e Têxtil Contendo Corantes Índigo e Azo via Processos Fenton e Foto-assistidos (UV e UV/H₂O₂). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Fortaleza, v. 14, n. 1, p.1-8, mar. 2009.

SANTOS, A. da S. **Práticas de Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Gerados na Cadeia Produtiva Têxtil e de Confecções no Município de Tobias Barreto (SE).** 2018. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Administração) - Curso de Administração, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2018.

SCHIMMEL, D. **Adsorção dos Corantes Reativos Azul 5G e Azul Turquesa QG em Carvão Ativado Comercial.** 2008. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2008.

SILVA, A. N. da. **Valorização de Resíduos Têxteis.** 2009. 116 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental) - Curso de Gestão Ambiental, Universidade do Minho, Portugal, 2009.

SILVA, G. L. **Análise do Uso de Coagulantes Orgânicos no Tratamento de Efluente Industrial Gerado no Processo de Fiação de Seda.** 2019. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2019.

SILVA, E. O. da *et al.* Produção de Carvão Ativado a partir da Palha de Azevém para Adsorção de Corante Têxtil. **Revista da Jornada da Pós-graduação e Pesquisa - Congrega**, Bagé, v. 15, n. 15, p.194-208, out. 2018.

SILVA, M. G. da. **Corantes Naturais no Tingimento e Acabamento Antimicrobiano e Anti-UV de Fibras Têxteis.** 2018. 165 f. Tese (Doutorado em Engenharia Têxtil) - Curso de Engenharia Têxtil, Universidade do Minho, Portugal, 2018.

SILVA, V. F. da. **Tratamento Fotocatalítico de Efluente Têxtil Empregando TiO₂ em Pó e Suportado.** 2011. 233 f. Tese (Doutorado em Química) - Curso de Química, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

SOARES, J. L. **Remoção de Corantes Têxteis por Adsorção em Carvão Mineral Ativado com Alto Teor de Cinzas.** 1998. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

SOUZA, C. R. L. de; PERALTA-ZAMORA, P. Degradação de Corantes Reativos pelo Sistema Ferro Metálico/Peróxido de Hidrogênio. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 2, p.226-228, mar. 2005.

SOUZA, Z. S. B. de *et al.* Avaliação da Fotocatálise com UV/TiO₂ para Tratamento de Efluentes Têxteis. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 30., 2019, Rio Grande do Norte. **Anais**. Abes, 2019. p. 1-8.

STOPPE, A.C.R. *et al.* Remoção do Corante Azul de Metileno no Tratamento de Efluentes por Adsorção em Carvão de coco verde e Carvão ativado. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, 39., 2019, Belém: **Anais**. ENEMP, 2019. p. 1-12.

TEIXEIRA, C. P. A. B., JARDIM, W. F. “**Caderno Temático: Processos Oxidativos Avançados - Conceitos Teóricos.**” Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas. Vol. 3. Campinas, SP, 2004.

YASMINA, M. *et al.* Treatment Heterogeneous Photocatalysis; Factors Influencing the Photocatalytic Degradation by TiO₂. **Elsevier**, Amsterdã, v. 50, n. 1, p.559-566, jun. 2014.