

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG**  
**CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**SABRINA RODRIGUES DOS SANTOS**

**UTILIZAÇÃO DE BIOCATALISADORES NO TRATAMENTO DE EFLUENTES**  
**TÊXTEIS**

**FORMIGA – MG**

**2019**

SABRINA RODRIGUES DOS SANTOS

UTILIZAÇÃO DE BIOCATALISADORES NO TRATAMENTO DE EFLUENTES  
TÊXTEIS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso de Engenharia Química do UNIFOR-MG,  
como requisito parcial para obtenção do título de  
bacharel em Engenharia Química.  
Orientador: Prof. Antônio J. dos Santos Júnior

FORMIGA – MG

2019

SABRINA RODRIGUES DOS SANTOS

UTILIZAÇÃO DE BIOCATALISADORES NO TRATAMENTO DE EFLUENTES  
TÊXTEIS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso de Engenharia Química do UNIFOR-MG,  
como requisito parcial para obtenção do título de  
bacharel em Engenharia Química.

BANCA EXAMINADORA

*Antônio José dos Santos Júnior*

Prof. M.e Antônio José dos Santos Júnior

Orientador

*Fernando César Silva Lage*

Prof. M.e Fernando César Silva Lage

UNIFOR-MG

*Rodrigo Duarte Silva*

Prof. D.r Rodrigo Duarte Silva

UNIFOR-MG

Formiga, 4 de novembro de 2019.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado força, e por ter permitindo que eu chegasse até aqui.

Aos meus pais, que tanto me apoiaram e me motivaram, ao meu namorado Guilherme por não me deixar desistir em momento algum.

Ao meu orientador Prof. M.e Antônio José dos Santos Júnior, pela dedicação, sabedoria e atenção.

Aos meus amigos de turma, quem compartilharam comigo muitas lágrimas, mas também muitos sorrisos, fazendo com que esta caminhada se tornasse mais leve e satisfatória.

## RESUMO

Nos processos desenvolvidos dentro da indústria têxtil, são utilizados diferentes tipos de matéria-prima, as quais possuem diferentes classificações. Dentro do processo produtivo esta matéria-prima passará por diversas etapas de transformação. Em uma delas é realizada a aplicação de corantes para o seu tingimento, dos quais uma parte se fixa à fibra e outra parte sai junto à água. Durante esses processos o consumo de água é muito elevado e, conseqüentemente, tem-se a geração de efluentes contendo uma elevada carga de poluentes que quando não tratados adequadamente provocam grandes danos ao meio ambiente e ao homem. Devido a isso este efluente passa por tratamentos convencionais, compostos por processos físicos, químicos e biológicos, que possuem como finalidade a diminuição desses poluentes para que o descarte do mesmo atenda as especificações de descarte, ficando dentro dos limites estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Entretanto, os tratamentos convencionais não são totalmente eficientes na remoção de cor desses efluentes, provocada pelos corantes que não se fixam às fibras, necessitando de tratamentos complementares. Um tratamento complementar apresentado por pesquisadores é a utilização da enzima peroxidase, que neste caso foi extraída do nabo (PEN), que atua nos resíduos de corantes ali contidos, catalisando a diminuição de peróxido de hidrogênio, à medida que um doador de elétron é oxidado, efetuando uma remoção eficiente de corantes. A utilização de enzimas em diferentes processos também vem sendo estudada atingindo resultados satisfatórios em todos eles.

Palavras-chaves: Indústria têxtil. Tratamento de efluente. Enzima. Peroxidase.

## ABSTRACT

In the processes developed within the textile industry, different types of raw materials are used, which have different classifications. Within the production process this raw material will go through several stages of transformation. In one of them dyes are applied for dyeing, part of which is attached to the fiber and another part comes out of the water. During these processes the water consumption is very high and, consequently, there is the generation of effluents containing a high load of pollutants that when not properly treated cause great damage to the environment and man. Because of this this effluent goes through conventional treatments, composed by physical, chemical and biological processes, which have the purpose of reducing these pollutants so that their disposal meets the disposal specifications, staying within the limits established by the National Council of the Environment. (CONAMA). However, conventional treatments are not fully efficient in removing color from these effluents, caused by dyes that do not attach to the fibers, requiring additional treatments. A complementary treatment presented by researchers is the use of the enzyme peroxidase, which in this case was extracted from turnip (PEN), which acts on the dye residues contained therein, catalyzing the reduction of hydrogen peroxide as an electron donor is oxidized. , performing efficient dye removal. The use of enzymes in different processes has also been studied reaching satisfactory results in all of them.

Keywords: Textile industry. Effluent treatment. Enzyme. Peroxidase.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxo produtivo da Cadeia Têxtil e de Confecção .....	17
Figura 2 - Algodão.....	18
Figura 3 - Produção da fibra de seda. ....	19
Figura 4 - Fibra de lã. ....	19
Figura 5 - Planta Rami.....	19
Figura 6 - Fibra de linho. ....	20
Figura 7 - Fibra de juta. ....	20
Figura 8 - Fibra de sisal. ....	21
Figura 9 - Fibra de viscosa. ....	21
Figura 10 - Fibra de acetato. ....	22
Figura 11 - Fibra de poliéster. ....	23
Figura 12 - Fibra de náilon. ....	23
Figura 13 - Fibra de lycra. ....	24
Figura 14 - Fios de trama, urdume e ourela.....	25
Figura 15 - Principais operações que integram o beneficiamento têxtil.....	27
Figura 16 - Rio poluído com corante.....	38
Figura 17 - Estrutura química do corante turqueza remazol G 133% .....	48
Figura 18 - Estrutura química do corante remazol brillante blue R .....	48
Figura 19 - Estrutura química do corante metil orange .....	48
Figura 20 - Avaliação do tempo ideal na remoção de cor por enzima .....	51
Figura 21 - Remoção da cor em diferentes concentrações de PEN.....	52
Figura 22 - Remoção da cor em diferentes concentrações do corante CTR.....	53
Figura 23 - Descoloração do efluente contendo corante turqueza remazol G 133%, em função do tempo de contato.....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação de corantes conforme o grupo cromóforo.....	29
Tabela 2 - Parâmetros dos efluentes gerados e o consumo de água em indústrias têxteis. ....	33
Tabela 3 - Parâmetros de lançamentos de efluentes líquidos de acordo com as Resoluções COPAM n°01/2008 e CONAMA n°430/2011 .....	35
Tabela 4 - Tratamentos convencionais de efluentes.....	39
Tabela 5 - Enzimas aplicáveis em tratamento de efluentes. ....	46
Tabela 6 - Atividade de peroxidase. ....	50
Tabela 7 - Classificação dos corantes em estudo. ....	54
Tabela 8 - Descoloração dos corantes por peroxidase de nabo (PEN).....	54
Tabela 9 - Determinação da demanda química de oxigênio (DQO) .....	56

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

pH – Potencial hidrogeniônico

H<sup>+</sup> - Íons hidrogênio

PEN – Peroxidase extraída do nabo

LGRQ – Laboratório de Gestão de Resíduos Químicos

UFLA – Universidade Federal de Lavras

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> - Peróxido de hidrogênio

CTR – Corante turqueza remazol G 133%

CaO<sub>2</sub> - Peróxido de cálcio

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1. Objetivo Geral.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2. Objetivos Específicos .....</b>	<b>13</b>
<b>3. JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>14</b>
<b>4. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
<b>4.1. Desenvolvimento da Indústria Têxtil.....</b>	<b>15</b>
<b>4.2. Indústria Têxtil .....</b>	<b>16</b>
<b>4.3. Matérias-primas Têxteis .....</b>	<b>18</b>
<b>4.3.1. Fibras Naturais .....</b>	<b>18</b>
<b>4.3.2. Fibras Artificiais .....</b>	<b>21</b>
<b>4.3.3. Fibras Sintéticas.....</b>	<b>22</b>
<b>4.4. Processo Produtivo da Indústria Têxtil.....</b>	<b>24</b>
<b>4.4.1. Fiação .....</b>	<b>24</b>
<b>4.4.2. Tecelagem .....</b>	<b>25</b>
<b>4.4.3. Malharia .....</b>	<b>26</b>
<b>4.4.4. Beneficiamento .....</b>	<b>26</b>
<b>4.5. Corantes.....</b>	<b>28</b>
<b>4.6. Efluentes Industriais .....</b>	<b>31</b>
<b>4.7. Efluentes Têxteis.....</b>	<b>32</b>
<b>4.8. Descarte de Efluentes .....</b>	<b>34</b>
<b>4.9. Principais Parâmetros Envolvidos na Qualidade da Água.....</b>	<b>35</b>
<b>4.9.1. Cor.....</b>	<b>35</b>
<b>4.9.2. Turbidez.....</b>	<b>36</b>
<b>4.9.3. pH.....</b>	<b>36</b>
<b>4.9.4. Temperatura.....</b>	<b>36</b>
<b>4.9.5. Óleos e Graxas.....</b>	<b>36</b>
<b>4.9.6. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).....</b>	<b>36</b>
<b>4.9.7. Demanda Química de Oxigênio (BQO) .....</b>	<b>37</b>
<b>4.10. Tratamentos Convencionais de Efluentes Têxteis .....</b>	<b>37</b>
<b>4.10.1. Tratamento Preliminar .....</b>	<b>39</b>
<b>4.10.1.1. Gradeamento .....</b>	<b>39</b>
<b>4.10.1.2. Peneiramento.....</b>	<b>39</b>
<b>4.10.1.3. Sedimentação.....</b>	<b>40</b>

4.10.2. Tratamento Primário.....	40
4.10.2.1. Coagulação .....	40
4.10.2.2. Flotação.....	41
4.10.2.3. Decantação.....	41
4.10.3. Tratamento Secundário .....	41
4.10.3.1. Lagoas facultativas de estabilização.....	42
4.10.3.2. Lagoas aeradas.....	42
4.10.3.3. Lodos ativos .....	43
4.10.3.4. Filtros biológicos .....	43
4.10.4. Tratamento Terciário .....	43
4.10.4.1. Osmose reversa .....	44
4.10.4.2. Troca iônica .....	44
4.10.4.3. Eletrodialise.....	44
4.10.4.4. Carvão ativado .....	45
4.11. Aplicação de Enzimas em Tratamentos Alternativos Para Efluentes Têxteis .....	45
4.12. Utilização de Peroxidase Extraída de Vegetais no Tratamento de Efluentes Têxteis .....	46
4.12.1. Definição do vegetal mais rico em peroxidase e com maior atividade.....	50
4.12.2. Tempo de contato do corante com a enzima .....	50
4.12.3. Variação na concentração da enzima.....	51
4.12.4. Variação na concentração de corante .....	52
4.12.5. Descoloração dos corantes.....	53
4.12.6. Descoloração dos efluentes sintéticos .....	55
4.12.7. Demanda química de oxigênio (DQO) .....	55
4.13. Utilização de Enzima em Outros Processos .....	56
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	58
REFERÊNCIAS .....	59

## 1. INTRODUÇÃO

A partir da necessidade humana pouco a pouco as manufaturas foram surgindo, superando diversas barreiras e devido à globalização sua evolução se tornou constante até os tempos atuais, dando origem às grandes indústrias têxteis.

A indústria têxtil se tornou um setor produtivo o qual se desenvolve constantemente em todos os aspectos, gerando grandes quantidades de produtos de todos os tipos. A utilização da água é essencial para o desenvolvimento de quase todas as técnicas envolvidas no processo. Conseqüentemente diferentes resíduos se integram a ela, podendo causar alterações em suas características, produzindo um volume elevado de efluentes com grande carga poluidora, que promovem grandes impactos quando não tratados adequadamente antes de seu descarte.

Com isso o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) desenvolveu especificações e condições apresentadas nas resoluções N°357/2005 e N°430/2011, para o descarte desses efluentes os quais não podem ultrapassar os limites e padrões determinados.

Os efluentes gerados pelas indústrias têxteis são submetidos a tratamentos considerados convencionas para a redução de cargas poluentes contidas no mesmo, passando por processos físicos, químicos e biológicos. Eventualmente, estes tratamentos não conseguem remoção completa da cor obtida pelos efluentes devido à utilização dos corantes em seu processo produtivo. Com isso a utilização de métodos complementares se torna necessária.

Um dos métodos estudados para completar o processo convencional de tratamento de efluentes têxteis é a utilização de enzimas, que atuam na descoloração dos corantes ali contidos, como por exemplo, a peroxidase que é um método o qual tem mostrado uma boa eficiência nesta remoção de corantes.

Existem ainda muitos outros estudos os quais relacionam a utilização das enzimas em processos com objetivos distintos, como por exemplo, na desodorização de adubos e na redução de compostos fenólicos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Realizar estudo sobre efluentes gerados por indústrias têxteis, e a utilização de enzimas no tratamento e na remoção de cor destes efluentes.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Identificar a composição geral de efluentes têxteis e suas formas de tratamentos atualmente empregadas
- Avaliar a eficiência da utilização de enzimas no tratamento de efluentes têxteis industriais.
- Verificar a aplicabilidade das enzimas em outros processos.

### **3. JUSTIFICATIVA**

O tratamento de efluentes industriais tem ganhado cada vez mais a atenção de estudiosos, devido aos grandes volumes produzidos e aos seus constituintes como, por exemplo, corantes e produtos químicos, que uma vez descartados incorretamente podem ocasionar grandes problemas ao meio ambiente e também aos homens.

Para que ocorra o descarte adequado de efluentes industriais têxteis ao corpo receptor o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) determina as condições e padrões adequados a serem obedecidos.

Dessa forma novos estudos vêm sendo desenvolvidos com o intuito de agregar melhorias aos tratamentos destes efluentes, uma vez que os tratamentos convencionais não se mostram totalmente eficientes em alguns casos. Neste sentido a utilização de enzimas para tratamento de efluentes é uma área emergente, que vem ganhando grande importância por apresentar características bem eficientes na remoção de cor do mesmo, apresentando, por exemplo, bom desempenho em concentrações baixas ou elevadas de contaminantes.

## 4. REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1. Desenvolvimento da Indústria Têxtil

No final do século XVIII, as manufaturas inglesas e francesas começaram a se desenvolver. Nessa época começou-se a observar que no Brasil a produção de algodão pendia ao desenvolvimento, com grandes chances da produção industrial têxtil local. Porém existiam impedimentos à produção brasileira. Um alvará em 1785 foi expedido por D. Maria I que proibia a instalação de fábricas e manufaturas no Brasil, alegando que, com o desenvolvimento das fábricas e manufaturas, os colonos abandonariam o cultivo e a exploração das riquezas da terra. Para que a agricultura e a extração de ouro e diamantes não enfraquecessem por "falta de braços", a rainha decidiu proibir todo tipo de fábrica e manufatura têxtil no Brasil, com exceção daquelas que produzissem tecidos grosseiros que servissem para vestuário dos negros e empacotamento dos produtos das fazendas e outros gêneros, mas em 1808 ocorre a invalidação deste alvará por D. João VI, pois com a mudança da corte portuguesa para o Rio de Janeiro foram necessárias novas fontes de renda (<sup>1</sup>STEIN, 1957 apud LIMA e SANSON, 2008, p. 111).

De acordo com Stein (1957 apud LIMA e SANSON, 2008, p. 112), em 1846 com o cancelamento das taxas alfandegárias incidentes sobre o maquinário e matérias-primas dão-se origem as primeiras fábricas de tecelagem e de algodão em Santo Aleixo (Rio de Janeiro) e em Todos os Santos (Bahia). A liberação da exportação do maquinário utilizado em 1843 também favoreceu o surgimento das fábricas.

Segundo Lima e Sanson (2008), no Brasil, o ambiente mais favorável para o desenvolvimento das fábricas foi a Bahia, pelo fato da grande quantidade de matérias-primas, pelas fontes de energia e mercados rurais e urbanos relativamente grandes. Entre 1866 a 1885 a produção de tecido aumentou 140% na Bahia, porém com o crescimento das indústrias em outros estados sua produção em escala nacional caiu.

Tendo o algodão como principal matéria-prima das indústrias têxteis, no período de 1780 a 1820, o Brasil era um dos mais importantes fornecedores deste produto para as indústrias inglesas. No entanto a procura pelo algodão aumentou mais que sua produção e com isso a Inglaterra começou a importar sua matéria-prima de outros países como Estados Unidos, Egito e Índia. Mas em 1860 as exportações de algodão voltaram a crescer devido à

---

<sup>1</sup> STEIN, Stanley. *Origens e Evolução da Indústria Têxtil no Brasil – 1850/1950*. Rio de Janeiro: Campus. 1979. Original em inglês de 1957.

falta do produto na Europa. Entre 1865 e 1875, por três vezes, as exportações brasileiras excederam cem milhões de libras, o que se referia de 6 a 7 vezes as exportações médias anteriores à Guerra Civil Americana (LIMA e SANSON 2008).

Com o fim da Guerra Civil Americana os Estados Unidos voltaram ao mercado, diminuindo novamente em 1873 as exportações brasileiras. Contudo essa queda ajudou no desenvolvimento do setor têxtil brasileiro, pois com a queda do algodão brasileiro no mercado internacional, ocorreu o aumento da demanda de algodão oferecida internamente, provocando a queda nos preços. As nove fábricas de tecido situadas no país geravam em torno de quatro milhões de metros de tecido em 1866 e até 1885, essa produção cresceu, atingindo os 20 milhões de metros, com 42 fábricas instaladas (LIMA; SANSON 2008).

Já no século XX, quando se deu início a Primeira Guerra Mundial, em 1914, ocorreu a diminuição das indústrias têxteis. Algumas fabricas fecharam e outras reduziram suas horas de trabalho, mas em 1931 e 1938 o setor voltou a se desenvolver, apresentando 50% em seu crescimento (FUJITA; JORENTE, 2015).

Na década de 80 o cenário brasileiro começa a mostrar incertezas e obstáculos com a alta do desemprego. Com isso o setor têxtil fica fragilizado e desatualizado com relação a tecnologia, ficando atrasado em relação a outros países (FUJITA; JORENTE, 2015).

Nos anos 90, com a globalização, o Brasil se vê na necessidade de uma produção mais sofisticada e de avanços tecnológicos com intuito de fortalecer a indústria devido a competitividade externa (FUJITA; JORENTE, 2015).

Já em 2011, o Brasil se coloca em 8º posição dentre os grandes produtores têxteis e como 7º na produção de artigos confeccionados. Entretanto sua participação no comércio internacional é pequena, sendo o 26º em exportação de têxteis e o 48º em exportação de artigos confeccionados, sendo a China o país que mais exporta ambos os produtos (FUJITA; JORENTE, 2015).

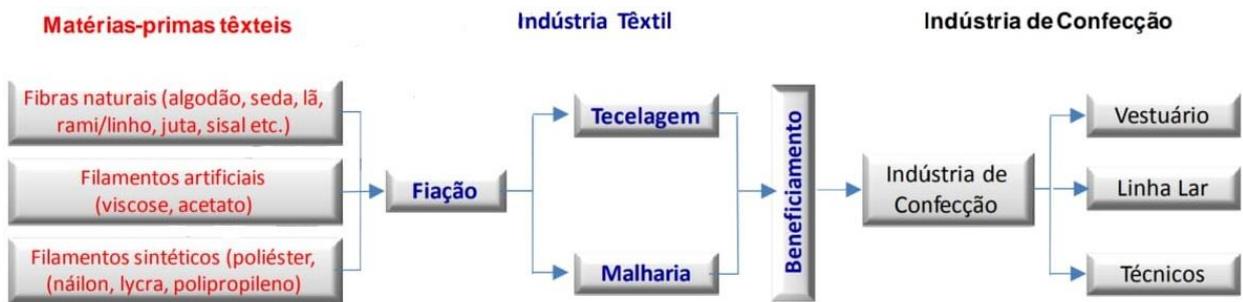
## **4.2. Indústria Têxtil**

Segundo Medeiros (2014), a cadeia de produção da indústria têxtil e das confecções é constituída por vários segmentos que são responsáveis por diferentes áreas de produção, que quando associados uns aos outros constituem a cadeia produtiva têxtil e de confecções.

A indústria têxtil propriamente dita constitui uma etapa dessa cadeia, compreendendo a fiação, a tecelagem, a malharia e o beneficiamento (tinturaria, estamparia, lavanderia etc.) [...]. O processo produtivo da cadeia têxtil se inicia com a matéria-prima (fibras e filamentos) sendo transformada em fios nas fábricas de fiação, seguindo para a tecelagem plana ou para a malharia e, finalmente, para o acabamento. Cada uma dessas etapas possui características próprias, existindo descontinuidade entre elas. Assim, o resultado final de cada etapa constitui o insumo principal da seguinte. Cada um dos elos principais subdivide-se em várias operações conexas, mas igualmente independentes entre si. A independência das fases principais e das etapas inerentes a cada uma delas decorre do fato de que cada etapa elabora um produto final, embora em condições pré-determinadas pelo sistema de produção (BEZERRA, 2014, p.2).

Ainda segundo Bezerra (2014), a ruptura das operações proporciona a flexibilidade no arranjo da produção e na existência de empresas de produção diferentes. A FIG. 1 mostra a estrutura do fluxo produtivo na indústria têxtil.

Figura 1 - Fluxo produtivo da Cadeia Têxtil e de Confecção



Fonte: BEZERRA, 2014, P.2

O desenvolvimento tecnológico nos processos de produção da indústria têxtil origina-se dos avanços na produção de matérias-primas (BEZERRA 2014).

### 4.3. Matérias-primas Têxteis

A indústria têxtil trabalha com diferentes tipos de matéria-prima com o objetivo de disponibilizar ao mercado e empresas de confecções produtos com diversas opções de fibras.

As fibras podem ser encontradas como fibras naturais, que podem ser de origem animal, vegetal ou mineral, e fibras químicas, que são produzidas através de materiais de origem vegetal ou petroquímicos, e são classificadas em artificiais e sintéticas. A seguir serão dados alguns exemplos dessas fibras.

#### 4.3.1. Fibras Naturais

A seguir estão alguns exemplos de fibras naturais.

- **Algodão:** É considerado uma das fibras mais importantes para a indústria têxtil, que já vem sendo utilizado há mais de 7.000 anos, formado principalmente por celulose, ceras naturais e proteínas. Possui um grande número de grupos hidroxilas na celulose, sendo bastante eficiente na absorção de água. No interior das fibras as macromoléculas se arranjam ao longo do eixo principal (ALCÂNTARA, 1995) (FIG. 2).

Figura 2 - Algodão



Fonte: PEREIRA, 2009.

- **Seda:** A fibra de seda é um fio regular contínuo, produzido por lagartas de determinadas mariposas (KUASNE, 2008), e é constituída basicamente por duas proteínas, sericina e fibroína (ALCÂNTARA, 1995) (FIG. 3).

Figura 3 - Produção da fibra de seda.



Fonte: WINSTON GOMES, 2010.

- **Lã:** A lã é constituída por polímeros de queratina, ligados por pontes de cistinas que oferecem às fibras melhores condições de fixação através do calor (ALCÂNTARA, 1995). A determinação qualitativa é realizada em laboratórios têxteis em equipamentos especiais que determinam o diâmetro, elasticidade, ondulação entre outros parâmetros (KUASNE, 2008) (FIG.4).

Figura 4 - Fibra de lã.



Fonte: PEREIRA, 2009.

- **Rami:** O rami é uma planta resistente, rizomatoso (possui caules em formato de raiz) e que também é um grande produtor de fibras. Caracteriza-se por produzir uma das mais resistentes e finas entre todas as fibras (FREIRE, MEDEIROS E ANDRADE, 1996). Os tecidos de rami são os melhores no quesito de retenção de cor dos corantes (KUASNE, 2008) (FIG. 5).

Figura 5 - Planta Rami.



Fonte: FREIRE; MEDEIROS; ANDRADE, 1996.

- **Linho:** O linho é obtido através do caule de uma planta conhecida como *Linum resitatissimim*, e possui cerca de 70% de celulose. É caracterizado por possuir uma alta resistência e grande maciez (ALCÂNTARA, 1995) (FIG. 6).

Figura 6 - Fibra de linho.



Fonte: PEREIRA, 2009.

- **Juta:** As fibras de juta são retiradas do caule de plantas mais duras, mais resistentes. Possui um brilho sedoso quando comparado ao brilho do linho, porém é quebradiça, o que de certa forma a impede de ser confeccionada em fios finos, deixando-a com toque mais grosseiro (KUASNE, 2008) (FIG. 7).

Figura 7 - Fibra de juta.



Fonte: PORTAL AMÔNIA, 2018.

- **Sisal:** É uma planta resistente, de cujas folhas são extraídas as fibras. Mostram ser muito resistentes a rupturas e alongamentos, e se tornam mais resistentes quando molhadas. São muito utilizadas em indústria de colchões de molas, sacolas, sandálias, cestos, entre outros (KUASNE, 2008) (FIG. 8).

Figura 8 - Fibra de sisal.



Fonte: Usimak, 2011.

#### 4.3.2. Fibras Artificiais

- **Viscose:** É uma fibra química extraída da polpa da madeira, e sua fabricação é obtida através da imersão da pasta da madeira em uma solução de soda a 18% por meio de prensas especiais. Com isso obtém-se uma celulose alcalina que chega a pesar 3,5 vezes a mais que a celulose inicial. Em seguida recebe um tratamento de sulfureto de carbono a temperatura de 20°C, formando um composto sólido que recebe o nome de xantato de celulose, que é dissolvido em uma solução de soda à temperatura ambiente, obtendo um líquido viscoso que recebe o nome de Viscose. Essa viscose passa por um processo de filtração e é deixada em repouso no vácuo. Então esta matéria que se tornou fiável é imersa em coagulante de ácido sulfúrico e sulfato de soda em solução. Ao sair desse banho recebe um alongamento que define assim sua estrutura (KUASNE, 2008) (FIG. 9).

Figura 9 - Fibra de viscose.



Fonte: PEREIRA, 2009.

- **Acetato:** É uma fibra que também é construída através da celulose da madeira, porém esta reage com anidrido acético na presença de ácido acético glacial e ácido sulfúrico

que age como catalisador, produzindo o triacetato de celulose. Em seguida recebe uma pequena quantidade de água provocando uma saponificação parcial desse produto. O acetato de celulose é diluído em uma mistura de acetona/álcool e é extrusado em forma de fios. No período da extrusão o solvente evapora e os fios filamentados se solidificam. A fibra de acetato se caracteriza pela baixa densidade e por sua alta elasticidade, porém possui uma resistência menor que a da fibra viscosa (ALCÂNTARA, 1995) (FIG. 10).

Figura 10 - Fibra de acetato.



Fonte: INARA, 2018.

#### 4.3.3. Fibras Sintéticas

As fibras sintéticas são desenvolvidas a partir de resinas provenientes do petróleo (ROMERO *et al.*, [1995], p. 58). A seguir são apresentadas algumas delas.

- **Poliéster:** Na produção do poliéster são utilizados ácidos tereftálico e etilenoglicol. A policondensação é realizada por um período de 5 a 8 horas e é efetuada sob pressão baixa e em uma temperatura de aproximadamente 300°C dando condições para um polímero fluido. O polímero obtido ao final desse processo é solidificado com o auxílio de jatos de água fria e em seguida cortado em cubos geralmente regulares. O polímero fundido é fiado e solidificado por correntes de ar frio (ALCÂNTARA, 1995) (FIG. 11).

Figura 11 - Fibra de poliéster.



Fonte: PEREIRA, 2009.

- **Náilon:** É uma fibra composta por uma grande cadeia de poliamida sintética, em que até 85% do grupo amida é ligado a dois anéis aromáticos (MIDWEST PARALEGAL STUDIES, 2003 apud CHEREM, 2004). A poliamida possui uma estrutura muito orientada e possuem fibras que são de 50 a 80% cristalizadas, possuindo grande resistência, dificultando a quebra do fio no decorrer dos diversos processos têxteis (CHEREM, 2004) (FIG. 12).

Figura 12 - Fibra de náilon.



Fonte: PEREIRA, 2009.

- **Lycra:** Também conhecida como Elastano, é uma fibra produzida pela extrusão, através da fieira, que realiza as ligações transversais sob atmosfera de vapor. É utilizadas constantemente em união com algumas outras fibras, o que leva a obter uma fibra incolor ou branca leitosa pigmentada por dióxido de titânio (PEREIRA, 2009) (FIG. 13).

Figura 13 - Fibra de lycra.



Fonte: FIBRAS SINTÉTICAS, 2014.

## 4.4. Processo Produtivo da Indústria Têxtil

### 4.4.1. Fiação

A fiação é o primeiro processo da indústria têxtil e consiste na produção de fios a partir de fibras naturais, sintéticas ou artificiais.

Segundo Pereira (2009), na pré-história o procedimento de fiação era executado manualmente, em que a fibra era esticada e em seguida torcida. Na antiga Grécia existia uma máquina conhecida como Roca que era responsável por executar este processo de fiação. Porém com a revolução industrial na Inglaterra ocorreu a automatização do processo de fiação, modernizando todo o maquinário, passando a se utilizar nos lugares das rocas um equipamento conhecido como Filatório.

Levando em consideração as semelhanças nos processos de fiação, este trabalho se embasará na fiação de algodão.

Segundo Alcântara (1995), o algodão que chega para o processo de fiação encontra-se em forma de fardos compactos. Estes fardos seguem então para um processo de abertura, no qual recebem uma limpeza que se dá por meio de máquinas específicas. Em seguida vão para o batedor, que realizará a limpeza e a desagregação das fibras, onde seguem por meio de sucção até a carda, um equipamento que produz uma manta de fibras através de uma filtragem, e que realiza sobre a manta uma escovação em sentido oposto ao seu percurso para a obtenção de fibras paralelas que proporcionarão uma facilidade maior na produção dos fios.

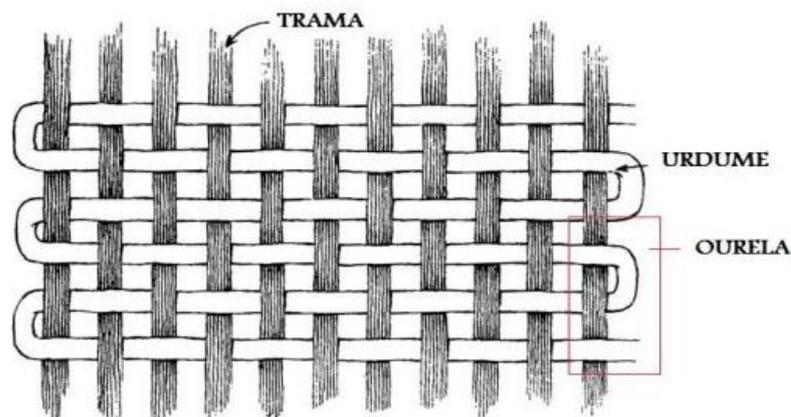
Ainda segundo Alcântara (1995), após a escovação realizam-se na manta cortes formando longas fitas, executados no sentido de seu comprimento, que terão

aproximadamente 1,5 cm de largura, e que recebem o nome de fitas de carda. Estas fitas passarão por um processo de estiragem, que dará origem a uma nova fita com aproximadamente 4 mm de largura. Porém, tendo ainda uma resistência muito pequena, os fios serão sujeitos a um processo repetitivo de retorcimento e estiramento, que irá determinar a espessura e a resistência do fio, tornando-os mais resistentes. Em seguida são enrolados em cones que seguirão para a tecelagem.

#### 4.4.2. Tecelagem

Segundo Pereira (2009) a tecelagem define-se pelo cruzamento de um fio ou por um conjunto de fios paralelos por um equipamento conhecido como tear, dando origem aos tecidos, que são formados basicamente por fios de urdume e trama, como mostra a FIG. 14.

Figura 14 - Fios de trama, urdume e ourela.



Fonte: PEREIRA, 2009.

Como se pode ver na FIG. 14 os urdumes são os fios entrelaçados lado a lado no sentido longitudinal dos tecidos, já as tramas fios entrelaçados no sentido transversal, enquanto as ourelas são os fios que constituem as bordas dos tecidos. As diferentes formas de se entrelaçar os fios de urdume com os fios de trama dão origem a uma grande variedade de tecidos.

Antes dos fios passarem pela tecelagem é fundamental que passem por um processo de engomagem. A engomagem baseia-se na impregnação e na blindagem dos fios de urdume, a partir de substâncias que formarão uma camada sobre sua superfície, com a finalidade de melhorar a resistência mecânica dos fios e aumentar a aderência entre as fibras. Este processo acontece através de um equipamento onde os fios são desenrolados e submersos em banhos contendo uma substância conhecida como goma. Ao saírem, os fios são pressionados para que

ocorra a remoção do excesso do produto e secos por prensagem em rolos aquecidos. A adição da goma proporciona ao fio uma superfície mais lisa, e diminui suas tensões e atritos (ALCÂNTARA, 1995).

Ainda segundo Alcântara (1995) as composições das gomas que serão utilizadas deverão variar de acordo com a qualidade de cada fio, tipo do maquinário utilizado, tipo de tecido desejado, menor resistência na desengomagem dos fios e os custos.

#### **4.4.3. Malharia**

Segundo Alcântara (1995), a malharia teve origem através da mecanização do processo de tricotagem. A malha é constituída por um conjunto de fios que se ligam através das laçadas. Seguindo este contexto, o tear de malha consiste em um conjunto de agulhas que dão origem e passam as laçadas umas pelas outras, produzindo sequências de laçadas nas malhas.

A partir do início do século XX, com a elasticidade e maciez dos fios, e devido aos grandes avanços dos teares, a produção de malha cresceu significativamente. Com isso teares circulares avançados produziam cerca de 360.000 laçadas por minuto (ALCÂNTARA, 1995).

#### **4.4.4. Beneficiamento**

De acordo com Cherem (2004), o beneficiamento estabelece a última fase do processo de produção têxtil, onde se incluem todos os procedimentos que darão acabamento ao tecido, como limpeza, cor, estampas, entre outros.

No decorrer de todo o processo produtivo ocorre a emissão de poluentes que podem se apresentar como sólidos, gases ou líquidos. No entanto no beneficiamento essa emissão é maior, onde os efluentes líquidos são os mais preocupantes, pois são gerados em grandes quantidades e possuem vários contaminantes como dispersantes, tensoativos, fixadores, entre outros (MACHADO<sup>2</sup> et al., 2006; GARCIA, 2006 *apud* ROSA, 2013).

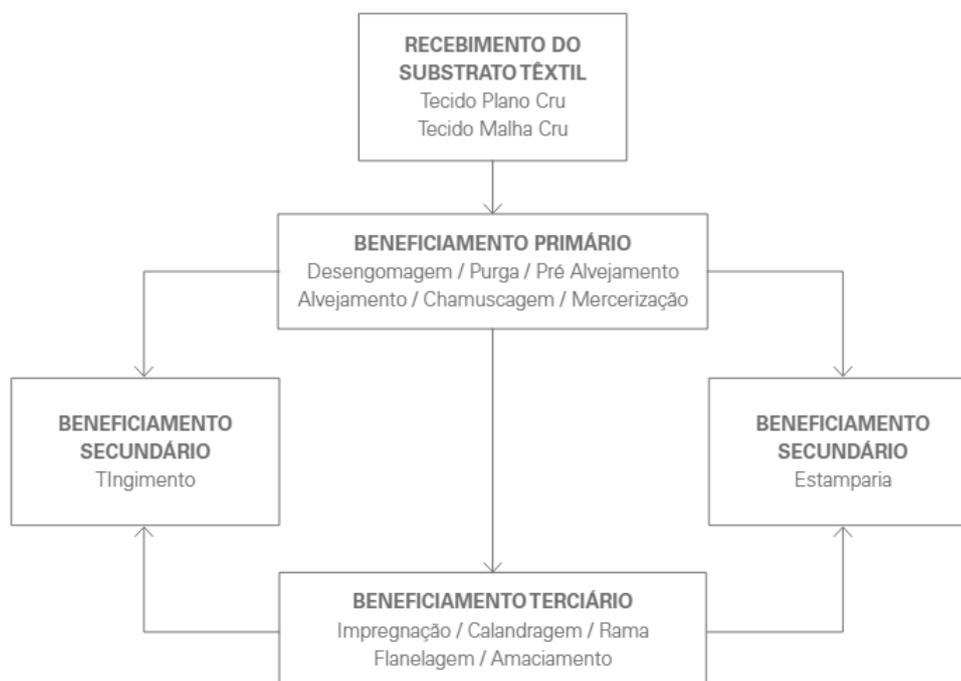
De uma forma geral, o processo de beneficiamento têxtil objetiva sempre a melhoria das propriedades físico-químicas dos produtos têxteis, havendo sempre processos e etapas diferentes para cada tipo de produto, em consequência da necessidade de cada um e das características finais desejadas. Este processo é constituído por três etapas, primária,

---

<sup>2</sup> MACHADO, E. et al.: Remediação mais limpa na indústria de tingimento têxtil. In: XXX Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Punta del Este, V.1, p.1-6, 2006.

secundária, e terciária, e a seguir são apresentadas através de fluxograma (FIG. 15), algumas das operações que integram estas etapas (GUIA TÉCNICO AMBIENTAL DA INDÚSTRIA TÊXTIL, 2014).

Figura 15 - Principais operações que integram o beneficiamento têxtil.



Fonte: Guia Técnico Ambiental da Indústria Têxtil, 2014.

#### 4.4.4.1. Beneficiamento Primário

A primeira etapa do beneficiamento é nomeada como primária ou preparação, sendo constituída por operações executadas sobre o produto têxtil, com o objetivo de remover óleos, ceras, pigmentos, marcações e impurezas originados das etapas anteriores, adequando-o assim para as etapas seguintes em que receberá coloração parcial ou total e consecutivamente o acabamento final (GUIA TÉCNICO AMBIENTAL DA INDÚSTRIA TÊXTIL, 2014).

#### 4.4.4.2. Beneficiamento Secundário

A segunda etapa é o beneficiamento secundário ou coloração, que é responsável por executar a coloração total (tingimento), ou coloração parcial (estamparia) do tecido (GUIA TÉCNICO AMBIENTAL DA INDÚSTRIA TÊXTIL, 2014).

O tingimento é uma alteração física e química do produto de modo com que a luz refletida cause uma assimilação de cor. Este processo implica o uso de substâncias químicas que se combinam com as moléculas das fibras têxteis, normalmente em meio aquoso. Os

produtos que proporcionam estas alterações são conhecidos como materiais corantes, que são classificados em corantes e pigmentos (CHEREM, 2004).

A estamparia define de modo geral diversas técnicas e procedimentos responsáveis por reproduzirem desenhos (coloridos, brancos ou monocromáticos), imagens, texturas e formas sobre a superfície dos tecidos, com o auxílio de corantes, pigmentos e tintas que se repetem por toda a extensão do tecido, e são executados no lado direito do tecido (YAMANE, 2008).

#### **4.4.4.3. Beneficiamento Terciário**

A terceira etapa, conhecida como beneficiamento terciário ou acabamento, é a etapa onde se executam técnicas sobre o produto têxtil tendo em vista melhorias nas características como estabilidade, toque, brilho, impermeabilidade, entre outros, melhorando a aparência final do produto e tornando-o mais atraente aos consumidores (GUIA TÉCNICO AMBIENTAL DA INDÚSTRIA TÊXTIL, 2014).

### **4.5. Corantes**

As substâncias utilizadas para adicionar cor às fibras são denominadas colorantes, sendo classificadas como corantes ou pigmentos. A diferença entre eles se encontra na dimensão da partícula e na sua solubilidade no meio em que é utilizado. O pigmento dispõe geralmente de um tamanho de partícula maior enquanto os corantes possuem partículas bem menores (SARON; FELISBERTI, 2005).

Segundo Guaratini e Zanoni (2000), o tingimento é uma etapa do processo em que é adicionada cor ao tecido, processo este que surgiu há milhares de anos e que passou por grandes inovações. Esta técnica possui diferentes tipos de aplicação que são determinados conforme a origem da fibra têxtil, particularidades estruturais, condições econômicas, entre outras.

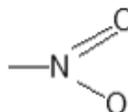
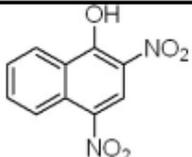
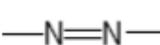
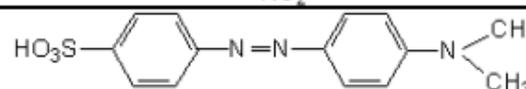
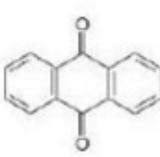
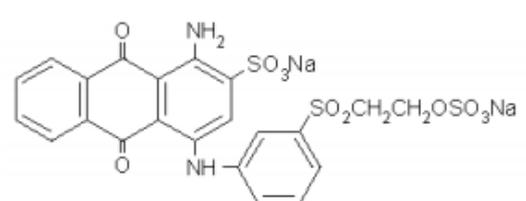
Segundo Soares (1998), os corantes são constituídos por dois grupos: os cromóforos, que são encarregados por adicionar cor à fibra; e os grupos auxócromos ou grupos funcionais, responsáveis por fixar o corante à fibra.

De acordo com Immich (2006), a fixação dos corantes às fibras normalmente ocorre em meios aquosos e possui essencialmente 4 formas de ligações para que esse processo ocorra, as ligações iônicas, covalentes, de Van der Waals e de hidrogênio.

As ligações iônicas são trocas que ocorrem entre o interior positivo dos aminos e carboxilatos que se encontram na fibra, com a carga iônica da molécula do corante. As covalentes são derivadas da formação de uma ligação covalente com a molécula do corante, compondo-se de um grupo reativo e resíduos nucleofílicos da fibra. As ligações de Van der Waals se estruturam na interação que ocorre através da maior aproximação possível entre os orbitais  $\pi$  do corante e da molécula da fibra, fazendo com que eles fiquem firmes sobre as fibras por um processo de afinidade e não necessariamente por meio de uma ligação. Já as ligações de Hidrogênio ocorrem através de ligações covalentes com os corantes e pares de elétrons contidos na fibra (GUARATINI; ZANONI, 2000).

Para o processo de tingimento são utilizados diferentes tipos de corantes, que possuem capacidade de se diluírem completamente ou parcialmente no meio utilizado. Os corantes são moléculas classificadas por sua origem química (antraquinona, azo, nitro, entre outros) apresentados na TAB. 1, ou por sua forma de fixação à fibra (SOARES, 1998; IMMICH, 2006).

Tabela 1 - Classificação de corantes conforme o grupo cromóforo.

Classe	Cromóforo	Estrutura Molecular
Nitro		
Azo		
Antraquinona		

Fonte: LEAL, 2011.

Segundo Freitas (2002), dentre os inúmeros tipos de corantes existentes, os principais são classificados de acordo com suas formas de fixação, sendo apresentados como:

**Corantes Reativos** possuem grupos reativos que dão origem a ligações covalentes com grupos hidroxilas das fibras celulósicas com grupos amino, hidroxila e tióis das fibras

proteicas assim como os grupos amino das poliamidas. Apresentam como atributo grande solubilidade em água e a determinação de uma ligação covalente entre o corante e a fibra, estabelecendo um equilíbrio na cor do produto ao ser comparado com outros corantes (GUARATINI; ZANONI, 2000).

**Corantes Diretos** são formados principalmente por corantes que possuem mais de um grupo cromóforo, são solúveis em água, e aptos para realizarem o tingimento de fibras de celulose por meio de ligações de Van der Waals. Possuem uma grande vantagem por apresentarem poucas substâncias do corante nos rejeitos (GUARATINI; ZANONI, 2000).

**Corantes Azóicos** são substâncias pigmentadas insolúveis em água que são concentradas na superfície da fibra durante o tingimento. Este corante é encharcado por um produto solúvel em água (como naftol) que funciona como agente de acoplamento, dando origem a um produto solúvel, permitindo um tingimento de alta fixação e alta resistência à luz e umidade (GUARATINI; ZANONI, 2000).

**Corantes Ácidos** possuem de um a três grupos sulfônicos, que os transformam em corantes solúveis em água. Porém, para realizar o tingimento através do mesmo é necessário que ele passe por uma neutralização antes de ser utilizado. A união deste corante ao tecido ocorre por meio de uma troca iônica através do par de elétrons livres dos grupos amino e o carboxilato das fibras protéicas (GUARATINI; ZANONI, 2000).

**Corantes a Cuba** são corantes insolúveis em água que precisam ser reduzidos através de ditonito em solução alcalina no decorrer no processo, tornando-o um corante solúvel. Porém, como a formação de hidrossulfito de sódio pode provocar o desenvolvimento de problemas ecológicos o custo destes corantes se torna bem elevado (GUARATINI; ZANONI, 2000).

**Corantes ao Enxofre** são corantes insolúveis em água que necessitam de uma pré-redução que ocorre por um banho de ditonito de sódio, fazendo com que se tornem produtos solúveis. No entanto estes corantes produzem resíduos que são muito tóxicos (GUARATINI; ZANONI, 2000).

**Corantes Dispersos** também são classificados como corantes insolúveis, mas que no decorrer de todo o processo de tingimento sofrem uma precipitação de maneira dispersa na superfície do acetato de celulose. Este processo acontece na presença de agentes dispersantes

que geralmente promovem a estabilização das partículas de corante suspensas, aumentando o contato do corante e da fibra hidrofóbica (GUARATINI; ZANONI, 2000).

**Corantes Pré-Metalizados** recebem caracterização devido à existência de um grupo hidroxila ou carboxila, que permite o surgimento de complexos com íons metálicos, muito utilizados para o tingimento de fibras proteicas e poliamida. É reconhecido pela eficiência de interação entre o metal e os agrupamentos funcionais portadores de pares de elétrons. Porém o uso deste tipo de corante é relacionado à elevada quantidade de metal em suas águas de rejeito (GUARATINI; ZANONI, 2000).

**Corantes Branqueadores** possuem grupos carboxílicos associados a sistemas benzênicos, naftalênicos, pirênicos e anéis aromáticos que permitem a reflexão através da fluorescência quando expostos a luz ultra-violeta. São utilizados para reduzirem a tonalidade amarelada das fibras têxteis que possuem grande quantidade de materiais orgânicos (GUARATINI; ZANONI, 2000).

Segundo Peixoto (2013), os corantes utilizados para o tingimentos de fibras não foram preparados apenas para adicionar cor, mas também elaborados para serem resistentes a luz ultravioleta, e com isto compõem um grupo desafiador de compostos químicos ao se tratar de processos degradativos.

#### **4.6. Efluentes Industriais**

Os efluentes são produtos líquidos ou gasosos produzidos por indústrias ou que resultam dos esgotos domésticos urbanos, geralmente lançados no meio ambiente (IBRAHIN; IBRAHIN; CANTUÁRIA, 2015).

Segundo Giordano (2004), em indústrias a utilização de água é fator indispensável. Ela pode ser utilizada de diferentes formas, como por exemplo: fazendo parte das matérias primas, na higienização dos maquinários, pisos e tubulações, nos processos de beneficiamento, nos sistemas de resfriamento e geradores de calor, esgoto sanitário dos funcionários, entre outros. Porém, na saída de algum desses processos, a água, antes limpa, se transforma em água contaminada devido aos resíduos dos processos pelos quais passou, dando origem aos efluentes líquidos.

Quando estes efluentes são descartados contendo ainda os resíduos adquiridos, acabam gerando mudanças na qualidade dos corpos receptores, provocando assim sua poluição, que

pode ser determinada com qualquer mudança física (sólidos em suspensão), química (substâncias dissolvidas) ou biológica (microorganismos), fugindo dos padrões propostos (GIORDANO, 2004).

#### 4.7. Efluentes Têxteis

Segundo Kunz (2002), o setor têxtil tem ganhado cada vez mais a atenção em se tratar de efluentes, devido ao elevado volume de efluentes gerados, pois quando não são adequadamente tratados e descartados podem provocar grandes problemas ambientais e humanos.

De acordo com Chagas (2009), para o desenvolvimento de muitos dos processos dentro de uma indústria têxtil é necessário uma demanda elevada de água, resultando na geração elevada de efluentes.

Dentre as substâncias que contaminam os efluentes, estão os produtos que são utilizados para simplificar as etapas de fiação e tecelagem, produtos químicos auxiliares e corantes que são eliminados nas diversas fases de acabamento. As determinadas quantidades de substâncias poluentes eliminadas junto aos efluentes podem variar de acordo com cada tipo de fibra utilizada (TWARDOKUS, 2004 apud PAGAN, 2011, p. 27)<sup>3</sup>.

Com isso os efluentes têxteis são caracterizados principalmente devido a grande quantidade de cor, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e pH. As cores nesses efluentes se dão através dos corantes que não conseguiram se unir às fibras no decorrer do processo de tingimento, sendo eliminados juntos ao efluente podendo ser visualizadas facilmente (PEIXOTO; MARINHO; RODRIGUES, 2013; KUNZ, 2002; GUARATINI; ZANONI, 2000).

Na TAB. 2 são mostrados os principais parâmetros dos efluentes gerados por algumas das fases do processo produtivo dentro de uma indústria têxtil com a utilização de algumas das matérias primas disponíveis e também são mostrados os valores médios de água utilizados (CORREIA, 1995 apud PAGAN, 2011, p. 27)<sup>4</sup>.

---

<sup>3</sup> TWARDOKUS, R. G. Reúso de água no processo de tingimento da indústria têxtil. Florianópolis – SC, UFSC, (2004).

<sup>4</sup> CORREIA, V. M.; STEPHENSON. T.; JUDD, S. J., Characterisation of Textile Wastewaters – A review, School of Water Sciences, Cranfield University, United Kingdom, July 1994, Environmental Technology, (1995).

Tabela 2 - Parâmetros dos efluentes gerados e o consumo de água em indústrias têxteis.

FIBRA	PROCESSO	pH	DBO (mg/L)	SÓLIDOS TOTAIS	USO DE ÁGUA (L/kg)
Algodão	Desengomagem	-	1700-5200	16000-32000	3-9
	Purga	10-13	50-2900	7600-17400	26-43
	Alvejamento	8,5-9,6	90-1700	2300-14400	3-124
	Mercerização	5,9-9,5	45-65	600-1900	232-308
	Tingimento	5-10	11-1800	500-14100	8-300
Lã	Purga	9-14	30000-40000	1129-64448	46-100
	Tingimento	4,8-8	380-2200	3855-8315	16-22
	Lavação	7,3-10,3	4000-11455	48830-19267	334-835
	Neutralização	1,9-9	28	1241-4830	104-131
	Alvejamento	6	390	908	3-22
Náilon	Purga	10,4	1360	1882	50-67
	Tingimento	8,4	308	641	17-33
Poliéster	Purga	-	500-800	-	25-42
	Tingimento	-	480-27000	-	17-33
	Lavação	-	650	-	17-33
Viscose	Purga	8,5	232	3334	17-33
Acetato	Tingimento	6,8	58	4890	4-13
	Purga/ Tingimento	9,3	2000	1778	33-50

Fonte: Correia, 1995 – TFC\_2011

A determinação do tratamento mais adequado para os efluentes se torna uma escolha difícil devido à variação de sua composição química. Com isso, a caracterização dos efluentes gerados é essencial, pois realiza a identificação de seus componentes, possibilitando uma maior facilidade na determinação de um tratamento eficaz (CORREIA, 1995 apud PAGAN, 2011, p. 28<sup>5</sup>; CHAGAS, 2009).

<sup>5</sup> CORREIA, V. M.; STEPHENSON. T.; JUDD, S. J., Characterisation of Textile Wastewaters – A review, School of Water Sciences, Cranfield University, United Kingdom, July 1994, Environmental Technology, (1995).

#### 4.8. Descarte de Efluentes

Os padrões de descarte de efluentes em corpos hídricos são exigências que, em conjunto com os parâmetros de qualidade dos corpos receptores, tendem a conservar a qualidade dos mananciais e suas vazões, evitando o desequilíbrio no ecossistema aquático em consequência de metais pesados e tóxicos (VON SPERLING, 1998 apud MORAIS; SANTOS, 2017).<sup>6</sup>

Pensando nisso, em nível estadual temos a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH N° 01/2008 que apresenta a classificação e enquadramento dos corpos de água em Minas Gerais, e define requisitos e padrões de diversos parâmetros para o lançamento de efluentes (COPAM, 2008). Em nível nacional temos a Resolução CONAMA N° 357/2005 que complementa e altera a Resolução CONAMA N° 430/2011 e pela CONAMA 410/2009, que tratam sobre as classificações dos corpos hídricos e sobre as orientações ambientais para devido enquadramento, assim como determinam condições e parâmetros para o lançamento de efluentes (CONAMA, 2005), e definem valores de efluentes com misturas complexas de compostos orgânicos e inorgânicos, as quais devem ser seguidas por todas as fontes poluidoras que descarte efluentes em corpos receptores (MORAIS; SANTOS, 2017).

A seguir, na TAB. 3, são apresentados valores de máximo e mínimo de alguns parâmetros como temperatura, pH, materiais sedimentáveis, óleos e graxas, DBO e DQO de lançamento de efluentes permitidos por duas normas, COPAM n°01/2008 e CONAMA n°430/2011.

---

<sup>6</sup> VON SPERLING, M. Análise dos padrões brasileiros de qualidade de corpos d'água e de lançamento de efluentes líquidos. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.3.

Tabela 3 - Parâmetros de lançamentos de efluentes líquidos de acordo com as Resoluções COPAM n°01/2008 e CONAMA n°430/2011

Parâmetros	Limites	
	COPAM n°01/2008	CONAMA n°430/2011
Temperatura	Inferior a 40°C	Inferior a 40°C
pH	6,0 a 9,0	5,0 aa 9,0
Materiais sedimentáveis	1 mL/L	1 mL/L
Óleos e graxas	20 mg/L (mineral)	20 mg/L (mineral)
	50 mg/L (animais e vegetais)	50 mg/L (animais e vegetais)
DBO	60 mg/L ou eficiência mínima de 75% e média anual $\geq$ 85%	Remoção mínima de 60%
DQO	180 mg/L ou mínimo de 70% e media anual $\geq$ 75%	-

Fonte: Adaptação de Carvalho, 2017.

Os efluentes de quaisquer fontes poluidoras apenas poderão ser descartados em corpos receptores após o devido tratamento, onde precisarão obedecer as condições, padrões e exigências estabelecidos nas resoluções e em quaisquer outras normas aplicáveis (CONAMA, 2011).

#### 4.9. Principais Parâmetros Envolvidos na Qualidade da Água

As propriedades da água podem ser representadas através de diferentes parâmetros que mostram suas principais características físicas, químicas e biológicas, os quais são essenciais no auxílio da escolha de um tratamento eficiente (VON SPERLING, 1996). Portanto, quando se fala da qualidade da água os principais parâmetros analisados são: cor, turbidez, pH, temperatura, óleos e graxas, DBO (demanda bioquímica de oxigênio), e DQO (demanda química de oxigênio).

##### 4.9.1. Cor

A cor da água se dá através das substâncias ali contidas, as quais podem ser de origem orgânica, mineral, algas ou por despejos industriais e domésticos. esta cor é reproduzida pela reflexão da luz por partículas minúsculas dispersas na água, que possuem dimensões inferiores a 1 $\mu$ m, chamadas de coloides (VIGILÂNCIA E CONTROLE..., 2006, p. 45).

#### **4.9.2. Turbidez**

A turbidez se dá através de materiais em suspensão na água, e pode ser determinada como padrão de análise para verificar o grau de interferência da passagem de luz pelo líquido (VIGILÂNCIA E CONTROLE..., 2006, p. 46).

#### **4.9.3. pH**

O potencial hidrogeniônico (pH) descreve a intensidade das condições ácidas ou alcalinas no meio aquoso, mediante a medição da existência de íons hidrogênio ( $H^+$ ) na água, oferecendo indicação em relação as condições de acidez, neutralidade ou alcalinidade do mesmo, possuindo uma faixa de pH de 0 14 (VIGILÂNCIA E CONTROLE..., 2006, p. 48; VON SPERLING, 1996).

#### **4.9.4. Temperatura**

A temperatura se dá por meio de energia cinética das moléculas de um corpo. E a variação de temperatura da água pode estar ligada a fontes naturais, sendo que o principal fator é a energia solar, ou antropogênicas, que estão relacionadas a despejos industriais e águas de resfriamento de máquinas (VIGILÂNCIA E CONTROLE..., 2006, p. 44).

#### **4.9.5. Óleos e Graxas**

Óleos e graxas são substâncias orgânicas que podem ser de origem mineral, vegetal ou animal, as quais normalmente são hidrocarbonetos, gorduras, ésteres, entre outros, e se dão por meios dos despejos e resíduos industriais, esgotos domésticos, efluentes de oficinas mecânicas, estradas e vias publicas (ORSSATTO; HERMES; VILAS BOAS, 2010).

#### **4.9.6. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)**

A DBO é a demanda de oxigênio para a oxidação da matéria orgânica através de bactérias aeróbias. Assim sendo, descreve a demanda de oxigênio que seria preciso fornecer às bactérias aeróbias, para consumirem a matéria orgânica contida em um líquido (PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA, 2015).

#### 4.9.7. Demanda Química de Oxigênio (BQO)

A DQO é a demanda de oxigênio necessária para a oxidação da matéria orgânica, por meio de um agente químico. Em um meio líquido o valor de DQO obtido será sempre maior que o valor de DBO obtido (PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA, 2015).

#### 4.10. Tratamentos Convencionais de Efluentes Têxteis

As indústrias têxteis caracterizam-se por demandarem elevadas quantidades de água, corantes, e produtos químicos que são utilizados no decorrer de uma complexa cadeia produtiva (SANIN, 1997 apud HASSEMER, 2002)<sup>7</sup>. Estima-se que aproximadamente 100 m<sup>3</sup> de água são empregados em média para cada tonelada de tecido processado, produzindo cerca de 100 kg de BQO (BERGNA et al, 1999 apud HASSEMER, 2002)<sup>8</sup>.

O processo produtivo têxtil produz uma elevada quantidade de despejos poluidores que podem envolver alta carga orgânica, cor acentuada e compostos químicos prejudiciais ao homem e ao meio ambiente (HASSEMER, 2002).

A natureza de cada um dos efluentes líquidos produzidos vareia de acordo com sua forma de produção, levando-se em consideração a tecnologia e fibra utilizada, os tipos de processos industriais, e os diferentes tipos de produtos químicos. Com isso os efluentes líquidos gerados totalizam numerosas substâncias contaminantes, originadas basicamente das etapas de beneficiamento têxtil, tornando-se comum constatar os produtos que acabam não se fixando no substrato têxtil, provocando grandes danos quando não retirados corretamente (FEAM, 2014). A seguir na FIG. 16 pode-se observar um rio localizado no norte da China que em 2011 sofreu com despejo ilegal de corantes de uma fábrica local.

---

<sup>7</sup> SANIN, L. B. B. A Indústria Têxtil e o Meio Ambiente. Tecnologia e Meio Ambiente, 1997.

<sup>8</sup> BERGNA, G., BIANCHI, R. e MALPEI, F. GAC Adsorption of Ozonated Secondary Textile Effluents for Industrial Water Reuse, 1999.

Figura 16 - Rio poluído com corante



Fonte: Impacto dos Corantes, 2016.

Geralmente as cores fortes dos efluentes têxteis estão relacionadas aos corantes, em particular aos corantes solúveis em água, que são adsorvidos em quantidades irrelevantes, e consequentemente saem nos efluentes, onde suas concentrações podem ser menores do que de muitos outros produtos químicos encontrados nos mesmos, porém sua cor é aparente mesmo em baixas concentrações (SARASA et al, 1998 apud HASSEMER, 2002)<sup>9</sup>.

Assim sendo, o lançamento de efluentes líquidos deve manter padrões de acordo com os da legislação, que determina as condições ideais para seu descarte. Em razão disso os efluentes são submetidos a tratamento, os quais podem ser físicos, químicos ou biológicos. Nestes tratamentos as cargas poluidoras do efluente poderão ser reduzidas, tornando os valores de seus parâmetros aceitáveis e assegurando a qualidade do corpo receptor (FEAM, 2014).

Em indústrias têxteis os processos de tratamento são baseados no sistema físico-químico de precipitação e coagulação, seguido de tratamento biológico por sistema de lodos ativos. Este sistema retrata uma eficiência relativamente alta, possibilitando a remoção de aproximadamente 80% da carga de corantes (KUNZ et al, 2002). Porém, o tratamento convencional não é suficiente para a retirada de cor e compostos orgânicos dos efluentes, tornando-se necessários tratamentos complementares, que são métodos como troca iônica, osmose reversa e outros (HEMKEMEIER, 2005 apud PAGAN, 2011).

Os tratamentos podem ser classificados em preliminar, primário, secundário e terciário, conforme apresentados na TAB 4.

---

<sup>9</sup> SARASA, J., ROCHE, M. P., ORMAD, M. P., GIMENO, E., PUIG, A. e OVELLEIRO, J. L. Treatment of a Wastewater Resulting from Dyes Manufacturing with Ozone and Chemical Coagulation. Water Research.

Tabela 4 - Tratamentos convencionais de efluentes

TRATAMENTO	TIPOS DE PROCESSO	OPERAÇÃO UNITÁRIA
Preliminar	Físico	Gradeamento Peneiramento Sedimentação/Clarificação
Primário	Físico-Químico	Floculação/Coagulação Flotação Decantação
Secundário	Biológico	Lodos ativados Filtros biológicos Lagoas de estabilização Lagoas aeradas Tratamento anaeróbio
Terciário	Físico-Químico	Troca iônica Eletrodialise Osmose reversa Carvão ativado

Fonte: Adaptação de Beltrame, 2000.

#### 4.10.1. Tratamento Preliminar

Segundo Giordano (2004), a fase preliminar do tratamento consiste na retirada de sólidos grosseiros e areia, que possam de alguma forma dificultar a passagem do efluente para a próxima etapa, e é realizada por meio de processos físicos, que podem ser executados por:

- Gradeamento
- Peneiramento
- Sedimentação

##### 4.10.1.1. Gradeamento

O gradeamento é uma etapa que possui como objetivo a remoção de sólidos grosseiros em suspensão, na tentativa de prevenir entupimentos de tubulações, válvulas, bombas e a perda da eficiência em processos seguintes. Nos sistemas de tratamento são empregadas grades que possuem espaçamento de 0,5 a 2 cm entre suas grades, as quais retêm os matérias com granulometrias maiores permitidas para o processo (BELTRAME, 200, GIORDANO, 2004).

##### 4.10.1.2. Peneiramento

O peneiramento também possui finalidade de remover sólidos ainda considerados grosseiros para as fases seguintes, assim como o gradeamento, porém agora com

granulometria maior que 0,25 mm. As peneiras podem ser denominadas como estáticas e rotativas, as quais são utilizadas principalmente em sistemas de tratamento de águas residuais industriais (MELLO, 2007 apud MARCONDES, 2012)<sup>10</sup>.

#### **4.10.1.3. Sedimentação**

A sedimentação faz parte de uma das etapas de clarificação dos efluentes industriais, onde ocorre a separação das partículas sólidas suspensas na água, este processo ocorre através da aplicação das forças gravitacionais para separar partículas que possuem densidade maior que a da água, as quais vão para o fundo dos tanques, dando origem ao lodo (GIORDANO, 2004, IBRAHIN; IBRAHIN; CANTUÁRIA, 2015).

#### **4.10.2. Tratamento Primário**

O efluente que sai da fase de tratamento preliminar ainda conta com a presença de sólidos em suspensão, que são denominados não grosseiros, compostos por quantidades significativas de matéria orgânica (VON SPERLING, 1996). No tratamento primário este efluente passará por processos físico-químicos que contam com as seguintes etapas:

- Coagulação
- Flotação
- Decantação

##### **4.10.2.1. Coagulação**

A coagulação é uma etapa que se resume em transformar impurezas em estado coloidal e suspensão em flocos, provocando a redução de carga orgânica no efluente. Os flocos são formados a partir da utilização de coagulantes químicos, que ao entrarem em contato com o meio reagem com a alcalinidade ali contida ou que fora adicionada. Para a formação dos flocos podem ser utilizados, cloreto férrico, sulfato de alumínio, policloreto de alumínio (PAC), sulfato férrico, entre outros. A eficiência da etapa que contribui para a clarificação do efluente dependerá do volume de composto químico utilizado, e com a execução deste processo cerca de 80 a 90% das bactérias, 40 a 70% de DBO, 30 a 60% de DQO e de 80 a 90% da matéria suspensa total são removidas (CHAGAS, 2009).

---

<sup>10</sup> MELLO, Edson José Rezende de. **Tratamento de Esgoto Sanitário**. 2007. Monografia (Pós-Graduação) – Engenharia Sanitária – UNUMINAS, MG, Uberlândia, 2007.

#### **4.10.2.2. Flotação**

A flotação consiste em um método de separação de mistura que introduz bolhas de ar nos efluentes, permitindo que as partículas se adiram às bolhas, dando formação a uma espuma que ficará na superfície do efluente, podendo ser retirada facilmente (MARCONDES, 2012).

#### **4.10.2.3. Decantação**

Nos tanques de decantação os efluentes percorrem lentamente por todos os decantadores, possibilitando que os sólidos em suspensão que apresentam densidade maior que a do efluente sedimentem gradativamente no fundo. Este material ao fundo do decantador recebe o nome de lodo primário bruto. Os tanques de decantação podem se apresentar em formas circulares ou retangulares (VON SPERLING, 1996).

#### **4.10.3. Tratamento Secundário**

No tratamento secundário o principal objetivo é a retirada de matéria orgânica que ainda permanece nos efluentes industriais mesmo após passar pelo tratamento primário. Nesta etapa a remoção de matéria é realizada por reações bioquímicas, executadas por microrganismos que possibilitam a redução de DBO e DQO. Estes procedimentos podem ocorrer de forma aeróbia ou anaeróbia (BELTRAME, 2000, VON SPERLING, 1996).

No tratamento biológico aeróbio os processos mais comuns são os sistemas de lodos ativos, filtros biológicos, lagoas facultativas que podem ser de estabilização ou aeradas, e outros (FARRUGIA, 2012).

Já nos tratamentos biológicos anaeróbios dispomos de lagoas anaeróbias, filtros anaeróbios, entre outros (FARRUGIA, 2012).

Os procedimentos aeróbios são os mais utilizados no tratamento de efluentes industriais, e em caso de efluentes têxteis, emprega-se especialmente os sistemas de lodos ativos (BELTRAME, 2000).

#### **4.10.3.1. Lagoas facultativas de estabilização**

Lagos de estabilização são unidades desenvolvidas com intuito principal para o tratamento de esgoto. O processo por lagoas facultativas de estabilização é bem simples, pois baseia-se apenas na utilização de fenômenos naturais. Nas lagoas o esgoto entra em uma das margens e sai na margem oposta, no decorrer desse trajeto que possui duração de vários dias uma sequência de acontecimentos favorece a purificação dos esgotos (VON SPERLING, 1996).

Neste processo a matéria orgânica em suspensão (DBO particulada) tende a se sedimentar, dando formação ao lodo de fundo, o qual é submetido ao processo de decomposição por microrganismo anaeróbio, que o converte em gás carbônico, água, metano e outros. Já a matéria orgânica dissolvida (DBO solúvel) juntamente com a matéria orgânica de pequena proporção em suspensão que não fora sedimentada sofre decomposição por bactérias facultativas, que possuem capacidade de sobreviver na presença ou na ausência de oxigênio (VON SPERLING, 1996).

E ao se tratar da fotossíntese, como ela somente ocorre no decorrer do dia, durante a noite a inexistência de oxigênio prevalece. Com isso é primordial que as principais bactérias responsáveis pela estabilização da matéria orgânica sejam facultativas, para que consigam sobreviver e proliferar na presença ou ausência de oxigênio (VON SPERLING, 1996).

#### **4.10.3.2. Lagoas aeradas**

As lagoas aeradas facultativas se diferem das convencionais porque possuem dimensões menores e quanto à forma de suprimento de oxigênio. Nas lagoas facultativas o oxigênio é decorrente da fotossíntese e nas lagoas aeradas é obtido por equipamentos apresentados como aeradores (VON SPERLING, 1996).

Os aeradores mecânicos de eixo vertical são os mais utilizados nestes tipos de lagoas, por possuírem a capacidade de rodarem em alta velocidade, provocando uma elevada agitação na água, que possibilita a penetração do oxigênio atmosférico na massa líquida onde ele se dissolve. Este processo proporciona maior introdução de oxigênio, comparando-se com as lagoas facultativas convencionais, possibilitando uma decomposição de matéria orgânica mais rápida (VON SPERLING, 1996).

#### **4.10.3.3. Lodos ativos**

O método de tratamento por lodos ativos baseia-se na floculação de biomassa do lodo. Os flocos são constituídos por uma associação de microrganismos com aptidão de usar os compostos químicos presentes no efluente como fonte de nutrientes e carbono (ROSA e BAZZANELLA, 2013).

Para o desenvolvimento dos flocos no processo de lodos ativos conta-se com diferentes microrganismos como: bactérias, fungos, protozoários e micrometazoários, que oxidam os compostos orgânicos e inorgânicos contidos nos efluentes (ROSA et al, 2013, OLIVEIRA et al, 2009).

O sistema de lodos ativos conta com o auxílio de um reator que recebe o nome de tanque de aeração e um tanque de decantação secundário. Neste sistema o princípio básico consiste na recirculação dos sólidos do fundo do decantador secundário, mediante o bombeamento para a unidade de aeração (VON SPERLING, 1996).

#### **4.10.3.4. Filtros biológicos**

O método de filtros biológicos se diferencia dos já citados anteriormente, pois a biomassa se desenvolve aderida a um meio suporte e não espalhada em tanques ou lagoas. São constituídos por um leito com objetos grosseiros como pedras, ripas ou materiais plásticos, onde o esgoto é aplicado através de gotas ou jatos que percolam em sentido aos drenos de fundo, ação que possibilita o desenvolvimento de bactérias nas extremidades das pedras ou dos materiais de enchimento. Estes são considerados sistemas aeróbios, uma vez que o ar passa por espaços vazios entre as pedras, oferecendo oxigênio para a respiração dos microrganismos (VON SPERLING, 1996).

#### **4.10.4. Tratamento Terciário**

O tratamento terciário é executado por processos físico-químicos que tendem a completar o tratamento dos efluentes, principalmente na retirada da cor (BELTRAME, 2000), mas também com a remoção de matéria orgânica, compostos não biodegradáveis, poluentes tóxicos ou específicos de metais pesados, sólidos inorgânicos dissolvidos, e outros que ainda restam nos efluentes. Esta etapa também é conhecida como pós-tratamento, nele são retirados

os poluentes específicos, tais como os micronutrientes (nitrogênio, fósforo...) e patogênicos (bactérias, fungos) (IBRAHIN; IBRAHIN; CANTUÁRIA, 2015).

Nesta etapa podem ser utilizados diferentes tipos de processos que completam o tratamento secundário, processos estes que podem ser através de lagoas de maturação, cloração, ozonização, remoção de nutrientes, eletrólise, osmose reversa, troca iônica entre outros (IBRAHIN; IBRAHIN; CANTUÁRIA, 2015).

Ainda segundo os mesmos autores, na fase terciária temos como os principais processos de tratamento a osmose reversa, troca iônica, eletrodialise reversa e adsorção em carvão ativado.

#### **4.10.4.1. Osmose reversa**

A osmose reversa (RO) é um processo de separação que consiste na retirada de sólidos dissolvidos, mediante a filtração. Para isso se utiliza uma membrana semipermeável, com pressão maior que a pressão osmótica realizada pelos sólidos dissolvidos no líquido a ser filtrado (SCAPINI, 2007).

#### **4.10.4.2. Troca iônica**

O processo de troca iônica consiste na utilização de resinas sintéticas. Estas resinas possuem a finalidade de retirar os sais dissolvidos na água mediante a uma reação química, sendo acumuladas no seu interior, com isso as resinas necessitam ser reabilitadas regularmente. Estas resinas de troca iônica são substâncias granulares insolúveis que possuem em sua estrutura molecular radicais ácidos ou básicos, aptos a realizar a substituição dos cátions ou ânions, por outros ali contidos (SCAPINI, 2007).

#### **4.10.4.3. Eletrodialise**

A eletrodialise é um método de separação eletroquímica, em que os íons são transferidos por membranas de uma solução menos concentrada para uma mais concentrada com aplicação de corrente elétrica direta (MACHADO, 2008).

#### **4.10.4.4. Carvão ativado**

O carvão ativado é um sólido poroso que possui elevada capacidade de sorver compostos, pois possui forma de carbono amorfa tratada com intuito de melhorar seu potencial de adsorção (ODY, 2014).

#### **4.11. Aplicação de Enzimas em Tratamentos Alternativos Para Efluentes Têxteis**

Ao se tratar das etapas e processos de tratamentos de efluentes das indústrias têxteis, no geral eles se baseiam em operações de sistemas físico-químicos como, coagulação, floculação e decantação seguidos por tratamento biológico via sistema de lodos ativos. Os processos utilizados normalmente mostram uma elevada eficiência na remoção de material particulado. No entanto eles permitem a remoção de aproximadamente apenas 80% da carga de corantes e compostos orgânicos ali presentes, com isso é necessária a utilização de processos que concluam a remoção destas cargas, tornando os efluentes adequados para o descarte (KUNZ et al., 2002).

No decorrer do processo geram-se volumes consideráveis de lodo, e devido ao elevado teor de corante, metais pesados e sulfetos adsorvidos no mesmo este se torna impróprio para quaisquer formas de reaproveitamento. Pensando nisso, estudos em busca de novos métodos para o tratamento de efluente têxtil vêm sendo desenvolvidos e aperfeiçoados por profissionais da área (KAMMRADT, 2004, KUNZ et al., 2002 ).

Tendo em vista sempre a atualização e implantação de novas normas, cada vez mais exigentes ao se tratar do descarte de efluentes no meio ambiente, o desenvolvimento de etapas e processos alternativos com capacidade elevada na remoção de cor em efluentes industriais possui grande importância para a sociedade e para o meio ambiente (SILVA et al., 2012).

Assim sendo, estudos envolvendo a aplicação de enzimas no tratamento complementar de efluentes industriais, como os produzidos por indústrias petroquímicas, farmacêuticas, de papel e celulose, têxteis e de tingimento, têm ganhado grande reconhecimento, mostrando elevada eficiência (SILVA et al., 2012, ELY; KEMPKA; SKORONSKI, 2016).

O método de tratamento enzimático apresenta certas vantagens ao ser comparado com os tratamentos convencionais, tais como: aplicações em materiais recalcitrantes, bom desempenho em concentrações baixas ou elevadas de contaminantes, atuação em uma ampla faixa de pH, temperatura e alcalinidade, sendo dispensável a aclimatização de biomassa e fácil

processo de controle. Pode-se citar também a ação catalítica das enzimas, que é altamente eficiente e seletiva, ao serem comparadas com os catalisadores químicos convencionais (DURÁN; ESPOSITO, 2000 apud SILVA, 2011)<sup>11</sup>.

Na TAB 5 a seguir observa-se exemplos de enzimas e suas determinadas fontes para que possam ser utilizadas no tratamento de efluentes.

Tabela 5 - Enzimas aplicáveis em tratamento de efluentes.

<b>Enzima</b>	<b>Fonte</b>
Lacase	Diversos fungos: <i>Rhizoctonia praticola</i> <i>Fomus annosus</i> <i>Trametes versicolor</i>
Peroxidase	Raiz forte, tomate, nabo, soja, rabanete, <i>Coprinus macrorhizus</i>
Lignina peroxidase	<i>Phanerochaete chrysosporium</i>

Fonte: Adaptação de Forgiarini, 2006.

Em estudos realizados as enzimas mostram uma redução satisfatória da cor nos efluentes, mostrando resultados que chegaram a 99% de remoção de cor (ELY; KEMPKA; SKORONSKI, 2016).

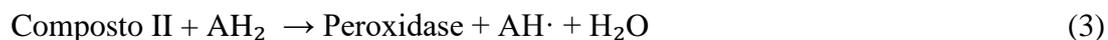
#### **4.12. Utilização de Peroxidase Extraída de Vegetais no Tratamento de Efluentes Têxteis**

Nas indústrias a peroxidase é aplicada devido a suas propriedades catalíticas, a sua versatilidade de identificar diferentes substratos e em relação a sua termoestabilidade (SILVA, 2011).

As peroxidases catalisam a diminuição do peróxido de hidrogênio, à medida que um doador de elétron é oxidado. A baixa especificidade destas enzimas proporciona uma vasta aplicação, que podem apresentar vantagens tecnológicas, econômicas e ambientais (SILVA, 2011).

Segundo Silva, Corrêa, Torres e Amorim (2012) As peroxidases catalisam a transformação/degradação de corantes, através da precipitação ou pela ruptura do anel aromático. A seguir temos um exemplo do mecanismo de atuação da peroxidase, apresentados em três estágios de reação.

<sup>11</sup> DURÁN, N.; ESPOSITO, E. Potential applications of oxidative enzymes and phenoloxidase; like compounds in wastewater and soil treatment; a review. **Applied catalysis B: Environmental**, New York, Nov. 2000.



No primeiro estágio do processo ocorre uma reação entre o sítio ativo e o peróxido de hidrogênio, onde o peróxido de hidrogênio é reduzido dando origem a um composto I e água. No segundo estágio, o composto I oxida uma molécula de substrato ( $\text{AH}_2$ ), produzindo outro substrato e um composto II, por fim, no terceiro estágio o composto II é reduzido por uma segunda molécula de substrato, produzindo água, um substrato com baixa concentração e fazendo com que a enzima volte a sua forma inicial (SILVA; CORRÊA; TORRES; AMORIM, 2012).

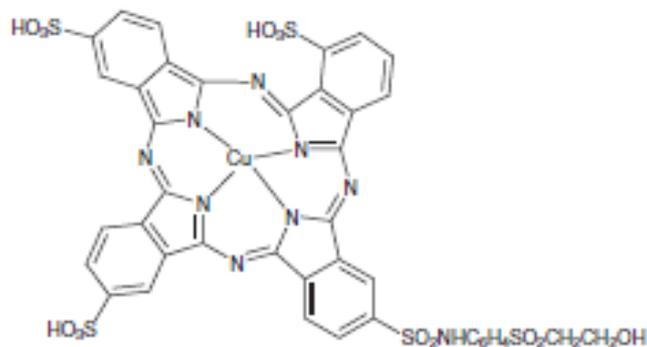
Entre estudos realizados para extração da peroxidase de vegetais, os que mais apresentaram resultados satisfatórios foram aqueles que utilizam batata-doce, nabo, rabanete e abobrinha (OLIVEIRA; VIEIRA, 2006 apud SILVA, 2011)<sup>12</sup>.

Com isso Silva, Corrêa, Torres e Amorim (2012) realizaram avaliações do potencial de descoloração a partir da peroxidase nos diferentes corantes: turquesa remazol G 133% (C. I. reactive blue 21), remazol brilhante blue R (C. I. reactive blue 19), remazol brilliant orange 3R (C. I. reactive orange 16) e o remazol vermelho ultra RGB, e os corantes ácidos tellon blue RR (C. I. acid blue 62) e metil orange (C. I. acid orange 52), cuja estruturas químicas de alguns são apresentados nas FIG's 17,18 e 19. a seguir. Silva (2011) também realizou avaliações do potencial de descoloração a partir da peroxidase, porém somente do corante turquesa remazol G 133% (C. I. reactive blue 21), todos utilizados em indústrias têxteis.

---

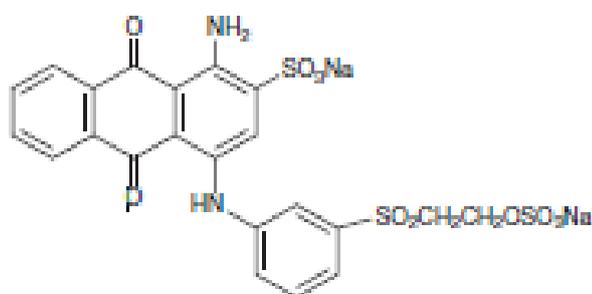
<sup>12</sup> OLIVEIRA, I. R.W.Z.; VIEIRA, I. C. Construção e aplicação de biossensores usando diferentes procedimentos de imobilização da peroxidase de vegetal em matriz de quitosana. **Química Nova**, São Paulo, 2006.

Figura 17 - Estrutura química do corante turqueza remazol G 133%



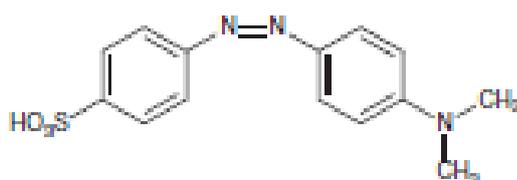
Fonte: Silva, Corrêa, Torres e Amorim, 2012.

Figura 18 - Estrutura química do corante remazol brillante blue R



Fonte: Silva, Corrêa, Torres e Amorim, 2012.

Figura 19 - Estrutura química do corante metil orange



Fonte: Silva, Corrêa, Torres e Amorim, 2012

Silva, Corrêa, Torres e Amorim (2012) realizaram estudos baseados na peroxidase extraída da raiz do nabo (PEN). Já o pesquisador Silva (2011) baseou seus estudos não só na peroxidase extraída do nabo, mas também na peroxidase extraída do rabanete e, além disso, realizou estudos de extração de suas raízes, casca e folhas para observar as diferentes atividades oferecidas.

Nos estudos realizados por ambos os autores, foram utilizados métodos similares para a obtenção do extrato bruto enzimáticos, nos quais as raízes com cascas foram lavadas em água corrente e águas destilada. Posteriormente 25g foram descascados e picados em pedaços

com tamanhos regulares e homogeneizados em um liquidificador contendo 100 mL de solução tampão fosfato  $0,05 \text{ mol L}^{-1}$  com pH de 6,5 por 30 segundos. O produto resultante desse processo passou por filtração em tecido organza e centrifugado por 15 minutos a uma temperatura de  $4^{\circ}\text{C}$ , onde se obteve uma substância utilizada como fonte enzimática da peroxidase, a qual foi armazenada e mantida na temperatura de  $4^{\circ}\text{C}$ . As cascas e folhas também foram lavadas e picadas em pedaços pequenos e regulares e passaram pelo mesmo processo de extração.

Sobre a substância enzimática obtida, fora adicionada acetona gelada até que atingisse 65% (v/v). Em seguida o sistema ficou em repouso de 12 a 14 horas, a uma temperatura de  $-18^{\circ}\text{C}$ . Após este tempo, o homogenato foi centrifugado, por 15 minutos a  $4^{\circ}\text{C}$ . O precipitado contendo a peroxidase foi submetido a retirada da acetona por imersão em gelo, por 3 horas, onde foi ressuspensionado em 10mL de tampão fosfato de sódio  $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ , pH 6,5. O produto obtido foi utilizado na descoloração. O procedimento foi executado em triplicata (SILVA; CORRÊA; TORRES; AMORIM, 2012).

Os ensaios de descoloração executados pelos autores foram desenvolvidos a uma temperatura de  $30^{\circ}\text{C}$  em tampão fosfato  $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ , pH 7,0 (1,2 mL), em meio composto de:  $\text{H}_2\text{O}_2$   $100 \mu\text{mol L}^{-1}$  (0,4 mL), corante (1,5 mL) e 0,1 mL de extrato enzimático, sendo este repetido para todos os corantes.

Para ambos, a mistura reacional fora incubada em espectrofotômetro junto a um banho termostatizado, onde as absorbâncias dos corantes foram medida em diferentes tempos durante os experimentos.

No experimento realizado por Silva (2011) a princípio todos os parâmetros foram mantidos constantes por um período de 2 horas, com intuito de avaliar o melhor tempo de contato da enzima com o corante, e na sequência foram executados experimentos onde se variou a concentração do corante (de 10 a  $50 \text{ mg L}^{-1}$ ), a concentração do peróxido de hidrogênio (de 50 a  $500 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) e a concentração da enzima peroxidase (de 1.62 a  $26.16 \text{ U mL}^{-1}$ ).

No experimento realizado por Silva, Corrêa, Torres e Amorim (2012), a absorbância dos corantes foram medidas em diferentes tempos, no decorrer do experimento, e a porcentagem de remoção de cor dos corantes foi calculada.

Silva, Corrêa, Torres e Amorim (2012) realizaram também um ensaio de descoloração enzimático por PEN utilizando efluentes sintéticos, contendo os corantes CTR ( $50 \text{ mg L}^{-1}$ ), efluente este que foi produzido com: 125 mL de água da torneira contendo 6,25 g de NaCl; adição de 125  $\mu\text{L}$  de agente molhante e 107  $\mu\text{L}$  de agente sequestrante; adição do corante reativo ( $50 \text{ mg L}^{-1}$ ), mantendo-se a solução a 55-60 °C, por 10 min, para a completa dissolução; adição de 0,25 g de NaOH e 1,25 g de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  e conservação da temperatura constante por mais 1 h. A descoloração foi realizada para se avaliar a eficiência do tratamento na presença de sais e auxiliares químicos de tingimento na atuação da enzima.

Os resultados obtidos por Silva (2011) para todas as análises realizadas são apresentados a seguir.

#### 4.12.1. Definição do vegetal mais rico em peroxidase e com maior atividade

Na TAB 6 são apresentados às atividades obtidas das peroxidases de diferentes tecidos vegetais do nabo e do rabanete.

Tabela 6 - Atividade de peroxidase.

Amostra	Tecido vegetal	Atividade ( $\text{U mL}^{-1}$ )
Nabo ( <i>Brassica campestre</i> ssp. <i>Rapifera</i> )	Raiz	1,080
	Casca	1,487
	Folhas	0,024
Rabanete ( <i>Raphanus sativus</i> )	Raiz	0,225
	Casca	1,039
	Folhas	0,015

Fonte: Adaptação de Silva, 2011.

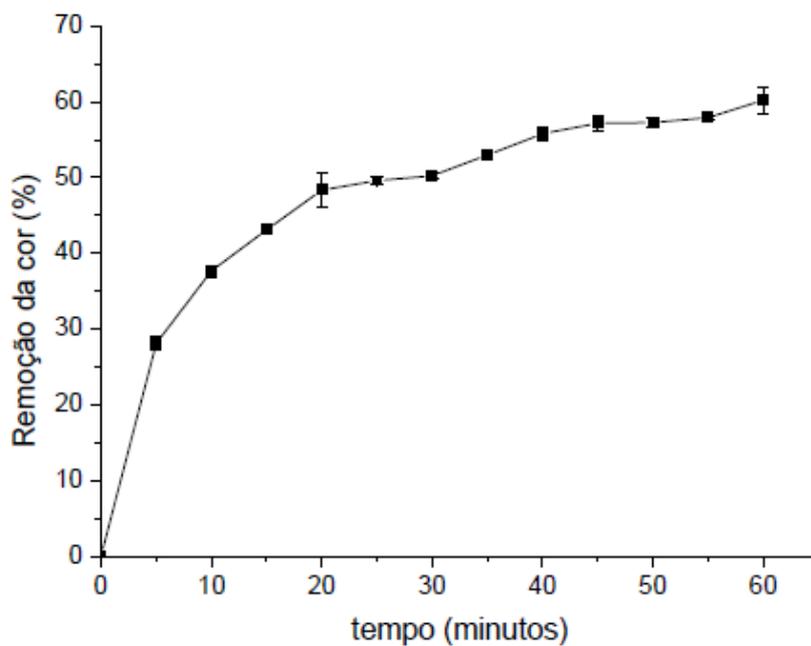
Ao verificar as análises, pode-se observar que o nabo apresentou maiores atividades enzimáticas, em todos os seus tecidos vegetais. Dessa forma, adotou-se a casca + raiz como fonte principal de enzima.

#### 4.12.2. Tempo de contato do corante com a enzima

Na FIG. 20 apresentada a seguir são mostrados os resultados da análise realizada para avaliar o tempo de contato necessário da enzima com o corante para que houvesse a máxima

retirada do mesmo. O ensaio foi realizado utilizando concentrações fixas de enzima PEN ( $20,3 \text{ U mL}^{-1}$ ), de corante ( $50 \text{ mg L}^{-1}$ ) e de  $\text{H}_2\text{O}_2$  ( $100 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ ).

Figura 20 - Avaliação do tempo ideal na remoção de cor por enzima



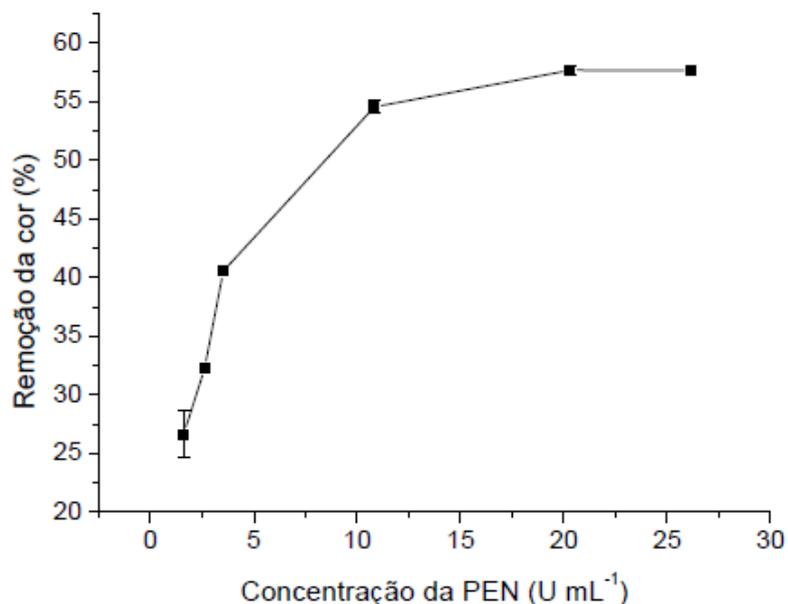
Fonte: Silva, 2011.

Como mostra a FIG. 20 obteve-se que após 45 minutos não ocorreu aumentos significativos na remoção de cor, sendo que após 60 minutos fora removido  $60,00 \pm 1,82\%$ , e  $57,00 \pm 0,45\%$ , após 50 minutos. Com isso considerou-se como tempo padrão para realização dos ensaios 50 minutos.

#### 4.12.3. Variação na concentração da enzima

Nesta análise foi avaliada a descoloração do CTR, utilizando-se diferentes concentrações de enzima, que variaram de  $1,6$  a  $26,16 \text{ U mL}^{-1}$ , mantendo constantes os demais parâmetros ( $100 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$  e  $50 \text{ mg L}^{-1}$  de corante). Os resultados são apresentados na FIG. 21 a seguir.

Figura 21 - Remoção da cor em diferentes concentrações de PEN



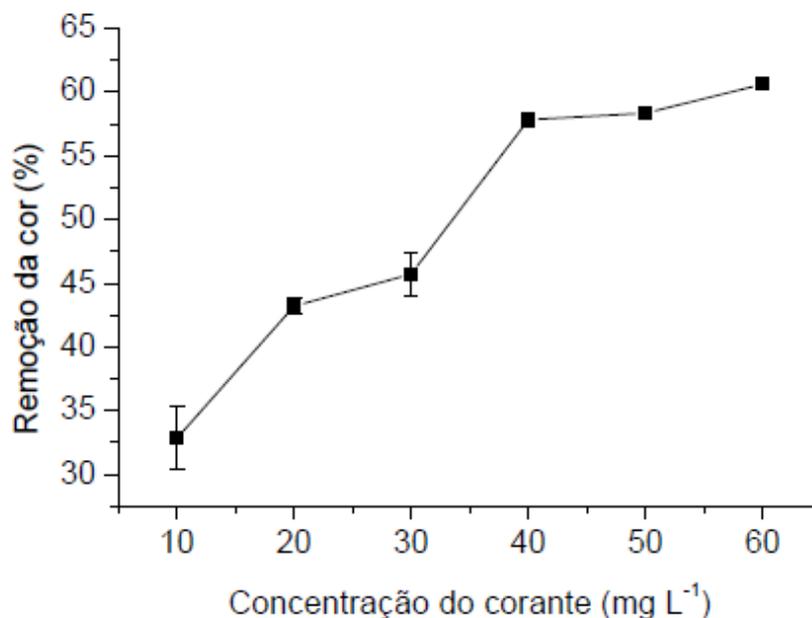
Fonte: Silva, 2011.

Através da figura observa-se que houve um bom desempenho na remoção de cor com o aumento da quantidade enzimática, até que se atingisse concentração de  $10,83 \text{ U mL}^{-1}$ , com remoção de  $54,5 \pm 0,5\%$  da cor. A partir dessa concentração não houve aumento significativo na remoção. Pode-se observar que a descoloração não foi influenciada em altas concentrações de enzima. Dessa forma, pode-se considerar uma faixa de concentração ótima de PEN de  $10,83$  a  $20,3 \text{ U mL}^{-1}$  para a remoção de CTR.

#### 4.12.4. Variação na concentração de corante

Os resultados da avaliação da concentração do corante CTR, em sua descoloração pela ação da enzima PEN, são apresentados na FIG. 22 a seguir. Realizou-se vários ensaios variando a concentração do corante de  $10$  e  $60 \text{ mg L}^{-1}$ , mantendo constantes os demais parâmetros ( $100 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$  e  $10,83 \text{ U mL}^{-1}$  de extrato enzimático).

Figura 22 - Remoção da cor em diferentes concentrações do corante CTR



Fonte: Silva, 2011.

Analisando a FIG. 22, observa-se que no aumento do corante até 40 mg L<sup>-1</sup> obteve-se aumento crescente na remoção de cor, porém em concentrações maiores que 60 mg L<sup>-1</sup>, o aumento da remoção foi insignificante.

Agora serão apresentados a seguir os resultados obtidos por Silva, Corrêa, Torres e Amorim (2012) das análises realizadas.

#### 4.12.5. Descoloração dos corantes

As porcentagens de descoloração dos corantes aconteceram em diferentes velocidades, sendo que variaram com os tipos de corantes utilizados nos ensaios, o que indica que a especificidade da enzima obtida depende da estrutura de cada corante, as quais são apresentadas na TAB 7 a seguir.

Tabela 7 - Classificação dos corantes em estudo.

Corante	Classificação	
	Quanto ao modo de fixação	Quanto à estrutura química
Turqueza remazol G 133%	Reativo	Ftalocianina
Remazol brilliant blue R	Reativo	Antraquinona
Remazol brilliant orange 3R	Reativo	Azo
Remazol vermelho ultra	Reativo	Não disponível
Levafix brilliant green E 5BA	Reativo	Triarilmetano
Acid blue 62	Ácido	Antraquinona
Acid orange 52	Ácido	Azo

Fonte: Silva, Corrêa, Torres e Amorim, 2012.

Os resultados obtidos quanto a descoloração dos corantes são apresentados na TAB 8 a seguir.

Tabela 8 - Descoloração dos corantes por peroxidase de nabo (PEN)

Corantes	Concentração corante (mg L <sup>-1</sup> )	Concentração enzima (U mL <sup>-1</sup> )	Tempo de retenção (min)	Remoção da cor (%)
Turqueza remazol G133%	50	20,3	60	60,0 ± 2,6
Remazol brilliant Blue R	50	16,7	40	66,0 ± 3,8
Remazol brilliant orange 3R	20	20,5	110	9,0 ± 1,7
Reactive green 21	50	64,3	45	66,0 ± 1,0
Remazol vermelho ultra RGB	20	20,5	60	5,5 ± 0,6
Acid blue 62	50	13,1	3	47,0 ± 1,6
Metil orange	14	13,1	65	50,0 ± 1,4

Fonte: Silva, Corrêa, Torres e Amorim, 2012.

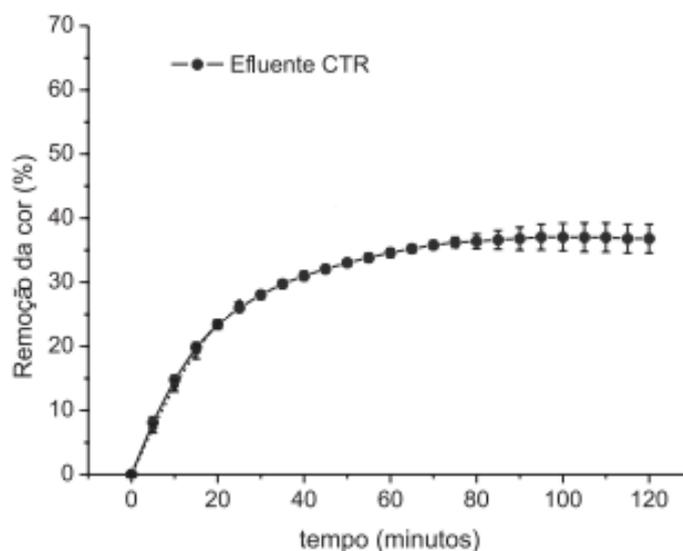
Como pode-se observar, os corantes Turqueza remazol G133% e Reactive green 21 sofreram maior descoloração durante o tratamento, seguidos dos corantes brilliant blue R, metil orange e acid blue. Observou-se então que a PEN apresenta ter maior afinidade com corantes ftalocianínicos, antraquinona e triarilmetano e baixa eficiência na remoção de corantes azo.

#### 4.12.6. Descoloração dos efluentes sintéticos

A presença de sais e auxiliares químicos de tingimento no potencial de descoloração do corante reativo CTR foi avaliado, submetendo-se o efluente sintético ao tratamento enzimático.

Os autores acharam importante a utilização do efluente têxtil simulado para se avaliar a eficiência do processo de descoloração para uma situação real, e o resultado obtido é mostrado a seguir na FIG. 23.

Figura 23 - Descoloração do efluente contendo corante turqueza remazol G 133%, em função do tempo de contato.



Fonte: Adaptação de Silva, Corrêa, Torres e Amorim, 2012.

Segundo Silva, Corrêa, Torres e Amorim (2012), a descoloração alcançada no efluente sintético contendo CTR foi de apenas 37%, em 95 min de contanto com a enzima. A menor eficiência do tratamento enzimático nesse caso pode ocorrer devido à formação de ligações químicas fortes com os diferentes compostos no meio reacional, como os auxiliares químicos e sais contidos no efluente.

#### 4.12.7. Demanda química de oxigênio (DQO)

Na análise de descoloração em um efluente sintético, a utilização do extrato vegetal com alto teor de carbono, o corante residual e os subprodutos da reação, contribuíram para o aumento da demanda química de oxigênio (DQO), o que provocaria diferentes impactos ao

meio ambiente. Na TAB 9 a seguir são apresentados valores de DQO das amostras antes e depois de serem submetidas ao tratamento enzimático.

Tabela 9 - Determinação da demanda química de oxigênio (DQO)

Amostra	DQO (mg L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub> )
CTR (50 mg L <sup>-1</sup> )	19,7 ± 2,1
Efluente sintético contendo CTR sem tratamento enzimático	56,4 ± 0,8
Efluente sintético contendo CTR após tratamento enzimático	238,8 ± 2,5

Fonte: Silva, Corrêa, Torres e Amorim, 2012.

Sendo assim, a utilização dessa técnica enzimática deve ser utilizada em conjunto com processos convencionais, onde ocorra a correção da DQO pelos processos biológicos.

#### 4.13. Utilização de Enzima em Outros Processos

Com o elevado crescimento populacional e com as diferentes necessidades humanas e indústrias, surgem diversos problemas ambientais, como por exemplo, a geração de resíduos e produtos prejudiciais ao meio ambiente. Porém, com a grande conscientização ambiental e com as normas ambientais que estabelecem padrões fundamentais para o descarte de resíduos, são desenvolvidas alternativas que eliminam, tratam ou reaproveitam os resíduos de forma muito satisfatória (ELY; KEMPKA; SKORONSKI, 2016).

Os processos catalíticos que aplicam as peroxidases são propostos por inúmeros pesquisadores, confirmando a aplicabilidade das enzimas em tratamentos de diversos resíduos (ELY; KEMPKA; SKORONSKI, 2016).

Em consequência dessa conscientização ambiental e com os padrões estabelecidos de descartes a utilização da peroxidase em outros processos vem sendo estudada, como por exemplo, na utilização da peroxidase na desodorização de adubos citados por Ely; Kempka e Skoronski (2016). Onde através de estudos realizados os pesquisadores observaram que raízes de rábano na presença de CAO<sub>2</sub>, diminuiram a concentração de fenol em 70% e 45% para ácidos graxos voláteis, o que corresponde a uma redução de 100% na concentração de odores fenólicos. Estes estudos confirmam que o uso de materiais de plantas transportadores de enzimas e peróxidos é eficiente também no controle de odor fenólico no estrume de animal.

Outro processo no qual a enzima apresentou grande eficiência foi na redução de compostos fenólicos, muito encontrados em efluentes de refinarias de petróleo, onde uma fonte importante de poluentes é o craqueamento catalítico de uma quantidade do petróleo bruto para produzir produtos de petróleo mais leves, e neste tipo de efluente normalmente possuem outros poluentes orgânicos e inorgânicos, tais como os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA), benzeno e seus derivados, cianetos e sulfuretos, que foram oxidados em pH 8,0 e temperatura de 40°C. Neste caso o tratamento com enzimas resultou em um efluente com baixa carga de fenol, além de apresentar remoção de 58% de DQO, 78% de DBO e 95% de toxidades (ELY; KEMPKA; SKORONSKI, 2016).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os efluentes gerados pelas indústrias têxteis possuem grandes quantidades de contaminantes, e apresentam uma coloração em consequência de corantes utilizados no processo. Estes efluentes quando submetidos a tratamentos adequados passam por várias etapas, até que estejam aptos a serem descartados em um corpo receptor, obedecendo todos os parâmetros estabelecidos pela COPAM, evitando assim a poluição e danos a humanidade e ao meio ambiente.

Porém, apenas o tratamento convencional não é suficiente para a remoção total de corantes que se dissolvem no efluente deste tipo de indústria. Portanto no trabalho realizado foi estudado um tratamento complementar com base na peroxidase.

Entre os vegetais analisados o nabo foi o vegetal que apresentou maior atividade enzimática, uma vez que a peroxidase obtida através do mesmo apresentou alta eficiência na remoção de cor em corantes utilizados na indústria têxtil e em outros processos.

Nos tratamentos de corantes pela peroxidase extraída do nabo (PEN), os resultados apresentados mostram uma boa eficiência de remoção de cor, e em um efluente sintético contendo CTR. Na tentativa de simular um efluente têxtil, constatou-se um aumento considerável na DQO, porém como este tratamento deve ser utilizado na complementação de tratamentos convencionais, este aumento será corrigido, podendo assim ser uma alternativa eficiente e de baixo custo.

As enzimas apresentaram ainda, eficiência em outros processos, como por exemplo, na desodorização de adubos e na redução de compostos fenólicos, e não só no tratamento de descoloração de corantes têxteis.

## REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, M. R.; DALTIM, D.. A Química do Processamento Têxtil. **Química Nova**, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 320-329, out./1995.

AUDACES. **História da produção têxtil no Brasil**. Disponível em: <<https://www.audaces.com/historia-da-producao-textil-no-brasil-parte-i/>>. Acesso em: 30 mar. 2019.

BELTRAME, Leocádia Terezinha Cordeiro. **Caracterização de Efluente Têxtil e Proposta de Tratamento**. 2000. 159 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2000.

BEZERRA, Francisco Diniz. Análise Retrospectiva e Prospectiva do Setor Têxtil no Brasil e no Nordeste . **Informe Macroeconomia, Indústria e Serviços**, Fortaleza , v. 8, n. 2, p. 1-37, ago./2014.

CHAGAS, Morgane de Aguiar. **Tratamento de Efluente Têxtil por Processos Físico-Químico e Biológico**. 2009. 57 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

CHEREM, Luiz Felipe Cabral. **Um Modelo Para a Predição da Alterção Dimensional em Tecidos de Malha em Algodão**. 2004. 147 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 357**: Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Brasília-DF, 26 de Dec. 2006.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 430**: Dispõe sobre as condições e padrões de lançamentos de efluentes. Brasília-DF, 17 de Mar. 2005.

COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental. **Deliberação Normativa CERH Nº 01**: Reformula as normas e padrões para lançamentos de efluentes. Minas Gerais. 05 de Mai. 2008.

ELY, Cynthia; KEMPKA, Anieli P.; SKORONSKI, Everton. Aplicação de Peroxidases no Tratamento de Efluentes: subtítulo do artigo. **Revista Virtual de Química**: subtítulo da revista, Brasil, v. 8, n. 5, p. 1537-1549, jun./2016.

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Guia técnico ambiental da indústria têxtil**. 2014. Disponível em: <[http://www.feam.br/images/stories/producao\\_sustentavel/GUIAS\\_TECNICOS\\_AMBIENTAIS/guia\\_textil.pdf](http://www.feam.br/images/stories/producao_sustentavel/GUIAS_TECNICOS_AMBIENTAIS/guia_textil.pdf)> Acesso em: 04 de Mar. 2017.

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Guia técnico ambiental da indústria têxtil**. 2014.

FIBRAS SINTÉTICAS. **Cómo se obtienen las fibras sintéticas**. Disponível em: <<https://sinteticasyespeciales.wordpress.com/2014/03/30/como-se-obtienen-las-fibras-sinteticas-2/>>. Acesso em: 19 abr. 2019.

FREIRE, Eleusio Curvêlo; MEDEIROS, J. D. C; ANDRADE, F. P. D. Cultura do Rami no Agreste Nordeste. **Embrapa**, Campina Grande, v. 22, n. 1, p. 5-20, set./1996.

FREITAS, Kátya Regina de. **Caracterização e Reuso de Efluentes do Processo de Beneficiamento da Indústria Têxtil**. 2002. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-sc, 2002.

FUJITA, R. M. L; JORENTE, Maria José. Indústria Têxtil no Brasil: uma perspectiva histórica e cultural. **ModaPalavra e-Periódico**, São Paulo, v. 8, n. 15, p. 153-174, jul./2015.

GIORDANO, Gandhi. Tratamento e Controle de Efluentes Industriais . **ABES**, Mato Grosso, v. 4, n. 76, p. 5-62, jun./2004.

GRARANTINI, C. C. I; ZANONI, M. V. B. Corantes Têxteis . **Química Nova**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 71-77, mar./2000.

IBRAHIN, F. I. D; IBRAHIN, Fábio José; CANTUÁRIA, Eliane Ramos. **Análise Ambiental: Gerenciamento de Resíduos e Tratamento de Efluentes**. 1. ed. São Paulo: Érica Ltda , 2015. p. 1-140.

IMMICH, Ana Paula Serafini. **Remoção de Corantes de Efluentes Têxteis Utilizando Folhas de Azadirachta indica como Adsorvente**. 2006. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

IMPACTO DOS CORANTES. **Impacto do corante sintético no meio ambiente**. Disponível em: <<https://www.trustedclothes.com/blog/2016/06/23/impact-of-dyes/>>. Acesso em: 20 out. 2019

INARA. **Fibra de Acetato**. Disponível em: <<https://inara.art.br/624-2/fibra-acetato/>>. Acesso em: 18 abr. 2019.

KAMMRADT, Patricia Bastos. **REMOÇÃO DE COR DE EFLUENTES DE TINTURARIAS INDUSTRIAIS ATRAVÉS DE PROCESSO DE OXIDAÇÃO AVANÇADA**. 2004. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Recursos Hídricos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

KUASNE, Angela. Fibras Têxteis. **Curso Têxtil em Malharia e Confecções** , Araranguá, v. 2, n. 1, p. 1-90, out./2008.

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

LEAL, Cláudia Sofia Mendes. **Solubilidade de Corantes AZO**. 2011. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química Industrial, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2011.

LIMA, Juliana Daldegan; SANSON, João Rogério. O SURTO DE INDUSTRIALIZAÇÃO DO SETOR TÊXTIL A PARTIR DE 1880: BLUMENAU E BRASIL . **História Econômica & Economia Regional Aplicada**, Juiz de Fora, v. 3, n. 5, p. 108-128, dez./2008.

MACHADO, Mara de Barros. **Avaliação do Processo de Eletrodialise Reversa no Tratamento de Efluentes de Refinaria de Petróleo**. 2008. 198 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

MARCONDES, Josiane Gasparini. **Tratamento de Efluentes**. 2012. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Química, Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis, Assis, 2012.

MEDEIROS, Pollyanna Neves de. **FABRICAÇÃO DE PRODUTOS TÊXTEIS E CONFEÇÃO DE ARTIGOS DO VESTUÁRIO E ACESSÓRIOS: Estudo recente do desempenho da cadeia têxtil na indústria metropolitana de Natal (1994-2015)**. 2017. 48 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

MORAIS, N. W. S; SANTOS, A. B. D. Análise dos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos e de reúso de águas residuárias de diversos estados do Brasil. **Revista DAE**, Ceará, v. 67, n. 215, p. 40-54, dez./2017.

ORSSATTO, Fabio; HERMES, Eliane; BOAS, M. A. V. Eficiência de Remoção de Óleos e Graxas de uma Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 4, p. 250-256, dez./2010.

PAGAN, Érica Viana. **Reúso da Água Industrial: Estudo de Casos em Indústrias Têxteis**. 2011. 38 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

PEIXOTO, F. *et al.* Corantes Têxteis. **HOLOS**, Ceará, v. 5, n. 1, p. 98-103, out./2013.

PEREIRA, Gislaine de Souza. **Introdução à Tecnologia Têxtil**. Araranguá: Instituto Federal de Santa Catarina, 2009. 99 p.

PEREIRA, Gislaine de Souza. **Materiais e Processos Têxteis**. Araranguá: Instituto Federal de Santa Catarina, 2009.

PORTAL AMAZÔNIA . **No Brasil, o cultivo de juta concentra-se no Amazonas**. Disponível em: <<http://portalamazonia.com/noticias/conheca-a-juta-a-fibra-poderosa-da-amazonia>>. Acesso em: 19 abr. 2019.

PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA. **Qualidade da Água**. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/qualidade-da-agua/>>. Acesso em: 28 set. 2019.

ROMERO, Luiz Lauro *et al.* **Fibras Artificiais e Sintéticas**. Rio de Janeiro: Bndes, 1995. 13 p.

ROSA, Jorge Marcos. **Efluentes no Beneficiamento Têxtil: Reutilização do Efluente Têxtil Tratado via Fotocatálise Homogênea no Tingimento de Tecido 100% Algodão**. 2013. 261 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Unicamp, Campinas, 2013.

SARON, Clodoaldo; FELISBERTI, Maria Isabel. Ação de Colorantes na Desgraçadão e Estabilização de Polímeros. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 125-128, ago./2005.

SCAPINI, Luciana. **Avaliação do Desempenho da Osmose Reversa e da Troca Iônica para Tratamento de Efluente de Curtume (Aimoré Couros LTA - Encatado) Visando a Reutilização da Água**. 2007. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sistemas e Processos Industriais., Universidade de Danta Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2007.

SILVA, M. C. *et al.* Descoloração de Corantes Industriais e Efluentes Têxteis Simulados por Peroxidase de Nabo: subtítulo do artigo. **Química Nova**: São Paulo, v. 35, n. 5, p. 879-894, jan./2012.

SILVA, Maria Cristina. **Degradação de Corantes e Remediação de Efluentes Têxteis por Extrato Bruto de Peroxidase de Nabo**. 2011. 136 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agroquímica, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

**SISTEMAS BIOLÓGICOS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES**. Santo André: Redação e Publicidade, 22 fev. 2012.

SOARES, José Luciano. **Remoção de Corante Têxtil por Adsorção em Carvão Mineral Ativado com Alto Teor de Cinzas**. 1998. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

USIMAK. **Sisal aumenta resistência de concreto**. Disponível em: <<http://usimak.blogspot.com/2011/10/sisal-aumenta-resistencia-de-concreto.html>> Acesso em: 19 abr. 2019.

WINSTON GOMES. **Fichas Técnicas de Fibras Têxteis**. Disponível em: <<http://www.winstongomes.com.br/fichas-tecnicas-de-fibras-texteis/>>. Acesso em: 19 abr. 2019.

YAMANE, Laura Ayako. **Estamparia Têxtil**. 2008. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Artes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.