

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO COMPOSTO  
RESIDUAL DA PRODUÇÃO DE FUNGO  
*PLEUROTUS OSTREATUS* NA REMOÇÃO DE  
CORANTES EM EFLUENTES TÊXTEIS**

Luigi Luckner Bogoni

Florianópolis, 2018



Luigi Luckner Bogoni

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO COMPOSTO RESIDUAL DA  
PRODUÇÃO DE FUNGO *PLEUROTUS OSTREATUS* NA  
REMOÇÃO DE CORANTES EM EFLUENTES TÊXTEIS**

Trabalho de conclusão de curso  
submetido ao Departamento de  
Engenharia Sanitária e Ambiental da  
Universidade Federal de Santa  
Catarina para a obtenção do título de  
Engenheiro Sanitarista e Ambiental.  
Orientador: André Aguiar Battistelli

Florianópolis  
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Bogoni, Luigi Luckner  
Avaliação da eficiência do composto residual da  
produção de fungo pleurotus ostreatus na remoção de  
corantes em efluentes têxteis / Luigi Luckner  
Bogoni ; orientador, André Aguiar Battistelli ,  
2018.  
67 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro  
Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e  
Ambiental, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2.  
Efluentes Têxteis, Pleurotus Ostreatus, Corantes.  
I. , André Aguiar Battistelli. II. Universidade  
Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia  
Sanitária e Ambiental. III. Título.



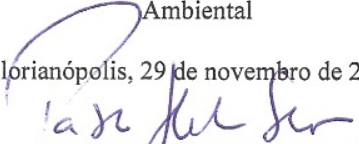


Luigi Luckner Bogoni

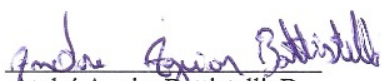
**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO COMPOSTO RESIDUAL DA  
PRODUÇÃO DE FUNGO *PLEUROTUS OSTREATUS* NA  
REMOÇÃO DE CORANTES EM EFLUENTES TÊXTEIS**

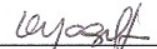
Este Trabalho de Conclusão de curso foi julgado adequado para  
obtenção do Título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental e aprovado  
em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Sanitária e  
Ambiental

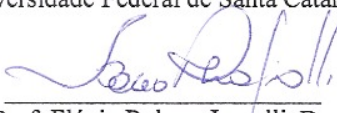
Florianópolis, 29 de novembro de 2018.

  
Prof. Pablo Heleno Sezerino, Dr.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

  
André Aguiar Battistelli, Dr.  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
Prof.<sup>a</sup> Maria Eliza Nagel Hassemer, Dr.<sup>a</sup>  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
Prof. Flávio Rubens Lapolli, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina



Este trabalho é dedicado ao meu querido avô, Sr. Carlos Emílio Luckner, que ficaria muito orgulhoso ao presenciar esta conquista.





## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Jair Antonio Bogoni e Márcia Luckner Bogoni, por todo o apoio e amor dedicado a mim durante toda a minha existência. E à minha irmã, Laiz Luckner Bogoni por me apoiar sempre e contribuir tanto na formação do meu caráter.

Ao meu orientador André Aguiar Battistelli, que além de me mostrar os caminhos da ciência, é um grande amigo e foi essencial na produção deste trabalho, obrigado pelas “reuniões formais” na Daniela, no Ribeirão da Ilha, e até mesmo comendo um pastel em Biguaçu.

A minha companheira Georgia Peruzzo Ribas, que me traz paz e alegria para seguir em frente a cada momento, que está sempre ao meu lado quando preciso, e que faz o amor renascer todos os dias no meu coração.

Ao Guilherme Rosa Prada e sua companheira Luiza Fert, irmãos que a vida me deu, que me mostraram o mundo dos fungos, e que jogaram muitas horas de conversa fora assistindo “Trailer Park Boys”.

Aos Irmãos Poletto, Chris e André, por me acolherem nos primeiros anos de UFSC, e por todos os momentos incríveis vividos juntos.

Aos companheiros de casa, Xande, Bola, e Marinas. Por dividirem o mesmo teto e estarem sempre a disposição.

Aos amigos da UDESC, Guma, Heron, Guto, Gusta, Scaini e Tio Vina. Que viveram comigo os primeiros anos de graduação.

Aos amigos do STC, com os quais eu vivi os melhores (e mais engraçados) momentos da minha vida.

Aos amigos da música, Guga, Matheuzinho, Jc, Cristhian, Jorge e Steffan. Pois sem ela a vida não faria sentido.

Aos parceiros do Handebol, por todos os treinos e campeonatos disputados durante a vida.

A todos os colegas e professores que estiveram comigo durante o meu período de formação.

Ao pessoal do LaRa, e do LaHiMar, pelos momentos vividos no laboratório.

À prof.<sup>a</sup> Margarida, e ao pessoal da Fungis Brasilis, por disponibilizarem o CR para os ensaios, e por estarem sempre dispostos a ajudar na minha pesquisa.

Aos membros da banca, prof. Flávio Rubens Lapolli, e prof.<sup>a</sup> Maria Eliza Nager Hassemer, por estarem dispostos a ler e corrigir este trabalho.



Saudade é uma faca afiada que corta nossos  
corações que faz da vida quase nada,  
e nos confunde na poeira dessa estrada.  
(Daniel Lucena)



## RESUMO

A preocupação ambiental existente em torno da indústria têxtil, principalmente por conta de seus efluentes com alta carga de corantes e substâncias tóxicas, exige sistemas de tratamento capazes de remover cor para atendimento da legislação. Neste contexto, este trabalho teve por objetivo estudar um meio alternativo aos métodos físico-químicos aplicados atualmente, baseado na utilização de resíduos da produção de fungos para degradação e adsorção de corantes. Para tanto, testes laboratoriais foram realizados buscando avaliar a capacidade de remoção de corantes nestes efluentes a partir do emprego de um composto residual (CR) da produção do fungo *Pleurotus ostreatus*, o qual foi aplicado diretamente sobre o efluente sob agitação constante em diversas concentrações (10, 50, 55, 100 e 150 g L<sup>-1</sup>), temperaturas (25, 45 e 65 °C), e faixas de pH (5, 7 e 9). Além disso, após a determinação da melhor condição experimental, também foram estudados os possíveis mecanismos de remoção ocorridos. Verificou-se que a condição operacional considerada ótima foi obtida com pH 9 e concentração de substrato de 150 g L<sup>-1</sup>. Sob tal condição a eficiência de remoção de cor obtida foi próxima a 80%. Constatou-se ainda, que o principal mecanismo de remoção ocorrido foi o processo de adsorção, entretanto, o processo de degradação enzimática também contribuiu para o aumento da eficiência observada. Assim, de maneira geral, tais resultados demonstram o elevado potencial da utilização de um resíduo agroindustrial como uma tecnologia sustentável para o tratamento de efluentes da indústria têxtil.

**Palavras-chave:** Corantes. *Pleurotus ostreatus*. Efluente têxtil.



## ABSTRACT

The environmental concern surrounding the textile industry, mainly due to its effluents with high loading of dyes and toxic substances, requires treatment systems capable of removing color to comply with the legislation. In this context, the objective of this work was to study an alternative medium to the physicochemical methods currently applied, based on the use of residues from the production of fungi for degradation and adsorption of dyes. For this purpose, laboratory tests were carried out to evaluate the dye removal ability of these effluents from the use of a residual compound (CR) of the *Pleurotus ostreatus* fungus, which was applied directly to the effluent under constant agitation at various concentrations (10, 50, 55, 100 and 150 g L<sup>-1</sup>), temperatures (25, 45 and 65 °C), and pH ranges (5, 7 and 9). In addition, after the determination of the best experimental condition, the possible mechanisms of removal were also studied. It was verified that the operational condition considered optimal was obtained with pH 9 and substrate concentration of 150 g L<sup>-1</sup>. Under such condition the obtained color removal efficiency was close to 80%. It was also observed that the main removal mechanism occurred was the adsorption process, however, the enzymatic degradation process also contributed to the increased efficiency observed. Thus, in general, these results demonstrate the high potential of the use of agroindustrial waste as a sustainable technology for the treatment of effluents from the textile industry.

**Keywords:** Dyes. *Pleurotus ostreatus*. Textile effluent.





## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Divisão da molécula de corante, parte A; grupo cromóforo, parte B; estrutura de fixação a fibra têxtil .....	7
Figura 2 - Semelhança da molécula de lignina com diversos corantes .	12
Figura 3 -Fórmula estrutural plana do corante LevafixBrillant Red. ....	18
Figura 4 - Fórmula estrutural plana do corante Remazol Preto B 133%. .....	18
Figura 5- Composto residual da produção de cogumelo, bloco de substrato colonizado por <i>Pleurotus ostreatus</i> .....	20
Figura 6 - Máxima absorvância para o efluente bruto.....	25
Figura 7 - Gráfico de superfície de resposta elaborado variando concentração e pH, em função da remoção de cor .....	26
Figura 8 - Diagrama de Pareto dos efeitos da variação da concentração e do pH e da interação entre eles.....	27
Figura 9 - Gráfico de superfície de resposta elaborado variando concentração e temperatura, em função da remoção de cor .....	28
Figura 10 - Diagrama de Pareto dos efeitos da variação da concentração e da temperatura e da interação entre elas .....	29
Figura 11 - Eficiência de descoloração ao longo do tempo.....	32
Figura 12- Absorção de cor no espectro visível .....	33







## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Relação de fungos com a sua capacidade de degradar toxinas. .....	10
Tabela 2 -Composição do efluente têxtil sintético. ....	17
Tabela 3- Planejamento fatorial 2 <sup>2</sup> .....	21
Tabela 4 - Planejamento fatorial para otimização da remoção de cor ...	22
Tabela 5 - Resultados complementares .....	30



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

Abs.- Absorbância

CR- Composto residual da produção do fungo *Pleurotus ostreatus*.

LaRA- Laboratório de Reúso das águas

Mnp - Manganês peroxidase



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1	OBJETIVOS .....	2
<b>1.1.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1.2</b>	<b>Objetivos específicos .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>5</b>
2.1	A INDÚTRIA TÊXTIL E SEUS EFLUENTES.....	5
2.2	CORANTES TÊXTEIS .....	6
2.3	PROCESSOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS .....	7
<b>2.3.1</b>	<b>Tratamento de efluentes têxteis utilizando fungos degradadores de lignina.....</b>	<b>9</b>
2.3.1.1	Cogumelos Comestíveis .....	11
2.3.1.1.1	<i>Cogumelo comestível Pleurotus ostreatus</i> .....	13
<b>2.3.2</b>	<b>Adsorção de corantes em efluentes têxteis utilizando serragem14</b>	
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>17</b>
3.1	EFLUENTE TÊXTIL SINTÉTICO.....	17
3.2	RESÍDUO DA PRODUÇÃO DE FUNGO <i>PLEUROTUS OSTREATUS</i> .....	19
3.3	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	20
<b>3.3.1</b>	<b>Planejamento Fatorial Preliminar.....</b>	<b>20</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Planejamento Fatorial para otimização da remoção de cor 21</b>	
<b>3.3.3</b>	<b>Ensaio complementares .....</b>	<b>22</b>
3.3.3.1	Condição I.....	23
3.3.3.2	Condição II .....	23
3.3.3.3	Condição III .....	23
3.3.3.4	Condição IV .....	23
3.3.3.5	Condição V .....	24
3.4	DETERMINAÇÃO DA DESCOLORAÇÃO .....	24

<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>25</b>
4.1	Varredura espectral .....	25
4.2	Resultados Preliminares .....	25
4.3	Resultados da otimização da remoção de cor.....	27
4.4	Resultados complementares .....	29
<b>4.4.1</b>	<b>Avaliação da descoloração ao longo do tempo.....</b>	<b>31</b>
<b>4.4.2</b>	<b>Comparação entre o composto residual e a serragem não colonizada.....</b>	<b>33</b>
	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>34</b>
	<b>RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>34</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>35</b>



# 1 INTRODUÇÃO

O elevado consumo de água e, conseqüentemente, a alta geração de despejos, são características das várias etapas do beneficiamento de tecidos das indústrias têxteis. Além disso, durante tais processos são utilizados diferentes produtos químicos, resultando na geração de efluentes com alta carga orgânica e com presença de poluentes persistentes de estruturas complexas, como é o caso dos corantes (CPRH, 2001). Dessa forma, se tais efluentes forem dispostos de maneira imprópria nos corpos hídricos, podem ocasionar, além da poluição visual, diversos danos ao ambiente (ZANONI; CARNEIRO, 2001).

Nesse viés, é notável um interesse considerável com o problema da cor nos cursos de água nas últimas décadas. Embora parte dessa cor normalmente se apresente de origens “naturais” como por exemplo, as águas provenientes de regiões pantanosas, uma proporção considerável se origina de efluentes, especialmente em rios que drenam grandes conurbações industriais (METCALF; EDDY, 2014). Dentre esses efluentes, alguns estão associados à produção e uso de corantes, nesse caso, além do problema da cor, existe a preocupação de que alguns corantes azóicos sejam tóxicos ou possam ser biologicamente modificados para compostos tóxicos ou carcinogênicos (CLARK, 1995).

Diante deste cenário, é importante destacar que os processos biológicos de lodos ativados, que são os sistemas normalmente empregados para o tratamento de efluentes contendo corantes, geralmente apresentam grande dificuldade na degradação desses compostos, provavelmente devido à sua estrutura química complexa e muito variada (SOARES *et al.*, 2014). Da mesma forma, os métodos químicos ou físico-químicos são geralmente caros e de aplicabilidade limitada (SENGIL; OZACAR, 2009). Assim, é evidente a necessidade do desenvolvimento de um método biológico prático de tratamento de resíduos contendo corantes que possa ser usado para uma ampla gama de resíduos. Nesse contexto, apesar da maioria dos corantes não apresentarem sensibilidade ao ataque de microrganismos usados convencionalmente (tratamento aeróbio e anaeróbio), muitos pesquisadores têm apontado a biodegradação – por meio de enzimas de fungos e bactérias – e a biomassa (material capaz de retirar o corante dissolvido) como técnicas promissoras para remoção e / ou degradação de efluentes têxteis (ZANONI; CARNEIRO, 2001). De acordo com Stamets (2005) esta condição é possível devido à elevada capacidade de determinadas espécies de fungos degradarem uma ampla gama de

substâncias químicas sintéticas, muitas das quais são recalcitrantes à biodegradação, tal qual os corantes.

Dentre os fungos que possuem capacidade de degradar compostos recalcitrantes, destaque pode ser dado aos basidiomicetos degradadores de lignina, os quais têm sido amplamente produzidos para fins comestíveis, como é o caso do *Pleurotus ostreatus* (STAMETS, 2005). Entretanto, é importante salientar que, atualmente, os produtores não possuem destinação rentável para seu composto usado (meio de cultivo), assim, uma vez que os cogumelos tenham sido colhidos, ele se torna um material sem utilidade. Dessa forma, acredita-se que a utilização deste substrato colonizado pelos fungos pode ser uma alternativa eficiente para a remoção de corantes. Destaca-se, ainda, que tal condição é bastante interessante do ponto de vista ambiental, uma vez que alia a utilização de um resíduo agroindustrial ao desenvolvimento de uma tecnologia sustentável para o tratamento de efluentes da industrial têxtil.

Portanto, este trabalho tem por objetivo avaliar a remoção de cor de efluente sintético simulando efluente têxtil real empregando composto residual da produção do fungo *Pleurotus ostreatus* (CR). Destaca-se que o presente estudo insere-se na linha de pesquisa voltada ao tratamento de efluentes têxteis que vem sendo realizada no Laboratório de Reúso de Águas (LaRA) nos últimos anos (NAGEL HASSEMER, 2006; JUSTINO, 2016; MENON, 2017; DALARI, 2018).

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a remoção de cor de efluente sintético simulando efluente têxtil real empregando composto residual da produção do fungo *Pleurotus ostreatus*

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar a melhor condição experimental para remoção de cor do efluente têxtil, considerando os parâmetros pH, temperatura e concentração de substrato;

- Avaliar as possíveis rotas de remoção de cor do efluente têxtil, levando em consideração os processos de oxidação química, adsorção no substrato, adsorção na estrutura do fungo e degradação enzimática.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A INDÚSTRIA TÊXTIL E SEUS EFLUENTES

O Brasil está entre os dez maiores produtores mundiais de fios/filamentos, tecidos e malhas, especialmente de algodão. Neste segmento de malhas com predominância de algodão, é atualmente o terceiro maior produtor mundial. Os principais itens de exportação da indústria têxtil brasileira são os tecidos confeccionados de algodão, especialmente o denim, para a confecção de jeans, e artigos de cama, mesa e banho (GOMES *et al.*, 2007). Além disso, é importante destacar que o setor têxtil e de confecções apresenta uma relevância muito considerável para a economia, uma vez que se trata do segundo maior empregador da indústria de transformação necessitando de grande quantidade de mão de obra (ABIT, 2018).

A cadeia produtiva têxtil e de confecções apresenta processos extremamente heterogêneos no que diz respeito às matérias-primas utilizadas, tipo de produção existente, padrões de concorrências e estratégias empresariais. Ela inicia-se na agropecuária a partir das fibras naturais, ou na indústria, que utiliza fibras manufaturadas, passando pelo fio, tecidos, beneficiamento, confecção e termina no consumidor final (MDIC, 2012).

O elevado consumo de água, e conseqüentemente a alta geração de despejos, são características das várias etapas do beneficiamento de tecidos das indústrias têxteis. Além disso, durante tais processos são utilizados diferentes produtos químicos, assim, geralmente estes efluentes apresentam forte coloração, grande quantidade de sólidos suspensos, pH altamente flutuante, temperatura elevada, altas concentrações de demanda química de oxigênio (DQO) e de elementos traços (Cr, Ni e/ou Cu), compostos orgânicos clorados e surfactantes (ARAUJO; YOKOYAMA, 2006). Em função disto, os efluentes têxteis apresentam grande quantidade de material tóxico e recalcitrante, além de uma composição extremamente heterogênea, tornando extremamente complexo o seu tratamento.

Devido a essas características, os efluentes deste tipo de indústria, se dispostos de maneira imprópria nos corpos hídricos, além da poluição visual, podem ocasionar diversos danos ao ambiente (CPRH, 2001). Segundo Clark (1995) despejos de indústrias têxteis são tóxicos à vida aquática, diminuem a disponibilidade de oxigênio dissolvido, modificam as propriedades e características físicas dos cursos d'água e interferem



na fotossíntese. Além disso, foi constatado por Chung e Cerniglia (1992), e Fernandes (2016) que alguns tipos de corantes, principalmente azocorantes, e seus subprodutos, podem ser carcinogênicos e/ou mutagênicos para diversas espécies.

Nesse contexto, diversos órgãos governamentais ao redor do mundo vêm exigindo regulamentação com relação a remoção da cor nos efluentes industriais. O cumprimento da legislação por parte destas indústrias vem promovendo a prevenção da transferência de problemas de poluição de um ambiente para outro. Isso faz com que a indústria desenvolva o tratamento de seus efluentes “in loco” antes de despejá-los. Para o atendimento de tal exigência, tanto as indústrias como os cientistas têm direcionado suas pesquisas na busca de tratamentos e tecnologias visando a descoloração de corantes nos efluentes (BANAT *et al.*, 1996).

## 2.2 CORANTES TÊXTEIS

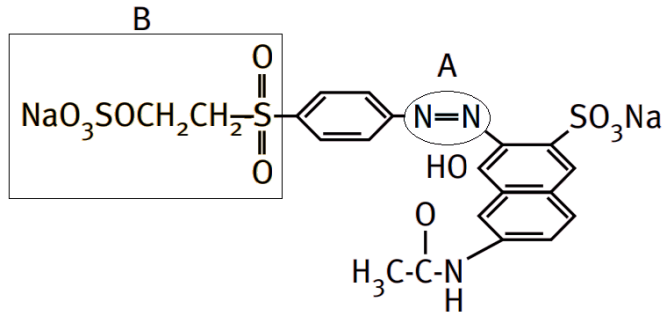
Corantes e pigmentos orgânicos podem ser definidos como substâncias intensamente coloridas que, quando aplicadas a um material lhe conferem cor. São substâncias intensamente empregadas para coloração de vários substratos, tais como: alimentos, cosméticos, plásticos, materiais têxteis, etc. Especificamente os corantes têxteis, são compostos orgânicos cuja finalidade é conferir a certa fibra (substrato) determinada cor, sob condições de processo pré-estabelecidas (ABIQUIM, 2012).

Guarantini (1998) cita que podemos detectar corantes a olho nu com facilidade, devido à sua própria natureza, sendo visíveis em alguns casos mesmo em concentrações tão baixas quanto 1 ppm (1 mg/L). Dentre as desvantagens causadas por este aspecto, destaca-se o fato de que uma pequena quantidade lançada em efluentes aquáticos pode causar uma acentuada mudança de coloração dos rios, em contrapartida pode também caracterizar uma vantagem ao ser facilmente detectada pelo público e autoridades que controlam os assuntos ambientais.

Na Figura 1 é mostrada a molécula de um corante, a qual é dividida em duas partes principais. Estas moléculas geralmente apresentam um grupo cromóforo - que pela absorção de uma parte de energia radiante dá cor ao composto - classificado como azo, antraquinona, nitro, indigoides, etc., e a outra parte da molécula é composta de grupos auxiliares, estes estão relacionados com a afinidade pela fibra têxtil - natural ou sintética. Normalmente, os corantes são classificados de acordo com a maneira como se fixam à fibra, dentre

eles, os reativos, ácidos, básicos, diretos, dispersivos, azóicos, à cuba, de enxofre, pré-metalizados e branqueadores (ZANONI; CARNEIRO, 2001).

Figura 1- Divisão da molécula de corante, parte A; grupo cromóforo, parte B; estrutura de fixação a fibra têxtil



Fonte: Adaptado de ZANONI; CARNEIRO (2001)

O grupo dos azocorantes tem atraído maior atenção entre os pesquisadores, estes corantes apresentam a função azo-aromático como grupo cromóforo, e são extensivamente utilizados no tingimento de fibras têxteis (KUNZ; DURAN; PERALTA-ZAMORA, 2002). Os azocorantes representam cerca de 60% dos corantes atualmente utilizados no mundo, tais como o Amarelo FN-2R (CI 14.030), Remazol Brilliant Blue R (CI 61.200) e o Vermelho FN-2BL (CI 16.255) (SOUZA; ROSADO, 2009).

Soares *et al.* (2014) salienta que os corantes sintéticos têxteis podem apresentar efeitos indesejáveis ao meio-ambiente, além disso alguns deles podem apresentar riscos aos usuários. Portanto é necessário que o desenvolvimento de novas técnicas de tratamento de efluentes capazes de efetiva remoção desses corantes, tornando-as economicamente viáveis.

### 2.3 PROCESSOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS

Do ponto de vista ambiental, a remoção da cor do efluente é um dos grandes problemas do setor têxtil. Estima-se que cerca de 15% da produção mundial de corantes é perdida para o meio-ambiente durante a

síntese, processamento ou aplicação desses corantes (ZOLLINGER,1991). O sistema de lodos ativados, mais comum no tratamento dos efluentes têxteis, apresenta dificuldades na remoção dos corantes, devido às características recalcitrantes dos produtos utilizados (SOARES *et al.*, 2014). Assim, geralmente há a necessidade de uma etapa complementar de coagulação/floculação, na qual são utilizadas grandes quantidades de coagulantes para retirar a coloração do efluente, gerando grande quantidade de lodo (SENGIL; OZACAR, 2009).

Nesse viés, destaca-se que os métodos conhecidos e empregados em larga escala no tratamento das águas de rejeito da indústria têxtil, podem apresentar eficiência elevada, porém requerem investimento de longo prazo e alto custo. Outra adversidade é a forte movimentação de trabalhos relacionados a obras de engenharia civil, necessárias para a implantação destes sistemas, com plantas de grandes áreas de construção e altos investimentos (GUARANTINI e ZANONI, 1998).

De acordo com Kunz, Duran, e Zamora (2002), existem outras técnicas emergentes, como tratamento por ozonização, utilizando o reagente Fenton, destruição eletroquímica e fotocatalise. As mesmas possuem grande potencial para descoloração. No entanto, essas tecnologias geralmente envolvem processos complicados ou são economicamente inviáveis, apresentando algumas desvantagens em sua aplicação (PEARCE LLOYD e GUTHRIE, 2003).

Por outro lado, apesar da maioria dos corantes não apresentarem sensibilidade ao ataque de microrganismos usados convencionalmente (tratamento aeróbio e anaeróbio), muitos pesquisadores têm apontado a biodegradação – enzimas de fungos e bactérias – e a biomassa (material capaz de retirar o corante dissolvido) como técnicas promissoras para remoção e / ou degradação de efluentes têxteis (ZANONI; CARNEIRO, 2001).

Estudos na área de biodegradação são motivados por pesquisadores envolvidos na busca contínua por microrganismos versáteis, capazes de degradar de maneira eficiente um grande número de poluentes a um baixo custo operacional. Vários microrganismos capazes de degradar substâncias recalcitrantes têm surgido a partir de pesquisas em degradação de compostos químicos, incluindo fungos, bactérias, leveduras e algas capazes de descolorir e até mesmo mineralizar completamente corantes em determinadas condições ambientais (BANAT *et al.* 1996).

Nesse sentido, a utilização de fungos degradadores de lignina tem se mostrado eficiente na remoção de vários compostos e corantes, com alto potencial de ação na recuperação de ambientes contaminados.

Contudo, às vezes a mineralização total destes compostos torna-se muito difícil, principalmente em função da diversidade, concentração e composição de espécies químicas presentes em cada efluente (KUNZ; DURAN; ZAMORA, 2002; KAMIDA; DURRANT, 2005).

### **2.3.1 Tratamento de efluentes têxteis utilizando fungos degradadores de lignina**

Tendo em vista que os métodos tradicionais possuem limitações na remoção de cor do efluente, nos últimos tempos a busca por métodos alternativos tem se intensificado. Com a finalidade de remover compostos tóxicos do ambiente, os microrganismos têm sido intensamente estudados. Visando a degradação de compostos químicos, diversos pesquisadores têm encontrado vários microrganismos extremamente versáteis em degradar substâncias recalcitrantes. Dentre estes microrganismos estão fungos basidiomicetos degradadores de lignina, os quais são classificados com alta eficiência na degradação de uma grande variedade de compostos e de corantes, apresentando alto potencial de ação na recuperação de ambientes contaminados (BARR; AUST, 1994).

A partir desta problemática, Stamets (2005) aborda o conceito de “micorremediação” que compreende na utilização de fungos visando remover elementos tóxicos do ambiente. Alguns fungos são capazes de processar completamente a lignina e a celulose, que são componentes estruturais primários da madeira. Isso se dá pela alta produção de enzimas digestivas, que competem a estes organismos a capacidade de quebrar moléculas tóxicas recalcitrantes e de cadeia longa, transformando-as em moléculas mais simples e menos tóxicas. A importância de se estudar os fungos degradadores de lignina, se dá pelo fato destes serem altamente resistentes a compostos tóxicos, podendo ser usados em contato com estas substâncias e mesmo assim manter a sua atividade enzimática (BORJA et al., 1993).

Diversos fungos degradadores de lignina são produzidos para fins comestíveis e, portanto, apresentam alto valor comercial o que torna pouco interessante a sua utilização para o tratamento de efluentes. Entretanto, o composto residual da produção também contém enzimas ligninóticas e apresenta capacidade de remover compostos tóxicos do ambiente (FITZPATRICK; MEDINA, 2011).

Atualmente, os produtores de cogumelos comestíveis não possuem nenhuma destinação rentável para seu composto usado (meio de cultivo), uma vez que os cogumelos já tenham sido colhidos ele se

torna um material sem utilidade. Dessa forma, é evidente que uma destinação adequada desse resíduo é interessante do ponto de vista dos produtores.

O composto utilizado oferece uma capacidade fortuita de curar ambientes contaminados com toxinas químicas, contendo em seu interior grande quantidade de enzimas capazes de processar moléculas tóxicas. Não usar essa massa de subprodutos é desperdiçar esse recurso.

Na Tabela 1 são mostradas diversas espécies de cogumelos, bem como as toxinas que eles possuem capacidade de degradar. Cada “X” marcado na linha de um fungo corresponde a uma coluna contendo a toxina que ele pode eliminar, esta tabela é um modelo básico e pode ser atualizada com o decorrer do tempo. Toxinas das mais variadas composições podem ser eliminadas do ambiente de forma natural utilizando resíduos da produção de alimentos, portanto o composto originário dos cultivos de cogumelos pode e deve ser valorizado como uma forma de capital natural (STAMETS, 2005).

Tabela 1 - Relação de fungos com a sua capacidade de degradar toxinas.

Fungo	Toxina											
	Antraecenos	Benzopirenos	Arsenato de cobre cromatado	Cloro	Dimetil metil fosfonato	Dioxina	Organofosfatos persistentes	Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HAPs)	Bifenilopoliclorados	Pentaclorofenol	Trinitotolueno (TNT)	Podridão Branca (B) ou Marrom (M)
<i>Antrodiaradiculosa</i>			X						X			M
<i>Armillariaostoyae</i>					X							B
<i>Bjerkandera adusta</i>		X						X				B
<i>Gloeophyllumtrabeum</i>			X			X						M
<i>Grifola frondosa</i>								X				B
<i>Irpexlacteus</i>								X				B
<i>Lentinulaedodes</i>								X	X	X		B
<i>Meruliporiaincrassata</i>			X						X			M
<i>Mycena alcalina</i>				X								?
<i>Naematolomafrowardii</i>								X			X	B
<i>Phanerochaetechrysosporum</i>		X							X	X		B
<i>Pleurotuseryngu</i>					X							B

Fungo \ Toxina	Antracenos	Benzopirenos	Arsenato de cobre cromatado	Cloro	Dimetil metil fosfonato	Dioxina	Organofosfatos persistentes	Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HAPs)	Bifenilos policlorados	Pentaclorofenol	Trinitotolueno (TNT)	Podridão Branca (B) ou Marrrom (M)
<i>Pleurotus ostreatus</i>	X			X	X			X	X	X		B
<i>Pleurotus pulmonarius</i>					X					X		B
<i>Psilocybe spp.</i>				X		X						B
<i>Serpulalacrymans</i>		X						X				M
<i>Trametes hirsuta</i>									X			B
<i>Trametes versicolor</i>	X	X		X	X	X			X	X		B

Fonte: Adaptada de STAMETS, 2005

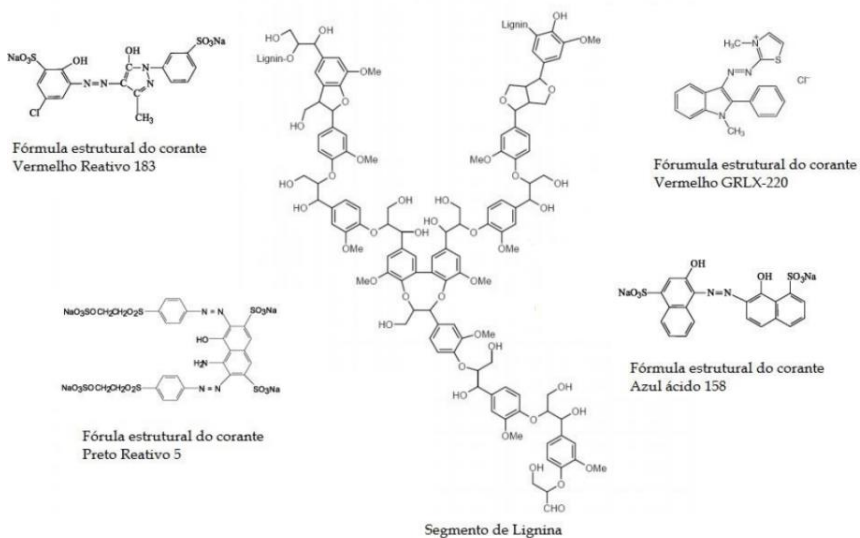
### 2.3.1.1 Cogumelos Comestíveis

Os cogumelos comestíveis formam um grupo de fungos que possuem alta capacidade degradativa, atuando sobre constituintes maiores de resíduos ligninocelulósicos, como a celulose, a hemicelulose e a lignina (SHISHIDO, 1992). Os fungos basidiomicetos ligninolíticos são capazes de processar madeira dura, ou madeira mole, enquanto outros gêneros, como os ascomicetos se limitam unicamente à madeira dura. A forma mais rápida de se degradar a lignina, dentre os organismos conhecidos, é por basidiomicetos ligninolíticos eles são responsáveis pela maior parte da degradação da lignina na natureza. (KIRK e FARRELL 1987). Três grupos ecofisiológicos de fungos degradadores podem ser considerados: podridão branca, podridão parda e de podridão mole. Ao lado de outros microrganismos, os basidiomicetos lignocelulolíticos atuam na decomposição da matéria orgânica, dinamizando a ciclagem de nutrientes e regulando o equilíbrio energético dos ecossistemas terrestres (TUOMELA *et al.* 2000).

Um conjunto de enzimas ligninolíticas, enzimas redutoras e enzimas produtoras de  $H_2O_2$ , é necessário para quebrar a molécula de lignina, pois a mesma possui uma estrutura altamente complexa. Deste modo, para uma biodegradação eficaz dos corantes se faz necessária uma série de combinações nos processos de óxido-redução, já que não é possível a degradação total destes compostos utilizando estas enzimas separadamente (SCHOEMAKER, 1985).

A formação de radicais livres muito reativos, passíveis de interações com múltiplos substratos, nas enzimas modificadoras de lignina, permite que as mesmas não apresentem especificidade na degradação da lignina, bem como dos corantes. Este é um processo complexo de oxidação, redução, metilação e hidroxilação que envolve numerosos cofatores de baixa massa molar, os quais podem servir como mediadores de óxido-redução. A Figura 2 a seguir ilustra a semelhança de vários corantes com a lignina, isso permite que as enzimas realizem a degradação dos mesmos utilizando os mesmos caminhos utilizados na degradação da madeira. (NIEBISCH, 2009)

Figura 2 - Semelhança da molécula de lignina com diversos corantes



Fonte: Adaptado de NIEBISCH, 2009.

De acordo com Banat *et al.*(1998), os fungos da podridão branca utilizam de um mecanismo de descoloração de corantes poliméricos que envolve as enzimas lignina peroxidases, manganês peroxidases e lacases. Entretanto, estes fungos diferem na habilidade e capacidade de degradar corantes com base nas diferenças qualitativas e quantitativas dessas enzimas.

As lacases, que estão muito difundidas pela natureza, podem ser produzidas por fungos ou plantas, estas estão envolvidas nos processos

de polimerizações, desmetilações, oxidações e despolimerizações de compostos fenólicos. As lacases fúngicas estão recebendo grande atenção em várias aplicações na indústria de biotecnologia, dentre elas o clareamento de corantes, bem como para remediação de solos e águas contaminadas. Devido à capacidade de catalisar a oxidação de fenóis e outros compostos aromáticos. Recentemente tem-se intensificado as pesquisas destas enzimas, e muito tem sido esclarecido sobre a diversidade de lacases e suas utilidades (COUTO e HERRERA, 2006).

A enzima manganês peroxidase (Mnp), por sua vez, tem produção aparentemente limitada a certos fungos basidiomicetos, sendo que até o momento, não foi apontado qualquer bactéria, levedura e nenhum basidiomiceto micorrízico capaz de produzi-la. A capacidade de sintetizar MnP está distribuída entre grupos de basidiomicetos taxonomicamente distintos. O ciclo catalítico da MnP é iniciado pela ligação de  $H_2O_2$  ou um outro peróxido orgânico ao ferro nativo da enzima, formando um complexo ferroperoxido. A manganês peroxidase é produzida simultaneamente com a lignina peroxidase, durante o metabolismo secundário e é regulada pelas concentrações de nitrogênio e carbono no meio de cultura (BUSWELL e ODIER, 1987).

Já a lignina peroxidase, é uma glicoproteína, que contém de 20 a 30% de açúcar em sua composição, possui ferro como grupo prostético e necessita de  $H_2O_2$  para a sua atividade catalítica. Sua massa molar é de aproximadamente 38-43 Kda, tendo ponto isoelétrico entre 3,2 e 4,0 e pH ótimo de atividade entorno de 3,0. A lignina peroxidase é produzida durante o metabolismo secundário do fungo, pela falta de nutrientes (MOREIRA NETO, 2006).

#### 2.3.1.1.1 Cogumelo comestível *Pleurotus ostreatus*

Os fungos do gênero *Pleurotus* pertencem à ordem Agaricales e à família Agaricaceae (BERNARDI; NASCIMENTO, 2011), são estudados e cultivados no mundo todo, devido ao seu corpo de frutificação possuir elevado valor gastronômico, além da habilidade de colonizar e degradar uma vasta variedade de resíduos lignocelulósicos. É encontrado com facilidade nas florestas brasileiras, geralmente em troncos de árvores debilitadas ou mortas (CAMPOS *et al.*, 2010).

O *Pleurotus ostreatus* é um cogumelo comestível na sua forma frutificada, entretanto na sua etapa micelial é considerado um fungo degradador de lignina.(RADHIKA; JEBAPRIYA; GNANADOSS, 2013).



Vários são os resíduos industriais utilizados no cultivo destes fungos como a palha de soja, palha de aveia, sabugo de milho, bagaço de cana-deaçúcar, palha de trigo, palha de arroz, polpa e casca de frutas, gramíneas, forragens e serragens (BERNARDI; NASCIMENTO, 2011).

Abadulla *et al.* (2000) mostrou que preparações enzimáticas feitas a partir do fungo *Pleurotus ostreatus* se mostraram eficazes na remoção de corantes dos tipos; triarilmetano, azo, antraquinona, índigo e quelato de metal. Estes autores apontaram a lacase como a enzima predominante no processo de descoloração, porém a lignina peroxidase e manganês peroxidase também se mostraram presentes. Neste estudo todas as preparações enzimáticas foram mais ativas a 50 ° C e pH 5,0.

Rodríguez, Pickard e Vazquez-duhalt (1999) utilizaram várias enzimas extracelulares de diferentes cepas de fungos da podridão-branca capazes de descolorir corantes industriais biocatalíticamente, dentre estes fungos estava o *Pleurotus ostreatus*. Este quando utilizado *in-natura* apresentou-se apto a descolorir 11 dos 23 corantes testados, já a lacase isolada do mesmo fungo oxidou somente 5 tipos de corantes. Estes resultados mostram que existem outros sistemas enzimáticos em *P. ostreatus* envolvidos na descoloração de corantes.

### **2.3.2 Adsorção de corantes em efluentes têxteis utilizando serragem**

A adsorção é um processo de transferência de massa, na qual os componentes de um fluido, denominado adsorvato, são transferidos (adsorvidos) seletivamente para a superfície de um sólido, denominado adsorvente (SCHIMMEL, 2008). O carvão ativado é o adsorvente mais popular empregado na remoção de corantes (GÓMEZ, LARRECHI e CALLAO, 2007; DOTTO *et al.*, 2011; LOPES, 2017). Porém o mesmo apresenta elevado custo e necessidade de regeneração, sendo assim outros materiais vêm sendo estudados e utilizados em sua substituição (JESUS, 2011; RATNAMALA, SHETTY e SRINIKETHAN, 2012; GHOSH e REDDY, 2013). Muitos deles são provenientes de resíduos descartados da agricultura (NIGAM *et al.*, 2000). A serragem, utilizada como meio de cultivo na produção de cogumelos é um destes resíduos e pode ser utilizada como meio adsorvente alternativo. (SILVA, 2005; GUARI, 2013).

A remoção de corantes por adsorção depende de fatores como pH e a concentração de corante presente na amostra. Este tipo de tratamento se mostra bastante relevante já que pode ser realizado sem restrições, e por qualquer indústria. A serragem apresenta características físicas que a permitem adsorver corantes dos corpos d'água, de forma barata e

ecologicamente correta. Já que a mesma é tida como resíduo pela indústria que a utiliza como matéria prima, e pelo fato de ser orgânica e de se decompor de maneira fácil e rápida (GUARI, 2013).

A adsorção pode ser dividida em física e química, porém dificilmente é possível diferenciar os tipos de adsorção, e em alguns casos, esses tipos podem ocorrer ao mesmo tempo. A eficiência deste processo está diretamente ligada ao material a ser utilizado como adsorvente e à natureza dos corantes presentes no efluente têxtil (TREVISAN *et al.*, 2009).

A serragem pode ser considerada como um adsorvente não iônico de matriz orgânica, pois não apresenta carga superficial e sendo originada da madeira, é composta por celulose, polioses e lignina, que apresentam em sua estrutura caráter orgânico (SILVA, 2005)

Subprodutos como a serragem de madeira apresentam em sua composição compostos orgânicos polifenólicos, constituintes da lignina, que fornecem propriedades químicas favoráveis ao processo adsortivo de compostos orgânicos poluentes como corantes reativos têxteis recalcitrantes no meio ambiente (MATOS *et al.*, 2013).



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 EFLUENTE TÊXTIL SINTÉTICO

A preparação do efluente têxtil sintético utilizado nos ensaios seguiu a metodologia de Mo *et al.* (2007), contendo dois corantes reativos (Levafix Brilliant Red E4BA e Remazol Preto B 133%) e substâncias químicas auxiliares, preparados em três faixas de pH; 5,0, 7,0, e 9,0. Tais corantes representam uma classe importante de poluentes orgânicos, os quais são frequentemente tóxicos e recalcitrantes (CARDOSO *et al.*, 2011). A concentração de cada componente do efluente está apresentada na Tabela 2

Tabela 2 - Composição do efluente têxtil sintético.

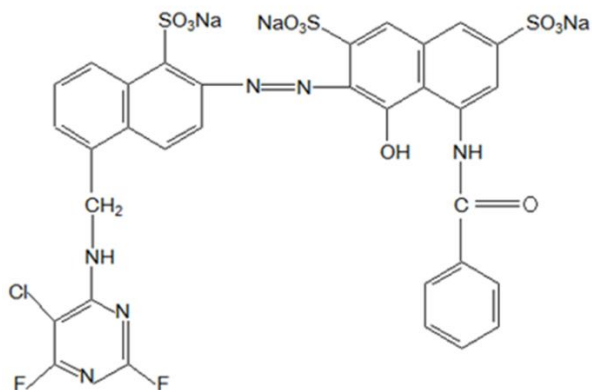
<b>Composição</b>	<b>Concentração (g/L)</b>
<b>Levafix Brilliant Red E4BA</b>	0,020
<b>Remazol Preto B 133%</b>	0,020
<b>NaCl</b>	2,000
<b>Álcool Polivinílico</b>	0,125
<b>Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	0,188

Fonte: Adaptado de MO *et al.* (2007).

As concentrações dos corantes foram definidas para não haver saturação no Espectrofotômetro de Absorção UV/Vis de varredura, onde foram realizadas as leituras para obtenção da cor. A concentração de Cloreto de sódio (NaCl) baseou-se na quantidade média encontrada no efluente têxtil industrial real.

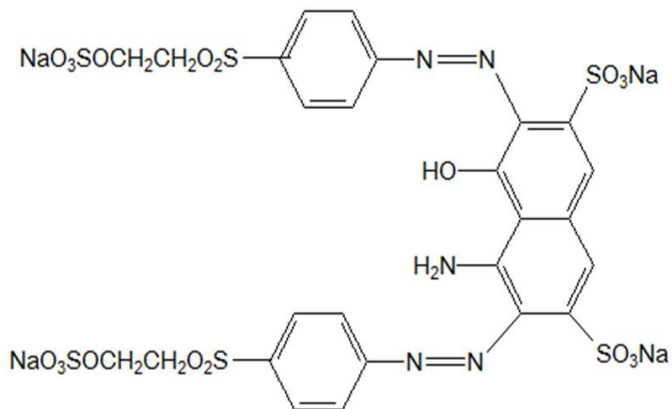
O corante Levafix Brilliant Red E4BA (Figura 3), de fórmula empírica  $C_{29}H_{22}ClN_7O_{11}S_3$ , e peso molecular de 776,16 g.mol<sup>-1</sup>, apresenta ligações fortes contendo grupo electrofílico (reativo) capaz de formar ligações covalentes com os grupos hidroxila das fibras celulósicas, os grupos amino, hidroxilo e tíóis das fibras proteicas e também com os grupos amino das poliamidas (GAN; ALLEN; MATTHEWS, 2004).

Figura 3 -Fórmula estrutural plana do corante LevafixBrillant Red.



O corante Remazol Preto B 133% (Figura 4) de fórmula empírica  $C_{26}H_{21}N_5Na_4O_{17}S_6$ , e peso molecular  $959 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ , apresenta estrutura química bastante complexa, com duas ligações azo, dois grupamentos reativos e quatro grupos sulfonados. Neste tipo de corante, a reação química se processa diretamente através da substituição do grupo nucleofílico pelo grupo hidroxila da celulose (GUARATINI; ZANONI, 2000).

Figura 4 - Fórmula estrutural plana do corante Remazol Preto B 133%.



De acordo com Guaratini e Zanoni (2000), os corantes reativos caracterizam-se por apresentarem grupos quimicamente ativos, com alta estabilidade hidrolítica em meio neutro, capaz de reagir covalentemente com celulose na indústria têxtil e estendida na bioquímica para purificação de proteínas por comprovada reação com moléculas biologicamente importantes nos seres vivos. Deste modo, resíduos destes corantes são altamente nocivos quando presentes em qualquer organismo vivo e apresentam tempo de vida de 50 anos em ambientes aquáticos (CARDOSO *et al.*, 2011).

### 3.2 RESÍDUO DA PRODUÇÃO DE FUNGO *PLEUROTUS OSTREATUS*

O material adicionado ao efluente têxtil utilizado nos experimentos é um composto residual (CR) da produção de fungo *Pleurotus ostreatus*, cedido pela empresa Fungis Brasilis, localizada no município de Biguaçu-SC. O substrato é composto por 76% de serragem, 12% de farelo de trigo, 4% de carbonato de cálcio, e 4% de grãos de trigo inoculado com o fungo *Pleurotus ostreatus*. Este material é disposto na forma de blocos (Figura 5), e é utilizado no cultivo de cogumelos comestíveis, após completar o ciclo de produção fica completamente colonizado pelo micélio do fungo, contendo grande quantidade de enzimas extracelulares (STAMETS, 2005). Estes blocos não tem utilidade para a empresa e atualmente estão sendo descartados, ou usados em processos de compostagem.

Figura 5– Composto residual da produção de cogumelo, bloco de substrato colonizado por *Pleurotus ostreatus*



### 3.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os ensaios foram realizados em escala de bancada laboratorial, empregando-se *erlenmeyers* com volume de 1 L, nos quais o CR foi colocado em contato com o efluente têxtil sintético sob agitação constante promovida por agitador magnético (180 rpm). Ao longo dos ensaios, diversas condições operacionais foram testadas, as quais são apresentadas a seguir.

#### 3.3.1 Planejamento Fatorial Preliminar

A fim de avaliar o efeito das variáveis (Concentração de substrato e pH) simultaneamente, bem como a correlação entre tais variáveis, foi realizado inicialmente um planejamento fatorial  $2^2$  com ponto central em triplicata. Um planejamento fatorial consiste em selecionar as variáveis e determinar os níveis (valores assumidos pelas variáveis) durante os experimentos. A utilização do planejamento fatorial é interessante neste caso, pois, permite determinar a condição operacional otimizada do processo, com um número mínimo de experimentos.

Foram adotados valores dos níveis para as variáveis com base em testes preliminares simples e também na metodologia de Silva, Coelho e Cammarota (2010). Assim, os experimentos foram realizados mediante três concentrações de substrato (10, 55, e 100 gL<sup>-1</sup>) e três valores de pH

diferentes (5, 7, e 9). Cada condição foi avaliada durante 6h. Na Tabela 3 é apresentado o planejamento fatorial, bem como a distribuição dos ensaios com as respectivas condições operacionais utilizadas. No presente estudo, adotou-se a simbologia de níveis máximos (+) e níveis mínimos (-), além do ponto central (0).

Tabela 3– Planejamento fatorial 2<sup>2</sup>

Variável	Nível		
	-	0	+
A. Concentração de substrato (g L <sup>-1</sup> )	10	55	100
B. pH	5	7	9
Ensaio	Variáveis		
	A	B	AxB
1	-	-	+
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	+
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0

AxB: Efeito combinado entre duas variáveis

A partir do planejamento fatorial preliminar proposto, foi possível determinar faixas ideais de pH e concentração, possibilitando a otimização da remoção de cor do efluente.

### 3.3.2 Planejamento Fatorial para otimização da remoção de cor

Com o objetivo de atingir níveis mais altos de descoloração, e fixar parâmetros base para a aplicação mais eficiente do CR no efluente, realizou-se um segundo planejamento fatorial onde as variáveis foram: temperatura (25, 45 e 65 °C), e concentração (50, 100 e 150 g L<sup>-1</sup>).

Para realização desta etapa, primeiramente o efluente foi colocado em contato com o CR, e a mistura foi aquecida até as faixas de temperatura desejadas, baseando-se no estudo prévio de Kameda *et al.* (2006), que indica este fator como solventes de componentes da parede celular do fungo, o que pode facilitar a extração de enzimas



intracelulares, bem como o acesso aos sítios ativos na superfície do micélio. Outro fator que levou ao aquecimento das amostras é o fato dos efluentes da indústria têxtil normalmente apresentarem altas temperaturas (MERZOUK *et al.*, 2011).

Destaca-se que a temperatura máxima utilizada no aquecimento foi de 65 °C durante uma hora, baseada na metodologia de Ball e Jackson (1995), que definem este valor para a máxima atividade de uma enzima lignocelulósica extraída de composto residual da produção de cogumelos.

Na Tabela 4 são apresentadas as condições utilizadas para cada ensaio do planejamento proposto.

Tabela 4 - Planejamento fatorial para otimização da remoção de cor

Variável	Nível		
	-	0	+
A. Concentração de substrato (g L <sup>-1</sup> )	50	100	150
B. Temperatura (°C)	25	45	65
Ensaio	Variáveis		
	A	B	AxB
1	-	-	+
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	+
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0

### 3.3.3 Ensaios complementares

A partir dos resultados obtidos nos ensaios descritos nos itens 3.3.1 e 3.3.2, foi possível determinar a condição operacional otimizada do processo para a remoção de cor, considerando as variáveis concentração, pH e temperatura (150 g L<sup>-1</sup>, 9 e 25°C, respectivamente).

Em seguida, foram realizados ensaios complementares objetivando avaliar as possíveis rotas de remoção de cor do efluente têxtil, sendo considerados os processos de oxidação química, adsorção

no substrato, adsorção na estrutura do fungo e degradação enzimática. Dessa forma, a partir da comparação entre diferentes condições operacionais, foi possível estimar a contribuição da remoção por cada um destes processos. Para tanto, a condição operacional otimizada foi replicada de acordo com os diferentes cenários, à saber:

#### 3.3.3.1 Condição I

O sistema foi operado sob as mesmas condições operacionais da condição otimizada. Porém, neste caso, foram realizadas coletas de amostra a cada 30 minutos para determinação da remoção de cor ao longo do tempo.

#### 3.3.3.2 Condição II

Não foi utilizado qualquer substrato, ou seja, inseriu-se somente a amostra de efluente têxtil sintético no sistema. Dessa forma, excluiu-se a possibilidade da ocorrência dos processos remoção por adsorção e de degradação enzimática.

#### 3.3.3.3 Condição III

Utilizou-se uma amostra de substrato não colonizada por fungos, excluindo-se, assim, a possibilidade de ocorrência dos processos de remoção por degradação enzimática e por adsorção na estrutura dos fungos.

#### 3.3.3.4 Condição IV

Aplicou-se sulfito de sódio ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) ( $160 \text{ mg L}^{-1}$ ) e cloreto de cobalto ( $\text{CoCl}_2$ ) ( $2 \text{ mg L}^{-1}$ ) como catalisador, de modo que a concentração de oxigênio dissolvido no sistema atingisse um valor próximo de  $0,00 \text{ mg/L}$  (PUSKEILER; WEUSTER-BOTZ, 2005). Além disso, aplicou-se durante todo o ensaio um fluxo de nitrogênio gasoso ( $\text{N}_2$ ) na amostra, objetivando manter a concentração de OD próxima a  $0,0 \text{ mg/L}$  ao longo de todo o ensaio. Esta metodologia foi empregada considerando que o processo de degradação enzimática necessita de oxigênio disponível para ocorrer (AKSU *et al.*, 2007; KAUSHIK e MALIK, 2009). Assim, foi possível avaliar a remoção de cor sob ausência de oxigênio e compará-la com as demais condições.

### 3.3.3.5 Condição V

O efluente foi substituído por água destilada, assim foi possível verificar uma possível liberação de cor por parte do composto residual quando o mesmo entra em contato com o efluente.

## 3.4 DETERMINAÇÃO DA DESCOLORAÇÃO

Foi possível analisar a remoção do corante a partir das varreduras espectrais realizadas no efluente bruto entre os comprimentos de onda de 380 a 740 nm (luz visível), a fim de obter o comprimento de onda relativo ao pico de maior absorbância, e então realizar leituras de absorbância nas amostras após tratamento neste comprimento de onda encontrado. Ao final do período de tratamento, as amostras foram retiradas, filtradas em membrana porosa de 0,45  $\mu\text{m}$ , e então encaminhadas para leitura em espectrofotômetro Hach modelo DR/5000. A porcentagem de descoloração, foi calculada através da Equação 1 (GUPTA; TRIPATHI; HARSH, 2011).

$$\% \text{ Descoloração} = \frac{\text{Abs}_0 - \text{Abs}_t}{\text{Abs}_0} \times 100 \quad (1)$$

Sendo que:

Abs<sub>0</sub>– Valor da absorbância encontrada no efluente bruto

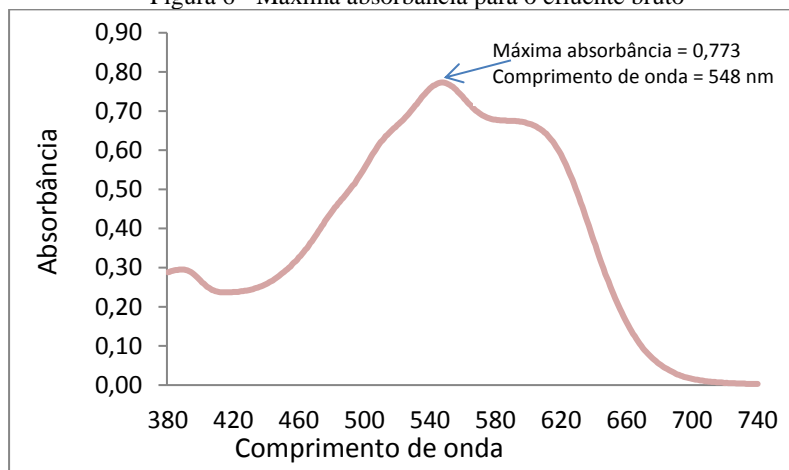
Abs<sub>t</sub>– Valor da absorbância encontrada após o tratamento

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Varredura espectral

Após realizar a varredura espectral dentro do espectro visível no efluente bruto, constatou-se que o comprimento de onda de maior absorvância para o mesmo foi o de 548 nm, como mostra a Figura 6 . Portanto os resultados de absorvância (Abs.) apresentados a seguir foram todos realizados neste comprimento de onda.

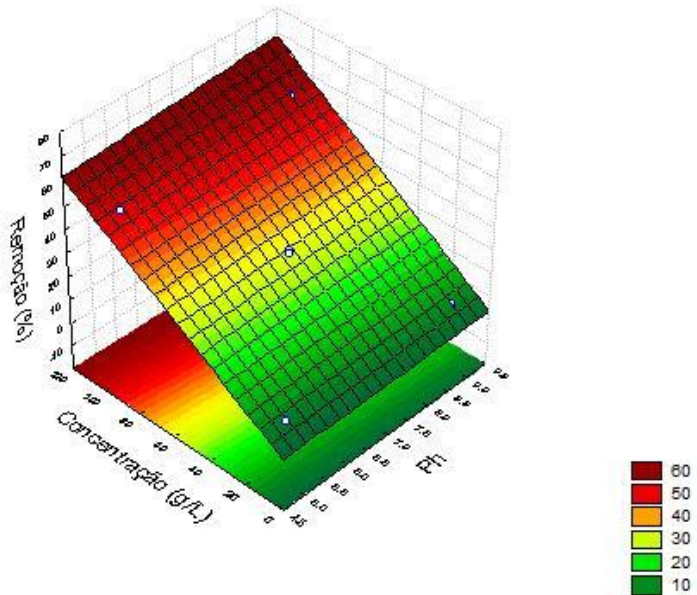
Figura 6 - Máxima absorvância para o efluente bruto



### 4.2 Resultados Preliminares

Na Figura 7 é apresentado o gráfico de superfície de resposta elaborado com base nos resultados do planejamento experimental.

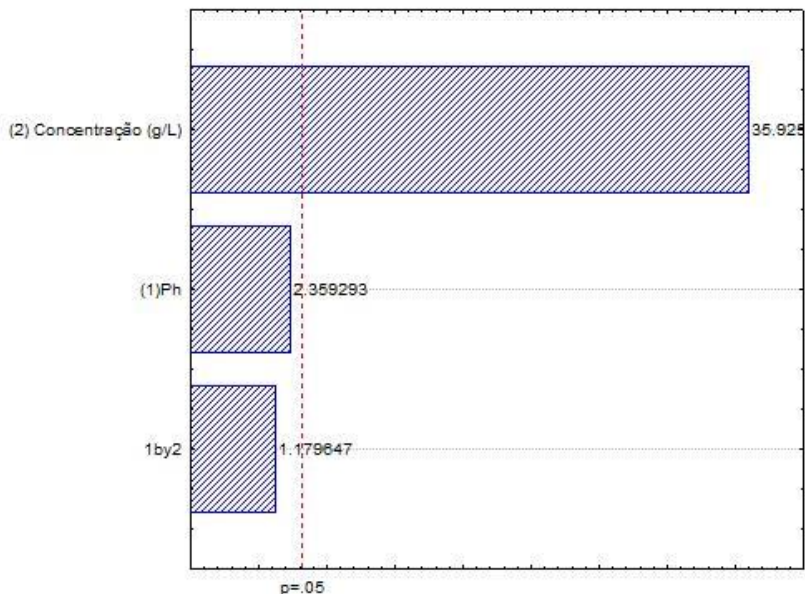
Figura 7 - Gráfico de superfície de resposta elaborado variando concentração e pH, em função da remoção de cor



É possível observar que as melhores condições operacionais foram obtidas com a variável concentração no nível superior, ou seja, com  $100 \text{ g L}^{-1}$ . Destaca-se que, sob tal condição, a remoção de cor do efluente têxtil foi próxima a 70%. Além disso, verifica-se que a variável pH parece não ter influenciado expressivamente a eficiência do processo, uma vez que esta manteve-se estável nos diferentes pH estudados. Tais resultados indicam que a condição ótima do processo poderia ser obtida com qualquer pH testado, porém, com a concentração máxima de substrato.

Entretanto, ao realizar um planejamento fatorial é importante identificar ainda, a influência que o aumento de cada variável apresenta sobre a resposta, assim como determinar a interação entre elas. Para este fim, é apresentada na Figura 8 a influência dos efeitos principais e de suas interações através do diagrama de Pareto, para um intervalo de confiança de 95% ( $p \leq 0,05$ )

Figura 8 - Diagrama de Pareto dos efeitos da variação da concentração e do pH e da interação entre eles



Observa-se que, de forma semelhante aos resultados apresentados no gráfico de superfície de resposta, o diagrama de Pareto indica que a única variável que apresentou efeito estaticamente significativo no processo foi a concentração de substrato. Ou seja, o efeito do pH e da interação entre as variáveis possui pouca influência na capacidade de remoção de cor do efluente.

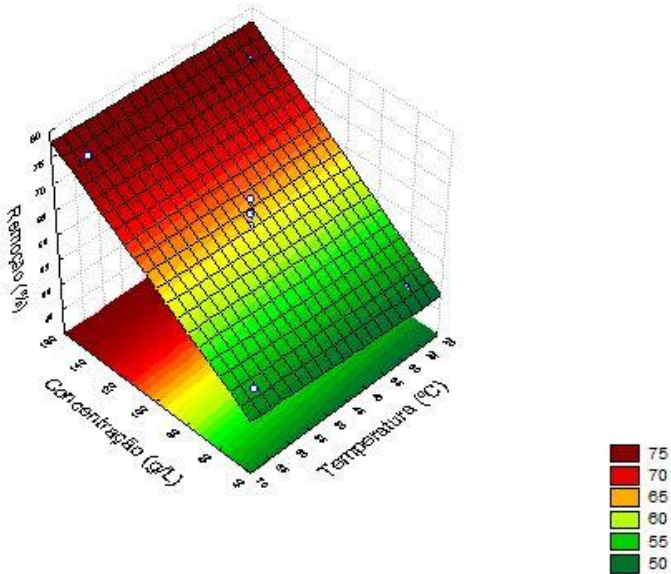
Em função disto, considerando que grande parte dos efluentes têxteis apresentam pH mais alcalino (CPRH, 2001), optou-se por determinar a condição com as duas variáveis no nível superior como a condição ótima do processo de acordo com as condições empregadas nos ensaios preliminares, ou seja, com pH de 9 e concentração de substrato de  $100 \text{ mg L}^{-1}$ .

#### 4.3 Resultados da otimização da remoção de cor

Levando-se em consideração os resultados obtidos nos ensaios preliminares, realizou-se outro planejamento experimental buscando-se a otimização do processo de descoloração. Para este ensaio empregou-se o pH considerado ideal (9), porém, optou-se por ampliar a faixa de concentração utilizada (50, 100 e  $150 \text{ g L}^{-1}$ ), a fim de avaliar se

ocorreria um aumento da eficiência do processo. Além disso, foram testadas diferentes temperaturas (25, 45 e 65°C), uma vez que este pode ser um fator importante da degradação enzimática do corante (Kameda *et al.* 2006). Na Figura 9 - Gráfico de superfície de resposta elaborado variando concentração e temperatura, em função da remoção de cor. Figura 9 é apresentado o gráfico de superfície de resposta elaborado com base nos resultados do planejamento para a otimização da remoção de cor.

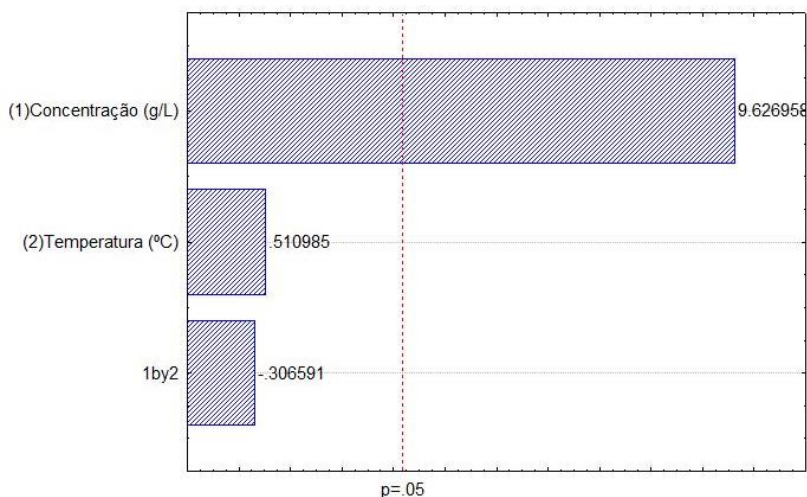
Figura 9 - Gráfico de superfície de resposta elaborado variando concentração e temperatura, em função da remoção de cor



Nota-se que o aumento da variável concentração para  $150 \text{ g.L}^{-1}$  acarretou em uma remoção ainda maior em relação ao planejamento preliminar. Sob tal condição, a remoção de cor do efluente têxtil foi próxima a 80%. Por outro lado, a variação de temperatura não influenciou expressivamente a eficiência do processo, uma vez que esta manteve-se estável nas diferentes temperaturas estudadas. Portanto, os resultados obtidos mostram que a remoção de cor não está ligada ao aumento da temperatura como esperado, e é diretamente proporcional à concentração de CR.

A influência dos efeitos principais e de suas interações é apresentada na Figura 8 através do diagrama de Pareto, para um intervalo de confiança de 95% ( $p \leq 0,05$ )

Figura 10 - Diagrama de Pareto dos efeitos da variação da concentração e da temperatura e da interação entre elas



De forma semelhante aos resultados observados no gráfico de superfície de resposta, este diagrama indica que a única variável que apresentou efeito estaticamente significativo no processo foi a concentração de substrato. Estes resultados indicam que um aumento da concentração de CR poderia proporcionar eficiências de remoção ainda maiores ao processo. Entretanto, cabe destacar, que esta variável apresenta um limite máximo de aplicação devido às suas características físicas, o que tornaria inviável sua aplicação em sistemas em escala real. Sendo assim, foi considerada como condição ideal de operação: pH 9,0 e temperatura ambiente.

#### 4.4 Resultados complementares

Após a realização dos ensaios para determinação das melhores condições operacionais, foram realizados ensaios complementares para



avaliar as possíveis rotas de remoção de cor do efluente, conforme descrito anteriormente no item 3.3.3. Todas as condições propostas foram testadas em triplicata e seus resultados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Resultados complementares

<b>Condição</b>	<b>Descrição</b>	<b>Abs. Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Eficiência de remoção (%)</b>
<b>I</b>	Condição otimizada(6h)	0,143	0,005	80,5
<b>II</b>	Efluente Bruto	0,734	0,000	0,0
<b>III</b>	Serragem não colonizada	0,227	0,005	69,1
<b>IV</b>	Ausência de O <sub>2</sub>	0,225	0,009	69,4
<b>V</b>	Água destilada	0,060	0,002	--

A partir dos resultados obtidos no ensaio V, é possível observar que a liberação de cor por parte do composto residual é bastante baixa, indicando que este não é um fator que possui influência expressiva no processo. Observa-se, ainda, que a eficiência de remoção obtida no ensaio II (efluente sem qualquer substrato) foi nula, indicando que a remoção de cor por meio do processo de oxidação química pode ser considerada desprezível no presente estudo. Resultados semelhantes foram observados por Silva *et al.* (2010), que avaliaram a remoção de cor de efluentes têxteis empregando cogumelos e verificaram que a liberação de cor pelos fungos é desprezível, além disso, estes autores também não constaram a ocorrência do processo de oxidação química.

Destaca-se, também, que as eficiências de remoção obtidas nos ensaios III e IV (69,1 e 69,4%, respectivamente) foram bastante semelhantes. Considerando que em ambos os ensaios não seria possível a ocorrência do processo de degradação enzimática, uma vez que no ensaio III o substrato não era colonizado por fungos e que no ensaio IV a ausência de oxigênio impossibilita a ocorrência desse processo

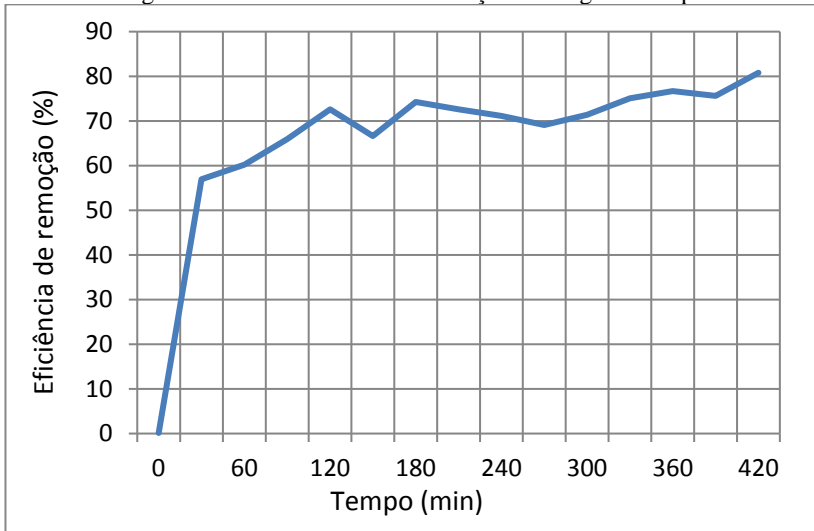
(KAUSHIK e MALIK, 2009), acredita-se que o processo de adsorção foi o principal mecanismo responsável pelo processo de remoção de cor ocorrido sob tais condições. É importante salientar, ainda, que a presença dos fungos não potencializou a eficiência de remoção de cor pelo processo de adsorção, indicando que tal processo ocorre, sobretudo, na superfície da serragem. Resultados semelhantes foram obtidos por Antunes *et al.* (2010), que avaliaram a remoção de corantes empregando serragem com concentração de  $10 \text{ g L}^{-1}$  e tempo de contato de 60 horas e obtiveram eficiências de remoção de até 78%. De acordo com estes autores, a capacidade de adsorção da serragem é superior à de outros adsorventes normalmente utilizados, o que, aliado a seu baixo custo, demonstra a potencialidade de sua utilização para o tratamento de efluentes têxteis.

Por fim, avaliando-se comparativamente os resultados de remoção obtidos no ensaio I (condição otimizada) e os resultados obtidos nos ensaios III (serragem não colonizada) e IV (ausência de  $\text{O}_2$ ), observa-se um aumento de cerca de 10% na eficiência do processo no ensaio com a presença do fungo e disponibilidade de oxigênio. Dessa forma, acredita-se que tal aumento pode ser atribuído a ocorrência do processo de degradação enzimática realizado pelos fungos. Balan e Monteiro (2001) estudaram a remoção de corantes empregando fungos *Pleurotus* e obtiveram eficiência de remoção de até 94%, entretanto, tais resultados foram obtidos após 4 dias de contato. Estes autores atribuíram a elevada eficiência obtida ao processo de degradação enzimática. Kamida *et al.* (2005), por sua vez, avaliaram a remoção de cor de efluentes têxteis empregando fungos *Pleurotus* e constataram a produção de enzimas ligninolíticas durante os ensaios, o que os levou a concluir que, de fato, as enzimas produzidas estão envolvidas no processo de descoloração. Segundo Abadulla *et al.* (2000), a eficácia dos cogumelos *Pleurotus* na remoção de vários tipos corantes pode ser atribuída à atividade das enzimas lignina peroxidase, manganês peroxidase e, sobretudo, à lacase.

#### **4.4.1 Avaliação da descoloração ao longo do tempo**

Conforme a condição I descrita no item 3.3.3.1, foram realizadas leituras de absorbância em intervalos de 30 minutos, durante 6 horas, e a partir delas calculou-se a eficiência de remoção de cor para a condição otimizada ao longo do tempo, representada graficamente na Figura 11.

Figura 11 - Eficiência de descoloração ao longo do tempo



Observa-se que a maior parte da remoção de cor ocorreu nos primeiros 30 minutos (aproximadamente 57%), e após isso a eficiência tendeu a aumentar ao longo das 6 horas seguintes, chegando a um valor aproximado de 81% de descoloração. Isto acontece possivelmente devido ao processo de adsorção realizado pela serragem presente no CR, o que corrobora a informação anterior de que esse processo é o principal mecanismo de remoção observado. Estudos realizados por Guari (2013) utilizaram serragem pura como adsorvente na remoção de corantes em efluentes têxteis, e apresentaram remoção de cor de aproximadamente 73%, indo ao encontro dos resultados observados no presente estudo.

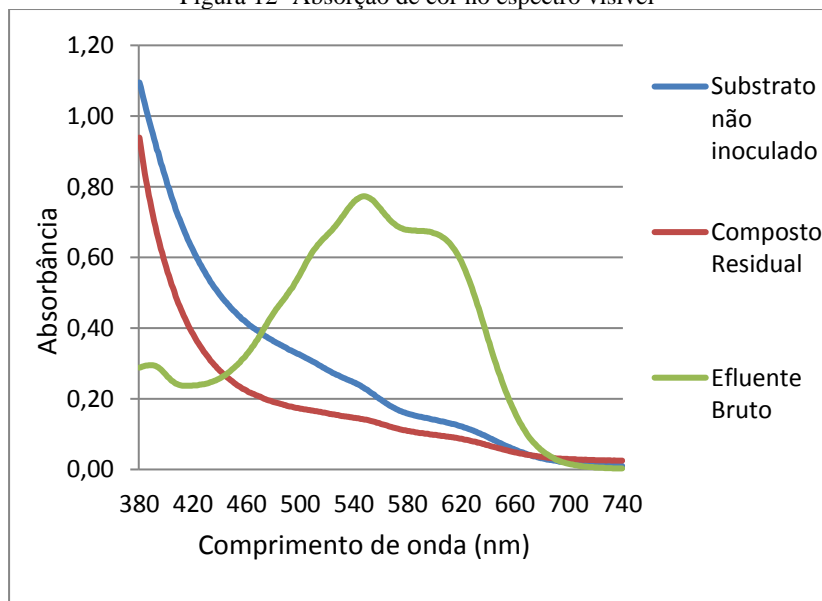
Por outro lado, acredita-se que a remoção posterior pode estar relacionada, sobretudo, ao processo de degradação enzimática. Orzechowski *et al.* (2018) avaliaram o processo remoção de corantes Red 50 e Blue 56 empregando caldo enzimático obtido a partir de fungos *Pleurotus*. Estes autores observaram que a descoloração ocorre de maneira gradual, sendo que a melhor eficiência observada (22%) foi obtida somente após 24h de ensaio. Nesse caso, é importante destacar que a remoção se deu exclusivamente através da degradação enzimática, visto que não há presença de fungos na amostra após a extração do caldo. Estes resultados podem explicar a baixa eficiência de remoção de cor através do processo de degradação enzimática observado no presente estudo, uma vez que o tempo de contato utilizado foi de apenas 6h, além

disso, trata-se de um composto residual colonizado por fungos, o qual não foi submetido a qualquer processo de concentração de enzimas. Dessa forma, acredita-se que a realização de um processo de concentração de enzimas, tal qual a produção de um caldo enzimático, poderia aumentar consideravelmente a eficiência do processo.

#### 4.4.2 Comparação entre o composto residual e a serragem não colonizada

Na Figura 12 são apresentadas as varreduras espectrais realizadas no efluente bruto, no efluente tratado com CR, e no efluente tratado apenas com serragem.

Figura 12- Absorção de cor no espectro visível



É possível notar uma maior eficiência na descoloração do efluente por parte do CR quando comparado a serragem sem inóculo. Conforme abordado anteriormente, tal comportamento provavelmente acontece devido ao sistema enzimático extracelular proveniente dos fungos que foram cultivados neste substrato, aliado a capacidade de adsorção presente na serragem. O que torna o composto residual da

produção de cogumelos comestíveis uma alternativa com potencial de descoloração deste tipo de águas residuárias.

Assim, de maneira geral estes resultados demonstram que a utilização do composto residual colonizado por fungos mostra-se uma alternativa interessante para o tratamento de efluentes têxteis, uma vez que permite aliar a ocorrência dos processos de adsorção na serragem e degradação enzimática pelos fungos. Entretanto, destaca-se que mais estudos devem ser realizados de modo a otimizar o processo, possivelmente por meio da concentração das enzimas presentes no substrato, o que certamente possibilitaria a utilização de menores concentrações de CR.

## CONCLUSÃO

A utilização do composto residual da produção do fungo *Pleurotus ostreatus* mostrou-se eficiente para remoção de cor de efluente sintético simulando efluente têxtil real. De acordo com os ensaios para otimização do processo, verificou-se que a condição operacional considerada ótima foi obtida com pH 9 e concentração de substrato de 150 g L<sup>-1</sup>. Destaca-se que, sob tal condição, a eficiência de remoção de cor obtida foi próxima a 80%. Verificou-se, ainda, que o processo de adsorção no substrato foi o principal mecanismo de remoção de cor observado. Entretanto, o processo de degradação enzimática permitiu um aumento da eficiência do processo, o que indica sua potencialidade de aplicação mediante a realização de estudos mais detalhados. Dessa forma, de maneira geral, tais resultados demonstram o elevado potencial da utilização de um resíduo agroindustrial como uma tecnologia sustentável para o tratamento de efluentes da industrial têxtil.

## RECOMENDAÇÕES

- Estudar diferentes métodos de concentração de enzimas para aumentar a eficiência do processo e reduzir a concentração de composto residual utilizado;
- Avaliar a eficiência do processo mediante a aplicação de aeração artificial;
- Determinar a atividade enzimática durante o processo;
- Avaliar a toxicidade do efluente produzido.

## REFERÊNCIAS

- ABIQUIM. Associação Brasileira da Indústria Química. [Corantes e pigmentos] Disponível em: [www.abiquim.org.br](http://www.abiquim.org.br). Acesso em 24/08/2018.
- ABIT. Associação Brasileira da Indústria Têxtil e da Confecção. Disponível em [www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor](http://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor). Acesso em 27/10/2018
- AKSU, Z. *et al.* **Inhibitory effects of chromium (VI) and Remazol Black B on chromium (VI) and dyestuff removals by *Trametes versicolor***. *Enzyme and Microbial Technology*, v. 40, n. 5, p. 1167–1174, abr. 2007.
- AL-DEGS, Y. *et al.* **Effect of carbon surface chemistry on the removal of reactive dyes from textile effluent**. *Water Research*, v. 34, n. 3, p. 927-935, 2000.
- ANTUNES, M. L. P.; CAMARGO, S. R. G. D.; JESUS, C. P. C. D.; RUSSO, A. C. **Estudo da utilização de serragem de madeira como adsorvente para o tratamento de efluentes têxteis**. *Revista de Estudos Ambientais*, v.12, n. 2, p. 6-14, 2010.
- ARAUJO, F. V. F.; YOKOYAMA, L. **Remoção de cor em soluções de corantes reativos por oxidação com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV**. *Química Nova*, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 11-14, jan./fev. 2006.
- BALAN, D. S.; MONTEIRO, R. T. **Decolorization of textile indigo dye by ligninolytic fungi**. *Journal of Biotechnology*, v. 89, n. 2-3, p. 141-145, 2001.
- BALL, Andrew S.; JACKSON, Anita M. **The recovery of lignocellulose-degrading enzymes from spent mushroom compost**. *Bioresource Technology*, v. 54, n. 3, p. 311-314, 1995.
- BANAT, M.B.; NIGAM, P.; SINGH, D.; MARCHANT, R. **Microbial decolorization of textile dye containing effluents: a review**. *Bioresource Technology*, v. 58, p. 217-227, 1996.

BARR, David P.; AUST, Steven D.; **Mechanisms white rot fungi use to degrade pollutants.** Environmental Science & Technology, [s.l.], v. 28, n. 2, p.78-87, fev. 1994. American Chemical Society (ACS).

BERNARDI, E.; NASCIMENTO, J. S. **Cultivo de Pleurotussajor-caju em diferentes substratos pasteurizados.** Arq. Ins. Biol., v. 78, p. 217–223, 2011. BRACELPA. Dados do Setor. Associação Brasileira de Celulose e Papel, 2014.

BORJA, R. *et al.* **Improvement of the kinetics of anaerobic digestion of molasses by the removal of phenolic compounds.** Biotechnology Letters, [s.l.], v. 15, n. 3, p.311-316, mar. 1993. Springer Nature.

BUSWELL, J.A.; CHANG, S.T. **Biomass and extracellular hydrolytic enzyme production by six mushroom species grown on soybean waste.** Biotechnology Letters, v.16(12).p.1317-1322,1994.

CAMPOS, C. S.; MINHONI, M. T. A.; ANDRADE, M. C. N. **Produtividade de *Pleurotus ostreatus* em resíduos da Amazonia.** Interciencia, v. 35, n. 3, p. 198–201, 2010.

CARDOSO, Natali F. *et al.* **Application of cupuassu shell as biosorbent for the removal of textile dyes from aqueous solution.** Journal of Environmental Management, v. 92, n. 4, p. 1237-1247, 2011.

CHUNG, King-thom; CERNIGLIA, Carl E.. **Mutagenicity of azo dyes: Structure-activity relationships.** Mutation Research/reviews In Genetic Toxicology, [s.l.], v. 277, n. 3, p.201-220, set. 1992. Elsevier BV.

CLARK, E. (trad.) **Corantes e o meio ambiente – Guia para usuários.** Química Têxtil,v.28, p. 2231, 1995.

COUTO, Susana Rodríguez; HERRERA, José Luis Toca. **Industrial and biotechnological applications of laccases: A review.** Biotechnology Advances, [s.l.], v. 24, n. 5, p.500-513, set. 2006. Elsevier BV.

CPRH – COMPANHIA PERNAMBUCANA DO MEIO AMBIENTE. **Roteiro complementar de licenciamento e fiscalização para tipologia têxtil.** Recife: CPRH/GTZ. 2001. 125 p.

DALARI, B. L. S. K. **Utilização de esferas de quitosana no processo foto-fenton heterogêneo para tratamento de efluente**

**têxtil.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

DOTTO, G. L.; VIEIRA, M. L. G.; GONÇALVES, J. O.; PINTO, L. A. A. **Remoção dos corantes Azul Brillhante, Amarelo Crepúsculo e Amarelo Tartrazina de soluções aquosas utilizando carvão ativado, terra ativada, terra diatomácea, quitina e quitosana: estudos de equilíbrio e termodinâmica.** Química Nova, São Paulo, v. 34, n. 7, p. 1193-1199, 2011.

FERNANDES, F. H. **Potencial toxicogenômico e carcinogênico de efluentes da indústria têxtil e dos corantes.** Disperse Red 1 e Disperse Blue 291 em roedores. 2016.

FITZPATRICK, D; MEDINA, E. M. T.. **Fungalgenomics.** In: KAVANAGH, Kevin (Ed.). Fungi: Biology and applications. 2. ed. Oxford: Wiley - Blackwell, 2011. p. 67–93. ISBN 9780470977095.

GAN, Q.; ALLEN, S.j.; MATTHEWS, R.. **Activation of waste MDF sawdust charcoal and its reactive dye adsorption characteristics.** Waste Management, [s.l.], v. 24, n. 8, p.841-848, jan. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2004.02.010>.

GHOSH, R. K.; REDDY, D. D. **Tobacco stem ash as an adsorbent for removal of methylene blue from aqueous solution: equilibrium, kinetics, and mechanism of adsorption.** Water, Air and Soil Pollution, Dordrecht, v. 224, n. 6, p. 1582-1593, 2013.

GOMES, R. *et al.* **Abertura comercial, internacionalização e competitividade: a indústria brasileira de máquinas têxteis após os anos 1990.** Economia e Sociedade, Campinas, v. 16, n. 3, p. 405-433, 2007.

GÓMEZ, V.; LARRECHI, M. S.; CALLAO, M. P. **Kinetic and adsorption study of acid dye removal using activated carbon.** Chemosphere, Oxford, v. 69, n. 7, p. 1151- 1158, 2007.

GUARANTINI, C. C. I.; Zanoni, M. V. B. **Corantes têxteis.** Química Nova. Sociedade Brasileira de Química, v. 23, n. 1, p. 71-78, 2000.

GUPTA, N; TRIPATHI, A. K.; HARSH N. S. K.; **Bioremediation of cotton-textile effluent using fungi.** BEPLS – Bulletin of Environment, Pharmacology & Life Sciences. v. 1, n.1, p. 15-19, 2011.



HASSEMER, M. E. N. **Oxidação fotoquímica - uv/h<sub>2</sub>o<sub>2</sub> - para degradação de poluentes em efluentes da indústria têxtil.** 161 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

HUNGER, K; **Industrial Dyes: chemistry, properties, applications.** Frankfurt, Germany. Weinheim: Wiley-VHC, 2003. 660 p.

JESUS, C. P. C.; ANTUNES, M. L. P.; CONCEIÇÃO, F. T.; NAVARRO, G. R. B.; MORUZZI, R. B. **Removal of reactive dye from aqueous solution using thermally treated red mud.** Desalination and Water Treatment, Filadélfia, v. 55, n. 4, p. 1040- 1047, 2014.

JUSTINO, N. M. **Processo Foto-Fenton Solar Mediado por Ferrioxalato (Feox/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV) Aplicado ao Tratamento de Efluente Têxtil.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 134 f 2016.

KAMIDA, H. M.; DURRANT, L. R.; **Biodegradação de efluente têxtil por *Pleurotus sajor-caju*.** Química Nova. v. 28, n. 4, p. 629-632, 2005.

KAUSHIK, P.; MALIK, A. **Fungal dye decolourization: recent advances and future potential.** Environment international, v. 35, n. 1, p. 127–41, jan. 2009.

KIRK, T.K. & FARREL, R.L. **Enzymatic ,combustion': The microbial degradation of lignin.** Annual Review of Microbiology. v.41, p.465-505, 1987

KUNZ, A.; DURAN, N.; PERALTA-ZAMORA, P. **Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis.** Química Nova, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 78-82, jan./fev. 2002.

LONGO, A.N. **Sistemas de Tratamentos de Águas Residuais Têxteis.** Química Têxtil, v.20, p. 19-22, 1987.

LOPES, M. S. **Remoção do corante azul reativo 19 por adsorção em carvão ativado e em lama vermelha nas formas naturais e tratadas por ozônio.** 2017. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2017.

MATOS, T. T. S. *et al.* **Application of Industrial Byproducts Removal of Dyes Reactive Textile.** Revista Virtual de Química, [s.l.], v. 5, n. 5, p.840-852, 2013. Sociedade Brasileira de Química (SBQ).

MDIC; Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio Exterior. **Desenvolvimento da produção – cadeias produtivas.** Disponível em: [www.mdic.gov.br/sitio](http://www.mdic.gov.br/sitio). Acesso em: 24/08/2018.

MENON, B. C. **Avaliação do Processo de Eletrocoagulação Associado ao Processo Oxidativo UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Aplicados no Tratamento de Efluente Têxtil.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

MERZOUK, B.; GOURICH, B.; MADANI, K.; VIAL, C.; SEKKI, A. **Removal of a disperse red dye from synthetic wastewater by chemical coagulation and continuous electrocoagulation. A comparative study.** Desalination, v. 272, p. 246-253, 2011.

METCALF, EDDY. **Wastewater Engineering - Treatment and reuse.** 5ª ed. Boston: McGraw-Hill, 2014.

MO, J; HWANG, J. E; JEGAL, J; KIM, J. **Pretreatment of a dyeing wastewater using chemical coagulants.** Dyes and Pigments, v. 72, p. 240-245, 2007.

MOREIRA NETO, João. **Modelagem matemática do processo de hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar.** Recurso online (202 p.). 2016.

NIEBISCH, C. H. **Biodegradação do corante têxtil remazol azul por *Lentinuscrinitus*, *Lepistasordida* E *Hydnopolyporusfimbriatus*.** s.l., s.n. Dissertação (Mestrado) - Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, 2009.

NIGAM, P. *et al.* **Physical removal of textile dyes from effluents and solid-state fermentation of dye-adsorbed agricultural residues.** Bioresource technology, v. 72, n. 3, p. 219-226, 2000.

ORZECOWSKI, J.; RAMPINELLI, J. R.; SILVEIRA M. L. L.; BONATTI-CHAVES, M.; FURLAN, S.A. **Avaliação do potencial de descoloração e de detoxificação de corantes têxteis por lacase de *pleurotus sajor-caju*.** Evidência, v. 18, n. 1, p. 59-80, 2018.

PEARCE, C. I.; LLOYD, J. R.; GUTHRIE, J. T.; **The removal of colour from textile wastewater using whole bacterial cells: a review.** *Dyes and Pigments*. v. 58, p. 179-196, 2003.

RADHIKA, R; JEBAPRIYA, G Roseline; GNANADOSS, J Joel. **Production of cellulose and laccase using pleurotus sp. Under submerged and solid-state fermentation.** *International Journal of Current Science*, New Liberty Group, [S.l.], v. 6, p. 7–13, abr. 2013. ISSN 22501770.

RATNAMALA, G. M.; SHETTY, K. V.; SRINIKETHAN, G. **Removal of Remazol Brilliant Blue dye from dye-contaminated water by adsorption using red mud: equilibrium, kinetic, and thermodynamic studies.** *Water, Air and Soil Pollution*, Dordrecht, v. 223, n. 9, p. 6187-6199, 2012.

SCHIMMEL, D. **Adsorção dos corantes reativos Azul 5G e Azul Turquesa QG em carvão ativado comercial.** 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2008.

SCHOEMAKER, H. E. *et al.* **On the mechanism of enzymatic lignin breakdown.** *FEBS Letters*.v.183, p.7-12, 1985.

SHISHIDO, K. **The application of molecular genetics to oriental mushrooms.** In: KINGHORN, J.R.; TURNER, G. (Eds) *Applied molecular genetics of filamentous fungi*. London: Blackie Academic and Professional, Chap.9, p.201-213, 1992.

SILVA, A. T. **Influência da temperatura na adsorção do corante azul de metileno utilizando serragem de *Pinus elliottii* como um adsorvente alternativo: um modelo para o tratamento de efluentes têxteis.** 2005. 113 f. TCC (Graduação) - Curso de Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

SILVA, R. L. L; COELHO, M. A. Z; CAMMAROTA, M. C. **Remoção de cor de efluentes têxteis com cogumelos *Agaricus bispora*.** *Acta Scientiarum. Technology*, [s.l.], v. 32, n. 3, p.219-225, 9 nov. 2010. Universidade Estadual de Maringá. <http://dx.doi.org/10.4025/actascitechnol.v32i3.6339>.

SOARES, P.A.; SILVA, T.F.C.; MANENTI, D.R.; SOUZA, S.M.A.G.U.; BOAVENTURA, R.A.R.; VILAR, V.J.P. **Insights into**

**real cotton-textile dyeing wastewater treatment using solar advanced oxidation processes.** Environmental Science and Pollution Research, v.21, p.932-945, 2014.

SOUZA, A. F.; ROSADO, F. R. **Utilização de fungos basidiomicetos em biodegradação de efluentes têxteis.** Revista em Agronegócios e Meio Ambiente, Maringá, v. 2, n. 1, p. 121-139, 2009.

STAMETS, Paul. **Mycelium Running.** Berkeley: Ten Speed Press, 2005.

TREVISAN, I.J.; FERRARI, L.D.F.; ROSIN, L.E.; PEREIRA, N.C. **Remoção de resíduos de efluentes têxteis utilizando processo de adsorção contínua com bagaço de laranja como adsorvente.** In: VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 8., 2009 Uberlândia.

TUOMELA, M. *et al.* **Biodegradation of lignin in a compost environment: a review.** Bioresource Technology. v.72 p.169-183, 2000.

ZANONI, M. V. B.; CARNEIRO, P. A.; **O descarte dos corantes têxteis.** Ciência Hoje. v. 9, n. 174, p. 61-64, agosto 2001.

ZOLLINGER H.; **Color Chemistry,** 2a edn., V. C. H. Publishers, New York, 1991.