

# RESSALVA

Atendendo solicitação da autora, o texto completo desta tese será disponibilizado somente a partir de 15/01/2020.

---

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
MICROBIOLOGIA APLICADA**

---

**Avaliação da remoção de cor e toxicidade de azo corantes pelo  
emprego de tratamentos microbiológicos, adsortivos e processos  
oxidativos avançados**

**Erica Janaina Rodrigues de Almeida**

Tese apresentada ao Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Ciências Biológicas (Microbiologia Aplicada).

**Fevereiro - 2018**

**Avaliação da remoção de cor e toxicidade de azo corantes pelo emprego de tratamentos microbiológicos, adsortivos e processos oxidativos avançados**

**ERICA JANAINA RODRIGUES DE ALMEIDA**

**Orientador: Prof. Dr. Carlos Renato Corso**

**Co-orientadora: Profa. Dra. Adalgisa Rodrigues de Andrade**

Tese apresentada ao Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Ciências Biológicas (Microbiologia Aplicada).

Rio Claro - SP

Fevereiro - 2018

576

Almeida, Erica Janaina Rodrigues de

A447a

Avaliação da remoção de cor e toxicidade de azo corantes têxteis pelo emprego de tratamentos microbiológicos, adsorptivos e processos oxidativos avançados / Erica Janaina Rodrigues de Almeida. - Rio Claro, 2018

215 f. : il., figs., gráfs., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro

Orientador: Carlos Renato Corso

Coorientador: Adalgisa Rodrigues de Andrade

1. Micro-organismos. 2. Azo corantes têxteis. 3. Tratamentos biológicos. 4. Tratamentos de oxidação eletroquímica. 5. *Aspergillus terreus*. 6. Ensaio microssoma/*Salmonella*. I.

Título.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO DA TESE:** Biorremediação de azo corantes têxteis empregando tratamentos microbiológicos e processos oxidativos avançados

**AUTORA:** ÉRICA JANAÍNA RODRIGUES DE ALMEIDA

**ORIENTADOR:** CARLOS RENATO CORSO

**COORIENTADORA:** ADALGISA RODRIGUES DE ANDRADE

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em CIÊNCIAS BIOLÓGICAS (MICROBIOLOGIA APLICADA), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. CARLOS RENATO CORSO  
Departamento de Bioquímica e Microbiologia / IB Rio Claro



Prof. Dr. EDERIO DINO BIDOIA  
Departamento de Bioquímica e Microbiologia / IB Rio Claro



Profa. Dra. MARIA APARECIDA MARIN MORALES  
Departamento de Biologia / IB Rio Claro



Profa. Dra. AKEMI TERAMOTO DE CAMARGO  
Depto de Biologia Geral / Universidade Estadual de Ponta Grossa - PR



Profa. Dra. AURORA MARIANA GARCIA DE FRANÇA SOUZA  
x / CETESB - Piracicaba-SP

Rio Claro, 15 de janeiro de 2018

*Dedico aos principais responsáveis por eu ter chegado até aqui,  
aqueles que me apoiaram e me deram seu amor incondicional.*

***Meus PAIS,  
FRANCISCO (in memoriam) e ADINALVA***

## AGRADECIMENTOS

A concretização desse trabalho só foi possível porque ao longo desses 10 anos em que ingressei na vida acadêmica universitária tive a sorte de encontrar pelo caminho pessoas maravilhosas (algumas nem tanto, mas essas nos ensinam a não ser como elas) que me ajudaram a tornar a mulher e profissional que hoje sou. Aos meus pais Francisco (*in memoriam* - onde estiver, sei que sempre olha por mim) e Adinalva, pelo amor e apoio incondicional em todos os momentos, tenham sido eles bons ou ruins. Aos meus irmãos Camila, Gui e minha irmã do coração Tici, obrigada por iluminar meus dias, me dar motivos para sorrir e encher meu coração de alegria.

Ao Professor Corso, a quem devo a realização desse trabalho, pois sem o senhor nada disso poderia ter sido concretizado. Obrigada Professor pela confiança, pela paciência, pelos conselhos, por acreditar em mim e me apoiar. Mestre e amigo que não faltou comigo em nenhum momento. Quem eu tive o prazer de conhecer e tenho orgulho de trabalhar.

A Professora Adalgisa Rodrigues de Andrade, co-orientadora desse projeto, que me abriu as portas de seu laboratório e me ensinou que sempre temos algo para melhorar, e que nunca devemos desistir não importam quais sejam as adversidades. Um exemplo de pesquisadora, Gisa foi uma honra trabalhar com você.

Ao Beto que sempre me salvou quando todos os experimentos não funcionavam. Obrigada Beto, você sempre me mostrou que havia uma luz no fim do túnel, e que desistir é inadmissível. Obrigada por todos os ensinamentos.

Ao Lab. Multi, que com certeza é o laboratório mais legal da Unesp. Obrigada a todos os meus companheiros Rubão, Jaque, Bill, Gabi, Marina, Guilherme, Carol, Chal, Grazy e todos os demais companheiros de departamento pela boa convivência e por fazer dos momentos de trabalho, momentos mais agradáveis e gostosos de serem vividos.

Em especial agradeço ao senhor José Rubens (Rubão) por resolver todos os meus problemas burocráticos enquanto estive fora do Brasil e me ajudar com todas as dúvidas de informática ao longo desses últimos 4 anos.

Agradeço também aos amigos de trabalho no laboratório de Eletrocatalise e Eletroquímica Ambiental da Faculdade de Química, da USP de Ribeirão Preto Layci, Tiaguinho, Angelo, Xys, Neto, Vanderlei, Carol, Thamyres, e aos técnicos Tiago Cavassani e Mercia pela amizade e suporte no desenvolvimento dessa pesquisa.

Agradeço também aos outros técnicos de laboratório Carmem, Fátima, Adriano e demais colegas de ambos departamentos, que em algum momento também contribuíram para o desenvolvimento desse trabalho.

Agradeço a Professora Marin por me permitir realizar o teste de Ames em seu laboratório, me fornecendo toda a estrutura necessária e embasamento teórico para a realização deste ensaio. E a Dânia e Laís, por me acompanharem durante o teste. Muito obrigada.

A Professora Dejanira por sempre estar de portas abertas para me receber e me ajudar, muito obrigada Professora. A senhora e a Professora Marin são exemplos de mulheres e pesquisadoras para mim.

A toda minha família e amigos, que sempre compreenderam meus esforços e sempre me apoiaram para chegar até aqui.

Agradeço a FAPESP, **Processo nº 2013/25535-4**, pela bolsa de estudos e todo o financiamento desse projeto. A execução desse trabalho seria impossível sem esse financiamento. Agradeço também pela bolsa Bepe, **Processo nº 2016/22464-7**, que me permitiu expandir conhecimentos e aprender novas técnicas para aperfeiçoar meus estudos com degradação de corantes.

*Que eu não me iluda com o ânimo e o vigor dos primeiros trechos,  
porque chegará o dia em que os pés não terão tanta força  
e se ferirão no caminho e se cansarão mais cedo...  
Todavia, quando o cansaço houver, que eu não me desespere  
e acredite que ainda terei forças para continuar.*

*Drummond*

## RESUMO

---

A qualidade da água de ambientes aquáticos e de abastecimento é uma das questões mais importantes a nível mundial. Atualmente, vários compostos orgânicos e inorgânicos tóxicos vêm sendo detectados em níveis críticos em águas residuais, subterrâneas e superficiais. Dentre esses compostos há os corantes sintéticos que estão constantemente sendo descartados em corpos d'água a partir de efluentes industriais. Os azo corantes representam uma classe muito importante de corantes têxteis, e a sua biotransformação por micro-organismos (fungos, bactérias e leveduras) pode liberar aminas aromáticas, que comprovadamente possuem propriedades genotóxicas e/ou mutagênicas, podendo induzir danos graves em organismos aquáticos e humanos. Além disso, o descarte de efluentes têxteis contendo corantes diretamente nos ambientes aquáticos pode provocar redução da transparência da água, solubilidade de oxigênio e fotossíntese de plantas aquáticas. Muitas abordagens são propostas para remover corantes têxteis de águas residuais, incluindo métodos de coagulação/precipitação química, adsorção física, oxidação eletroquímica, oxidação química. Recentemente, processos de oxidação avançada (POAs) são considerados promissores para o tratamento de águas residuais, pois são capazes de oxidar uma ampla gama de compostos de difícil degradação. As desvantagens desses processos incluem principalmente alto custo energético. Os processos biológicos também têm recebido atenção devido às vantagens de baixo custo operacional, menor produção de lodo, além de serem considerados ambientalmente sustentáveis em comparação aos métodos químicos ou físicos. A desvantagem do processo microbiológico é o longo período de tratamento, e para contornar essa limitação, combinação de tratamentos de POAs para obter degradação parcial de corante seguida de um tratamento biológico, mostrou em alguns estudos ter potencial para conseguir descolorir e mineralizar soluções aquosas contendo azo corantes em período de tempo mais reduzido. Sendo assim, o objetivo principal desse estudo foi remover os corantes Acid Blue 161 e Procion Red MX-5B de soluções aquosas simples e binárias usando tratamentos de descoloração microbiológico e microbiológico com pré-tratamento de oxidação eletroquímica. Para a realização dos tratamentos biológicos foram utilizados o fungo *Aspergillus terreus* e a levedura *Saccharomyces cerevisiae*. Intensas alterações moleculares foram detectadas após

os tratamentos de descoloração a partir de análises de FTIR e HPLC. A mutagenicidade foi determinada pelo ensaio *Salmonella*/microsoma (teste de Ames), e a toxicidade aguda a partir de testes com sementes de *Lactuca sativa*. Ao final do tratamento de descoloração, foram realizados tratamentos adsortivos com argila branca imobilizada em alginato, para remoção de metabolitos altamente tóxicos, formados após a degradação das moléculas dos corantes. Após a análise de todos os sistemas testados, verificou-se que o sistema eletroquímico/biológico/argila foi o que apresentou maior capacidade de adsorção, degradação e/ou mineralização das moléculas dos corantes, pois ocorreu redução da toxicidade aguda para sementes de *L. sativa* em todas as soluções testadas. Para a solução binária o sistema eletroquímico/*A. terreus*/argila foi capaz de transformar uma solução inicialmente mutagênica em uma solução não mutagênica ao final do tratamento.

**Palavras chave:** azo corantes têxteis; tratamentos biológicos; tratamentos de oxidação eletroquímica; *Aspergillus terreus*; *Saccharomyces cerevisiae*; teste de Ames.

## ABSTRACT

---

Water quality has deteriorated globally and provision of clean water is one of most important worldwide issues. Nowadays, various toxic organic and inorganic compounds have been detected at critical levels in waste water, ground and surface waters. The intense use of synthetic dyes is an environmental problem, considering that constantly these compounds are discharged into water bodies by industrial effluents. Azo dyes represent the by far most important class of textile dyes. Their biotransformation by microorganisms (fungi, bacteria, yeasts) may release aromatic amines that have genotoxic and/or carcinogenic properties, and can induce serious damage in aquatic organisms and humans. In addition, the disposal of azo dyes from dyestuff textile processing industries directly into the water resources causes a reduction in water transparency, oxygen solubility and photosynthesis in aquatic plants. Many approaches have been proposed to remove dyes from textile wastewaters, including chemical coagulation/precipitation, physical adsorption, electrochemical oxidation, chemical oxidation. Recently, advanced oxidation processes (AOPs) have been proposed as promising technique for wastewater treatment. These techniques are able to oxidise a wide range of compounds that are difficult to degrade, disadvantages of these processes include mainly high energy cost. The biological processes also have received attention because of the advantages of low operating cost, less sludge and environmental friendliness compared with chemical or physical methods. Disadvantages the biological process is long treatment period. To circumvent these limitations, a combination of AOP's treatments to obtain partial dye degradation followed by a biological treatment has been shown to have potential to achieve effective decolorization and mineralization of azo dyes. The main purpose of this study was to remove the dyes Acid Blue 161 e Procion Red MX-5B in simple and binary aqueous solutions using biological and electrochemical/biological decolorization treatments. To perform the biological treatments were used the fungus *Aspergillus terreus* and the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. Intense molecular changes after decolorization treatments were demonstrated by the HPLC and FTIR analysis. Mutagenicity was determined by the *Salmonella*/microsome assay (Ames test), and the acute toxicity by the *Lactuca sativa* seeds. At the end of the decolorization treatment were performed adsorption treatment with white clay

immobilized in alginate for removal the highly toxic metabolites formed after the degradation of the dye molecules. After analyzing all the systems tested, we can verify that the electrochemical/biological/clay system was what presented highest adsorption, degradation and/or mineralization capacity of the dye molecules, because occurred reduction of acute toxicity for *Lactuca sativa* seeds in all solutions tested. For the binary solution the electrochemical/*A. terreus*/clay system was able to transform an initially mutagenic solution into non-mutagenic after treatment.

**Keywords:** textile azo dyes; biological treatments; electrochemical oxidation treatments, *Aspergillus terreus*; *Saccharomyces cerevisiae*; Ames test.

## LISTA DE FIGURAS

---

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

<b>Figura 1</b> – Importações e exportações de corantes, pigmentos e branqueadores ópticos no Brasil .....	24
<b>Figura 2</b> – Estrutura molecular do azo corante têxtil Acid Blue 161 .....	25
<b>Figura 3</b> – Estrutura molecular do azo corante têxtil Procion Red MX-5B .....	26

### CAPÍTULO I

<b>Figura 1</b> – Suportes de titânio metálico utilizados na preparação dos eletrodos (A) caracterização do eletrodo (B) eletrodo de trabalho .....	40
<b>Figura 2</b> – Esquema representando as etapas de deposição dos óxidos metálicos no suporte de titânio durante, a preparação dos eletrodos .....	42
<b>Figura 3</b> – Configuração do eletrodo utilizado para caracterização do eletrodo de trabalho .....	42
<b>Figura 4</b> – Configuração da célula eletroquímica utilizada nas eletrólises, composta por (A) placas metálicas de titânio; (B) Placas de Teflon®; (C) borrachas de vedação; (D) eletrodo auxiliar de aço inoxidável; (E) espaçadores de borracha; (F) espaçador de Teflon®; (G) eletrodo de trabalho .....	46
<b>Figura 5</b> – Sistema utilizado para a realização das eletrólises (A) célula filtro prensa, (B) bomba peristáltica, (C) solução a ser tratada e (D) reservatório composto por tubos de quartzo .....	46
<b>Figura 6</b> – Espectro de absorção UV-Vis do corante Acid Blue 161 .....	50
<b>Figura 7</b> – Espectro de absorção UV-Vis do corante Procion Red MX-5B .....	51
<b>Figura 8</b> – Espectro de absorção dos corantes (---) Procion Red MX-5B, (---) Acid Blue 161 em solução simples e (----) solução binária .....	51
<b>Figura 9</b> – Curva de calibração do corante Acid Blue 161 .....	53
<b>Figura 10</b> – Curva de calibração do corante Procion Red MX-5B .....	53

<b>Figura 11</b> – Curva de calibração da solução binária .....	54
<b>Figura 12</b> – Inibição de crescimento das raízes das plântulas de <i>L. sativa</i> , após 120 h de exposição a diferentes concentrações do eletrólito suporte Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	55
<b>Figura 13</b> – Voltamogramas cíclicos do eletrodo de composição nominal Ti/Ru <sub>0,3</sub> Ti <sub>0,7</sub> O <sub>2</sub> antes e após realização do condicionamento voltamétrico .....	57
<b>Figura 14</b> – Voltamogramas cíclicos eletrodo de Ti/Ru <sub>0,3</sub> Ti <sub>0,7</sub> O <sub>2</sub> na presença do corante Acid Blue 161 .....	58
<b>Figura 15</b> – Voltamogramas cíclicos do eletrodo de Ti/Ru <sub>0,3</sub> Ti <sub>0,7</sub> O <sub>2</sub> na presença do corante Procion Red MX-5B .....	59
<b>Figura 16</b> – Micrografia do filme de óxido Ti e Ru depositado sobre o titânio metálico do eletrodo de trabalho .....	60
<b>Figura 17</b> – Espectros de absorção UV-Vis e descoloração da solução de Acid Blue 161 .....	61
<b>Figura 18</b> – Espectros de absorção UV-Vis e descoloração da solução de Procion Red MX-5B .....	62
<b>Figura 19</b> – Espectros de absorção UV-Vis e descoloração da solução binária composta pelos corantes Acid Blue 161 e Procion Red MX-5B .....	62
<b>Figura 20</b> – Comparativo de descoloração das soluções compostas pelos corantes Acid Blue 161 e Procion Red MX-5B após o tratamento eletroquímico .....	63
<b>Figura 21</b> – Soluções do corante Acid Blue 161 antes e após tratamento eletroquímico (A) controle; (B) 1 h; (C) 2 h; (D) 3 h; (E) 4 h de tratamento .....	64
<b>Figura 22</b> – Soluções do corante Procion Red MX-5B antes e após tratamento eletroquímico (A) controle; (B) 1 h; (C) 2 h; (D) 3 h; (E) 4 h de tratamento .....	64
<b>Figura 23</b> – Soluções binária dos corantes Acid Blue 161 e Procion Red MX-5B antes e após tratamento eletroquímico (A) controle; (B) 1 h; (C) 2 h; (D) 3 h; (E) 4 h de tratamento .....	65
<b>Figura 24</b> – Comparativo de descoloração dos corantes Acid Blue 161 e Procion Red MX-5B em solução binária .....	66

<b>Figura 25</b> – Comparativo de Remoção de COT nas soluções compostas pelos corantes Acid Blue 161, Procion Red MX-5B e solução binária .....	66
<b>Figura 26</b> – Espectros de absorção do corante Acid Blue 161, antes e após tratamento eletroquímico .....	68
<b>Figura 27</b> – Comparativo de descoloração das soluções do corante Acid Blue 161 em diferentes velocidades de fluxo .....	69
<b>Figura 28</b> – Comparativo de Remoção de COT das soluções de Acid Blue 161 em diferentes velocidades de fluxo .....	69
<b>Figura 29</b> – Dados relativos a eficiência de corrente instantânea nas eletrólises dos corantes Acid Blue 161, Procion Red MX-5B e solução binária .....	71
<b>Figura 30</b> – Dados relativos eficiência de corrente instantânea nas eletrólises dos corantes Acid Blue 161, com variação de fluxo 10, 25 e 70 mL min <sup>-1</sup> .....	72

## CAPÍTULO II

<b>Figura 1</b> – Estrutura molecular do azo corante têxtil Acid Blue 161 .....	77
<b>Figura 2</b> – Estrutura molecular do azo corante têxtil Procion Red MX-5B .....	78
<b>Figura 3</b> – (A) Fungo <i>A. terreus</i> (B) Imagem microscópica do fungo <i>A. terreus</i> .	79
<b>Figura 4</b> – Esquema de produção de biomassa fúngica ( <i>pellets</i> miceliais) .....	82
<b>Figura 5</b> – (A) Imagem do fermento biológico seco; (B) imagem de microscopia eletrônica de varredura <i>S. cerevisiae</i> .....	83
<b>Figura 6</b> – Esquema geral do teste de biodegradação com o fungo <i>A. terreus</i> e com a levedura <i>S. cerevisiae</i> .....	86
<b>Figura 7</b> – Esferas de argila branca imobilizada em alginato .....	89
<b>Figura 8</b> – Curva de calibração para quantificação de proteínas totais produzida pelo fungo <i>A. terreus</i> e pela levedura <i>S. cerevisiae</i> .....	91
<b>Figura 9</b> – Concentração de proteínas totais produzida ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ ) pelo fungo <i>A. terreus</i> durante 30 dias de fermentação em meio de solução de sais de Vogel enriquecido com 2 % de sacarose .....	92

<b>Figura 10</b> – Concentração de proteínas totais produzida ( $\mu\text{g mL}^{-1}$ ) pela levedura <i>S. cerevisiae</i> durante 30 dias de fermentação em meio de solução de sais de Vogel enriquecido com 2 % de sacarose .....	93
<b>Figura 11</b> – Dados de descoloração corante Acid Blue 161. (A) tratamento microbiológico; (B) absorbância relativa tratamento microbiológico; (C) tratamento eletroquímico/microbiológico (D) absorbância relativa tratamento eletroquímico/microbiológico .....	94
<b>Figura 12</b> – (A) <i>Pellets</i> miceliais do fungo <i>A. terreus</i> e (B) esferas de levedura <i>S. cerevisiae</i> imobilizadas em alginato, após interação com o corante Acid Blue 161 .....	96
<b>Figura 13</b> – Espectros de FTIR das soluções (A) controle do corante Acid Blue 161, (B) após 1 h de tratamento eletroquímico, (C) 72, (D) 144, (E) 216 e (F) 288 h de tratamento microbiológico com o fungo <i>A. terreus</i> com e sem pré-tratamento eletroquímico .....	98
<b>Figura 14</b> – Espectros de FTIR das soluções (A) controle do corante Acid Blue 161, (B) após 1 h de tratamento eletroquímico, (C) 72, (D) 144, (E) 216 e (F) 288 h de tratamento microbiológico com a levedura <i>S. cerevisiae</i> com e sem pré-tratamento eletroquímico .....	100
<b>Figura 15</b> – Cromatogramas de HPLC-Vis das soluções de Acid Blue 161 antes e após os tratamentos (A) microbiológico com <i>A. terreus</i> e (B) eletroquímico/ <i>A. terreus</i> .....	102
<b>Figura 16</b> – Cromatogramas de HPLC-Vis das soluções de Acid Blue 161 antes e após os tratamentos (A) microbiológico com <i>S. cerevisiae</i> e (B) eletroquímico/ <i>S. cerevisiae</i> .....	103
<b>Figura 17</b> – Cromatogramas de HPLC-UV das soluções (A) controle Acid Blue 161, (B) após 1 h de tratamento eletroquímico, (C) 72, (D) 144, (E) 216 e (F) 288 h de tratamento microbiológico com o fungo <i>A. terreus</i> com e sem pré-tratamento eletroquímico .....	105
<b>Figura 18</b> – Cromatogramas de HPLC-UV das soluções (A) controle Acid Blue 161, (B) após 1 h de tratamento eletroquímico, (C) 72, (D) 144, (E) 216 e (F)	

288 h de tratamento microbiológico com a levedura <i>S. cerevisiae</i> com e sem pré-tratamento eletroquímico .....	106
<b>Figura 19</b> – Valores da área integrada do pico em 3,42 min para cada tratamento de degradação testado .....	107
<b>Figura 20</b> – Resultados de crescimento radicular (cm) das plântulas de <i>L. sativa</i> , após exposição às soluções provenientes dos tratamentos de descoloração, microbiológicos e eletroquímico/microbiológicos do corante Acid Blue 161 .....	109
<b>Figura 21</b> – Inibição de crescimento radicular e concentração de Acid Blue 161 remanescente, após tratamentos de degradação. (A) <i>A. terreus</i> e <i>A. terreus</i> /argila; (B) eletroquímico/ <i>A. terreus</i> e eletroquímico/ <i>A. terreus</i> /argila; (C) <i>S. cerevisiae</i> e <i>S. cerevisiae</i> /argila; (D) eletroquímico/ <i>S. cerevisiae</i> e eletroquímico/ <i>S. cerevisiae</i> /argila .....	116
<b>Figura 22</b> – Cromatogramas HPLC-UV Acid Blue 161, após 288 h de tratamentos de descoloração (A) <i>A. terreus</i> , (B) Eletroquímico/ <i>A. terreus</i> , (C) <i>S. cerevisiae</i> , (D) Eletroquímico/ <i>S. cerevisiae</i> antes e após tratamento adsortivo com argila branca imobilizada em alginato .....	119
<b>Figura 23</b> – Área integrada do pico em 3,42 min, após 288 h de tratamento de descoloração (A) <i>A. terreus</i> , (B) Eletroquímico/ <i>A. terreus</i> , (C) <i>S. cerevisiae</i> , (D) Eletroquímico/ <i>S. cerevisiae</i> antes e após tratamento adsortivo com argila branca imobilizada em alginato .....	120
<b>Figura 24</b> – Dados de descoloração corante Procion Red MX-5B. (A) tratamento microbiológico; (B) absorbância relativa tratamento microbiológico; (C) tratamento eletroquímico/microbiológico (D) absorbância relativa tratamento eletroquímico/microbiológico .....	121
<b>Figura 25</b> – <i>Pellets</i> miceliais do fungo <i>A. terreus</i> após interação com o corante Procion Red MX-5B .....	123
<b>Figura 26</b> – Espectros de FTIR da (A) controle do corante Procion Red MX-5B, (B) após 1 h de tratamento eletroquímico, (C) 72, (D) 144, (E) 216 e (F) 288 h de tratamento <i>A. terreus</i> e eletroquímico/ <i>A. terreus</i> .....	124

<b>Figura 27</b> – Espectros de FTIR da (A) controle do corante Procion Red MX-5B, (B) após 1 h de tratamento eletroquímico, e (C) 72, (D) 144, (E) 216 e (F) 288 h de tratamento <i>S. cerevisiae</i> e eletroquímico/ <i>S. cerevisiae</i> .....	127
<b>Figura 28</b> – Cromatogramas de HPLC-Vis das soluções de Procion Red MX-5B antes e após os tratamentos (A) microbiológico com <i>A. terreus</i> e (B) eletroquímico/ <i>A. terreus</i> .....	129
<b>Figura 29</b> – Cromatogramas de HPLC-Vis das soluções de Procion Red MX-5B antes e após os tratamentos (A) microbiológico com <i>S. cerevisiae</i> e (B) eletroquímico/ <i>S. cerevisiae</i> .....	130
<b>Figura 30</b> – Cromatogramas de HPLC-UV da (A) solução controle Procion Red MX-5B, (B) após 1 h de tratamento eletroquímico, (C) 72, (D) 144, (E) 216 e (F) 288 h de tratamento <i>A. terreus</i> e eletroquímico/ <i>A. terreus</i> .....	132
<b>Figura 31</b> – Valores da área integrada dos picos em (A) 4,12, (B) 4,47 e (C) 5,61 min para cada tratamento de degradação testado no sistema com o fungo <i>A. terreus</i> eletroquímico/ <i>A. terreus</i> .....	133
<b>Figura 32</b> – Cromatogramas de HPLC-UV da (A) solução controle Procion Red MX-5B, (B) após 1 h de tratamento eletroquímico, (C) 72, (D) 144, (E) 216 e (F) 288 h de tratamento <i>S. cerevisiae</i> e eletroquímico/ <i>S. cerevisiae</i> .....	134
<b>Figura 33</b> – Valores da área integrada do pico em 3,82 min para cada tratamento de degradação testado no sistema com a levedura <i>S. cerevisiae</i> e eletroquímico/ <i>S. cerevisiae</i> .....	135
<b>Figura 34</b> – Resultados de crescimento radicular (cm) das plântulas de <i>L. sativa</i> , após exposição as soluções provenientes dos tratamentos de descoloração, microbiológicos e eletroquímico/microbiológicos do corante Procion Red MX-5B.....	137
<b>Figura 35</b> – Inibição de crescimento radicular e concentração de Procion Red MX-5B remanescente após tratamentos de degradação. (A) <i>A. terreus</i> e <i>A. terreus</i> /argila; (B) eletroquímico/ <i>A. terreus</i> e eletroquímico/ <i>A. terreus</i> /argila; (C) <i>S. cerevisiae</i> e <i>S. cerevisiae</i> /argila; (B) eletroquímico/ <i>S. cerevisiae</i> e eletroquímico/ <i>S. cerevisiae</i> /argila .....	143

**Figura 36** – Cromatogramas Procion Red MX-5B, após 288 h de tratamentos de descoloração (A) *A. terreus*; 4,47 min, (B) Eletroquímico/*A. terreus*; 4,47 min, (C) *S. cerevisiae*; 3,82 min, (D) Eletroquímico/*S. cerevisiae*; 3,82 min antes e após tratamento adsortivo com argila branca imobilizada em alginato ..... 146

**Figura 37** – Área integrada dos picos em 3,82 e 4,47 min, após 288 h de tratamento de descoloração (A) *A. terreus*; 4, 47 min, (B) Eletroquímico/*A. terreus*; 4,47 min, (C) *S. cerevisiae*; 3,82 min, (D) Eletroquímico/*S. cerevisiae*; 3,82 min antes e após tratamento adsortivo com argila branca imobilizada em alginato ..... 147

### CAPÍTULO III

**Figura 1** – Dados de descoloração solução binária. (A) tratamento *A. terreus*; (B) taxa de remoção total e de cada corante individualmente – sistema *A. terreus*; (C) tratamento eletroquímico/*A. terreus* (D) taxa de remoção total e de cada corante individualmente – sistema eletroquímico/ *A. terreus* ..... 158

**Figura 2** – Dados de descoloração solução binária. (A) tratamento *S. cerevisiae*; (B) taxa de remoção total e de cada corante individualmente – sistema *S. cerevisiae*; (C) tratamento eletroquímico/ *S. cerevisiae* (D) taxa de remoção total e de cada corante individualmente – sistema eletroquímico/ *S. cerevisiae* ..... 159

**Figura 3** – *Pellet A. terreus* após exposição a solução binária pelo período de 288 h ..... 161

**Figura 4** – Micrografias dos *pellets A. terreus* antes e após exposição a solução binária. (1a, 1b, 1c, 1d, 1e e 1f) pellet antes da interação com a solução binária. aumento de 70 a 5.000 vezes; (2a, 2b, 2c, 2d, 2e e 2f) pellet após interação com a solução binária, aumento de 70 a 5.000 vezes ..... 162

**Figura 5** – Espectros de FTIR da (A) controle da solução binária, (B) após 1 h de tratamento eletroquímico, e (C) 72, (D) 144, (E) 216 e (F) 288 h de tratamento *A. terreus* e eletroquímico/*A. terreus* ..... 165

<b>Figura 6</b> – Espectros de FTIR da (A) controle da solução binária, (B) após 1 h de tratamento eletroquímico, e (C) 72, (D) 144, (E) 216 e (F) 288 h de tratamento <i>S. cerevisiae</i> e eletroquímico/ <i>S. cerevisiae</i> .....	166
<b>Figura 7</b> – Espectro de absorção dos corantes Acid Blue 161 e Procion Red MX-5B .....	168
<b>Figura 8</b> – Cromatogramas das soluções dos corantes (A) Acid Blue 161 e Procion Red MX-5B em solução simples e (B) Solução Binária .....	169
<b>Figura 9</b> – Cromatogramas solução binária após tratamento (A) <i>A. terreus</i> e (B) eletroquímico/ <i>A. terreus</i> .....	170
<b>Figura 10</b> – Cromatogramas solução binária após tratamento (A) <i>S. cerevisiae</i> e (B) eletroquímico/ <i>S. cerevisiae</i> .....	171
<b>Figura 11</b> - Cromatogramas de HPLC-UV da (A) solução binária controle (B) após 1 h de tratamento eletroquímico, (C) 72, (D) 144, (E) 216 e (F) 288 h de tratamento <i>A. terreus</i> e eletroquímico/ <i>A. terreus</i> .....	173
<b>Figura 12</b> - Cromatogramas de HPLC-UV da (A) solução binária controle (B) após 1 h de tratamento eletroquímico, (C) 72, (D) 144, (E) 216 e (F) 288 h de tratamento <i>S. cerevisiae</i> e eletroquímico/ <i>S. cerevisiae</i> .....	174
<b>Figura 13</b> – Valores da área integrada do pico em 3,53 min para cada tratamento de degradação testado .....	175
<b>Figura 14</b> – Cromatogramas solução binária (288 h) em 292 nm (A) <i>A. terreus</i> (B) Eletroquímico/ <i>A. terreus</i> (C) <i>S. cerevisiae</i> (D) Eletroquímico/ <i>S. cerevisiae</i> antes e após tratamento adsorativo com argila branca imobilizada em alginato ...	176
<b>Figura 15</b> – Área integrada do pico em 3,53 min após 288 h de tratamento de descoloração (A) <i>A. terreus</i> , (B) Eletroquímico/ <i>A. terreus</i> , (C) <i>S. cerevisiae</i> , (D) Eletroquímico/ <i>S. cerevisiae</i> antes e após tratamento adsorativo com argila branca imobilizada em alginato .....	177
<b>Figura 16</b> – Resultados de crescimento radicular (cm) das plântulas de <i>L. sativa</i> , após exposição às soluções binárias compostas pelos corantes Acid Blue 161 e Procion Red MX-5B, tratadas pelos sistemas microbiológicos e eletroquímico/microbiológicos.....	178

- Figura 17** – Resultados de crescimento do hipocótilo (cm) das plântulas de *L. sativa*, após exposição às soluções binárias compostas pelos corantes Acid Blue 161 e Procion Red MX-5B, tratadas pelos sistemas microbiológicos e eletroquímico/microbiológicos..... 179
- Figura 18** – Resultados de toxicidade para sementes de *L. sativa* após tratamento descoloração *A. terreus*. Valores antes e após tratamento adsorptivo com argila branca imobilizada em alginato de sódio. (A) Inibição de crescimento radicular e (B) Inibição de crescimento do hipocótilo ..... 185
- Figura 19** – Resultados de toxicidade para sementes de *L. sativa* após tratamento de descoloração eletroquímico/*A. terreus*. Valores antes e após tratamento adsorptivo com argila branca imobilizada em alginato de sódio. (A) Inibição de crescimento radicular e (B) Inibição de crescimento do hipocótilo.... 186
- Figura 20** – Resultados de toxicidade para sementes de *L. sativa* após tratamento de descoloração *S. cerevisiae*. Valores antes e após tratamento adsorptivo com argila branca imobilizada em alginato de sódio. (A) Inibição de crescimento radicular e (B) Inibição de crescimento do hipocótilo ..... 187
- Figura 21** – Resultados de toxicidade para sementes de *L. sativa* após tratamento de descoloração eletroquímico/*S. cerevisiae*. Valores antes e após tratamento adsorptivo com argila branca imobilizada em alginato de sódio. (A) Inibição de crescimento radicular e (B) Inibição de crescimento do hipocótilo ..... 188

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1. Indústria têxtil e seus aspectos socioambientais.....	21
2.2. Corantes sintéticos.....	23
2.2.1. <i>Acid Blue 161</i> .....	24
2.2.2. <i>Procion Red MX-5B</i> .....	25
2.3. Poluentes emergentes.....	26
2.3.1. <i>Emprego de micro-organismos no tratamento de corantes</i> .....	27
2.3.2. <i>Emprego de tratamentos eletroquímicos para oxidação de corantes</i> .....	30
2.4. Toxicidade de mutagenicidade de azo corantes.....	32
3. OBJETIVOS.....	35
4. CAPÍTULO I – Avaliação da degradação de azo corantes têxteis por meio de tratamento de oxidação eletroquímica.....	37
5. CAPÍTULO II – Avaliação da degradação de azo corantes têxteis a partir de tratamento microbiológico associado a pré-tratamento de oxidação eletroquímica .....	74
6. CAPÍTULO III – Avaliação da degradação e mutagenicidade de azo corantes têxteis por meio de associação de tratamentos de descoloração .....	149
REFERÊNCIAS .....	198

## 1 INTRODUÇÃO

---

Nos últimos anos aumentaram as discussões quanto ao uso e disposição de substâncias químicas, que podem trazer prejuízos ao meio ambiente e aos organismos a elas expostos. A maior parte dessas discussões giram em torno dos recursos naturais, e de sistemas que sejam capazes de minimizar ou extinguir os impactos negativos causados por essas substâncias.

Diante desse cenário, a indústria têxtil é uma das maiores consumidoras de água, e de corantes sintéticos que possuem alto potencial de poluição, quando comparado aos demais setores industriais.

Anualmente, em todo o mundo 280 mil toneladas de corantes têxteis são descartadas na forma de efluentes industriais. Por exemplo, para colorir 1 kg de algodão com corantes reativos são necessários 0,6-0,8 kg de cloreto de sódio, 30-60 g de corante e de 70-150 L de água. Sendo que de 20 a 30 % dos corantes utilizados não se fixam às fibras e são descartados nas águas de lavagem, gerando águas residuárias com concentração de corante em torno de 200 ppm, alto teor de sal, além de outras substâncias que auxiliam o processo de tingimento (ARSLAN-ALATON et al., 2008; SEN et al., 2016).

A preocupação quanto aos efeitos nocivos desses compostos é crescente, já que os corantes possuem potencial toxicológico em plantas, animais e micro-

organismos, sendo desta forma, importante o desenvolvimento de estudos detalhados que avaliem o seu modo de ação.

Tratamentos de efluentes contendo corantes são difíceis de serem executados, pois essas substâncias são altamente complexas e resistentes a grande parte dos sistemas de tratamentos disponíveis. O grande impasse das pesquisas envolvendo esses compostos, é encontrar um processo que seja economicamente viável e capaz de realizar a remoção completa dos contaminantes ou pelo menos levar a formação de compostos biodegradáveis (AQUINO NETO; DE ANDRADE, 2011).

Nesse contexto surge como boas possibilidades para a remoção dessas substâncias, os tratamentos biológicos de bioadsorção e biodegradação utilizando fungos, leveduras e bactérias, e os processos oxidativos avançados, onde pode-se encontrar por exemplo, a oxidação eletroquímica, ozonização, fotólise e ozonização fotolítica.

Quanto aos processos oxidativos avançados, seu alto potencial no tratamento de águas contaminadas por poluentes é amplamente conhecido, mas, sabe-se também que os custos de funcionamento desses sistemas, para realizar a total oxidação de compostos orgânicos, permanecem relativamente elevados em comparação aos sistemas biológicos. No entanto, pensando em reduzir o custo energético e aumentar a eficiência dos processos, a sua utilização como uma etapa de pré-tratamento, para a melhoria da biodegradabilidade das águas residuais contendo compostos recalcitrantes, pode ser justificada se em um tratamento biológico os micro-organismos apresentarem capacidade de degradação dos intermediários formados após a oxidação das moléculas.

Sendo assim, diante dessa problemática, o presente estudo se propôs a analisar a degradação dos corantes Acid Blue 161 e Procion Red MX-5B em solução simples e associados em solução binária. A degradação foi realizada por sistemas microbiológicos com e sem pré-tratamento de oxidação eletroquímica, utilizando o fungo filamentoso *Aspergillus terreus* e a levedura *Saccharomyces cerevisiae*. As soluções foram testadas quanto à sua toxicidade aguda e mutagenicidade, antes e após os tratamentos, e os resultados obtidos foram divididos em capítulos que serão discutidos a seguir.

## REFERÊNCIAS

ABE, F. R.; MENDONÇA, J. N.; MORAES, L. A. B.; OLIVEIRA, G. A. R.; GRAVATO, C.; SOARES, A. M. V. M., OLIVEIRA, D. P. Toxicological and behavioral responses as a tool to assess the effects of natural and synthetic dyes on zebrafish early life. **Chemosphere**, v. 178, p. 282-290, 2017.

ABE, F. R.; SOARES, A. M. V. M.; OLIVEIRA, D. P.; GRAVATO, C. Toxicity of dyes to zebrafish at the biochemical level: cellular energy allocation and neurotoxicity. **Environmental Pollution**, v. 235, p. 255-262, 2018.

ABIQUIM – Associação Brasileira da Indústria Química. Corantes pigmentos, Conceitos gerais. Disponível em: <<http://www.abiquim.org.br/comissao/setorial/corantes-pigmentos/especificidade/sobre-o-produto>>. Acesso em: 16 de agosto de 2017.

ABIT – Associação Brasileira da Indústria Têxtil e Confecção. Economia. Disponível em: <<http://www.abit.org.br/adm/Arquivo/Service/110345.pdf>>. Acesso em: 25 de março de 2016.

ACID BLUE 161. **Sigma-Aldrich**®. Disponível em: <<https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/255882>>. Acesso em 16 de nov. de 2017.

AGOSTINHO, S. M. L.; VILLAMIL, R. F. V.; NETO, A. A.; ARANHA, H. O eletrólito suporte e suas múltiplas funções em processos de eletrodo. **Química Nova**, v. 27, p. 813-817, 2004.

AGUIAR, L. L.; ANDRADE-VIEIRA, L. F.; DAVID, J. A. O. Evaluation of the toxic potential of coffee wastewater on seeds, roots and meristematic cells of *Lactuca sativa* L. **Ecotoxicological and Environmental Safety**, v. 113, p. 366-372, 2016.

ALMEIDA, E. J. R.; CORSO, C. R. Comparative study of toxicity of azo dye Procion Red MX-5B following biosorption and biodegradation treatments with the fungi *aspergillus niger* and *Aspergillus terreus*. **Chemosphere**, v. 112, p. 317-322, 2014.

ALMEIDA, E. J. R.; CORSO, C. R. Acid Blue 161: decolorization and toxicity analysis after microbiological treatment. **Water, Air & Soil Pollution**, v. 227, p. 468-475, 2016.

AMES, B. N.; MCCANN, J.; YAMASAKI, E. Methods for detecting carcinogens and mutagens with the *Salmonella*/mammalian-microsome mutagenicity test. **Mutation Research**, v. 31, p. 347-364, 1975.

AMES, B. N. Identifying environmental chemicals causing mutations and cancer. **Science**, v. 204, p. 587-593, 1979.

AMIRNIA, S.; RAY, M. B.; MARGARITIS, A. Heavy metals remove from aqueous solutions using *Saccharomyces cerevisiae* in a novel continuous bioreactor-biosorption system. **Chemical Engineering Journal**, v. 264, p. 863-872, 2015.

ANDRADE, L. F.; DAVIDE, L. C.; GEDRAITE, L. S. The effect of cyanide compounds, fluorides, aluminum, and inorganic oxides present in spent pot linear on germination and root tip cells of *Lactuca sativa*. **Ecotoxicological and Environmental Safety**, v. 73, p. 626-631, 2010.

AQUINO NETO, S.; DE ANDRADE, A. R. Electrochemical oxidation of herbicides. In: SOLONESKI, S.; LARRAMENDY, M. L. **Herbicides, Theory and Applications**. 1ed, Editora: InTech, 2011. 610 p.

ARAVIND, P.; SELVARAJ, H.; FERRO, S.; SUNDARAM, M. An integrated (electro- and bio-oxidation) approach for remediation of industrial wastewater containing azo dyes: Understanding the degradation mechanism and toxicity assessment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 318, p. 203-215, 2016.

ARSLAN-ALATON, I.; GURSOY, B. H.; SCHMIDT, J. E. Advanced oxidation of acid and reactive dyes: Effect of Fenton treatment on aerobic, anoxic and anaerobic processes. **Dyes and Pigments**, v. 78, p. 117-130, 2008.

AYATI, A.; SHAHRAK, M. N.; TANHAEI, B.; SILLAPÄÄ, M. Emerging adsorptive removal of azo dye by metal-organic frameworks. **Chemosphere**, v. 160, p. 30-44, 2016.

AYED, L.; CHAIEB, K.; CHEREF, A.; BAKHROUF, A. Biodegradation and decolorization of triphenylmethane dyes by *Staphylococcus epidermidis*. **Desalination**, v. 260, p. 137-146, 2010.

AYED, L.; BAKIR, K.; MANSOUR, H. B.; HAMMAMI, S.; CHEREF, A.; BAKHROUF, A. In vitro mutagenicity, NMR metabolite characterization of azo and triphenylmethanes dyes by adherents bacteria and the role of the "can" adhesion gene in activated sludge. **Microbial Pathogenesis**, v. 103, p. 29-39, 2017.

BAÊTA, B. E. L.; LIMA, D. R. S.; SILVA, S. Q.; AQUINO, S. F. Evaluation of soluble microbial products and aromatic amines accumulation during a combined anaerobic/aerobic treatment of a model azo dye. **Chemical Engineering Journal**, v. 259, p. 936-944, 2015.

BANKOLE, P. O.; ADEKUNLE, A. A.; GOVINDWAR, S. P. Enhanced decolorization and biodegradation of Acid Red 88 dye by newly fungus, *Achaetomium strumarium*. **Environmental Chemical Engineering**, p. 1-47, 2018.

BARBOSA, L. C. A. **Espectroscopia no Infravermelho na Caracterização de Compostos Orgânicos**, Editora UFV, Viçosa, 2007, 189 p.

BERNSTEIN, L.; KALDOR, J.; MCCANN, J.; PIKE, M. C. An empirical approach to the statistical analysis of mutagenesis data from the *Salmonella* test. **Mutation Research**, v. 97, p. 267–281, 1982.

BORTHAKUR, P.; BORUAH, P. K.; HUSSAIN, N.; SILLA, Y.; DAS, M. R. Specific ion effect on the surface properties of Ag/reduced graphene oxide nanocomposite and its influence on photocatalytic efficiency towards azo dye degradation. **Applied Surface Science**, v. 423, p. 752-761, 2017.

BOURAS, H. D.; YEDDOU, A. R.; BOURAS, N.; HELLEL, D.; HOLTS, M. D.; SABAOU, N.; CHERGUI, A.; NADJEMI, B. Biosorption of Congo red by *Aspergillus carbonarius* M333 and *Penicillium glabrum* Pg1: kinetics, equilibrium and thermodynamic studies. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 80, p. 915-923, 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA**. Resolução do CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 05 de março de 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA**. Resolução do CONAMA n. 430, de 13 de maio de 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 05 de Março de 2016.

BRILLAS, E.; MARTÍNEZ-HUITLE, C. A. Decontamination of wastewaters containing synthetic organic dyes by eletrochemical methods. Na update review. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 166-167, p. 603-643, 2015.

BRÜSCHWEILER, B. J.; MERLOT, C. Azo dyes in clothing textiles can be cleaved into a series of mutagenic aromatic amines which are not regulated yet. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v. 88, p. 214-226, 2017.

CARVALHO, M. C.; PEREIRA, C.; GONÇALVES, I. C.; PINHEIRO, H. M.; SANTOS, A. R.; LOPES, A.; FERRA, M. I. Assessment of the biodegradability of a monosulfonated azo dye and aromatic amines. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 62, p. 96-103, 2008.

CHAKRABORTY, S.; BASAK, B.; DUTTA, S.; BHUNIA, B.; DEY, A. Decolorization and biodegradation of congo red dye by a novel white rot fungus *Alternaria alternata* CMERI F6. **Bioresource Technology**, v. 147, p. 662-666, 2013.

CHEN, S. H.; TING, A. S. Y. Biosorption and biodegradation potential of triphenylmethane dyes by newly discovered *Penicillium simplicissimum* isolated from indoor wastewater sample. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 103, p. 1-7, 2015.

CHEQUER, F. M. D.; LIZIER, T. M.; FELÍCIO, R.; ZANONI, M. V. B.; DEBONSI, H. M.; LOPES, N. P.; OLIVEIRA, D. P. The azo dye Disperse Red 13 and its oxidation and reduction products showed mutagenic potential. **Toxicology in Vitro**, v. 29, p. 1906-1915, 2015.

CHKUASELI, A.; KHUTSISHVILI-MAISURADZE, M.; CHAGELISHVILI, A.; NATSVALADZE, K.; LASHKARASHVILI, T.; CHAGELISHVILI, G.; MAISURADZE, N. Application of new mycotoxin adsorbent-bentonite clay "Askangel" in poultry feed. **Annals of Agrarian Science**, v. 14, p. 295-298, 2016.

COATES, J. **Interpretation of Infrared Spectra, A Practical Approach**. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2000. 2188 p.

COLOUR INDEX – Society of dyers and colourists. Definitions of a dyes and pigments. Disponível em: <<http://www.colour-index.com/definitions-of-a-dye-and-a-pigment>>. Acesso em: 16 de Agosto de 2017.

COTEIRO, R. D. **Preparação, caracterização e aplicação de ânodos com composição nominal  $Ti/Ru_yTi_{(1-y-x)}Sn_xO_2$  na degradação eletroquímica de clorofenóis**. 2006. 161 p. Tese (Doutora em Ciências – Química) – Faculdade de Filosofia Ciências e Letras, USP, Ribeirão Preto.

COTEIRO, R. D.; ANDRADE, A. R. Electrochemical oxidation of 4-chlorophenol and its by-products using  $Ti/Ru_{0.3}M_{0.7}O_2$  (M = Ti or Sn) anodes: preparation route versus

degradation efficiency. **Journal of Applied Electrochemistry**, v. 37, p. 691-698, 2007.

DAVI, M. L.; GNUDI, F. Phenolic compounds in surface water. **Water Research**, v. 33, p. 3213-3219, 1999.

DAVIES, L. C.; PEDRO, I. S.; NOVAIS, J. M.; DIAS-MARTINS, S. Aerobic degradation of Acid Orange 7 in a vertical-flow constructed wetland. **Water Research**, v. 40, p. 2055-2063, 2006.

DÁVILA-JIMÉNEZ, M. D.; ELIZALDE-GONZÁLEZ, M. P.; GARCÍA-DÍAZ, E.; MARÍN-CEVADA, V.; ZEQUINELI-PÉREZ, J. Photodegradation of the anthraquinonic dye Acid Green 25 by TiO<sub>2</sub> immobilized on carbonized avocado kernels: intermediates and toxicity. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 166-167, p. 241-250, 2015.

DELLAMATRICE, P. M.; SILVA-STENICO, M. E.; MORAES, L. A. B.; FIORE, M. F.; MONTEIRO, R. T. R. Degradation of textile dyes by cyanobacteria. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 48, p. 25-31, 2017.

DYER, J. R. **Aplicações da Espectroscopia de Absorção aos Compostos Orgânicos**. São Paulo: Edgard Blucher, 1969. 155 p.

EDISON, T. N. J. I.; ATCHUDAN, R.; SETHURAMAN, G.; LEE, Y. R. Reductive-degradation of carcinogenic azo dyes using *Anacardium occidentale* testa derived silver nanoparticles. **Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology**, v. 162, p. 604-610, 2016.

EL-KABBANY, F.; TAHA, S.; HAFEZ, M. IR spectroscopic analysis of polymorphism in C<sub>13</sub>H<sub>14</sub>N<sub>4</sub>O. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 78, p. 981-988, 2011.

ESCRIVÁ, L.; FONT, G.; MANYES, L. *In vivo* toxicity of fusarium mycotoxins in the last decade: a review. **Food and Chemical Toxicology**, v. 78, p. 185-206, 2015.

FADEL, M.; HASSANEIN, N. M.; ELSHAFEI, M. M.; MOSTAFA, A. H.; AHMED, M. A.; KHATER, H. M. Biosorption of manganese from groundwater by biomass of *Saccharomyces cerevisiae*. **Housing and Building National Research Center Journal**, v. 13, p. 106-113, 2017.

FORTI, J. C.; OLIVI, P.; ANDRADE, A. R. Characterisation of DSA<sup>®</sup>-type coatings with nominal composition  $Ti/Ru_{0,3}Ti_{(0,7-x)}Sn_xO_2$  prepared via a polymeric precursor. **Electrochimica Acta**, v. 47, p. 913-920, 2001.

FISKESJÖ, G. The Allium test as a standard in environmental monitoring. **Hereditas**, v.102, p. 99-112, 1985.

FRANCISCON, E.; PIUBELI, F.; FANTINATTI-GARBOGGINI, F.; MENEZES, C. R.; SILVA, I. S.; CAVACO-PAULO, A.; GROSSMAN, M. J.; DURRANT, L. R. Polymerization study of the aromatic amines generated by the biodegradation of azo dyes using the laccase enzyme. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 46, p. 360-365, 2010.

FRANCISCON, E.; MENDONÇA, D.; SEBER, S.; MORALES, D. A.; ZOCOLO, G. J.; ZANONI, M. V. B.; GROSSMAN, M. J.; DURRANT, L. R.; FREEMAN, H. S., UMBUZEIRO, G. A. Potential of a bacterial consortium to degrade azo dye Disperse Red 1 in a pilot scale anaerobic-aerobic reactor. **Process Biochemistry**, v. 50, p. 816-825, 2015.

FRANCO, J. H.; SILVA, B. F.; OLIVEIRA, R. V.; MEIRELES, G.; OLIVEIRA, D. P.; CASTRO, A. A.; RAMALHO, T. C.; ZANONI, M. V. B. Identification of biotransformation products of disperse dyes with rat liver microsomes by LC-MS/MS and theoretical studies with DNA: structure-mutagenicity relationship using *Salmonella*/microsome assay. **Science of the Total Environment**, v. 613-614, p. 1093-1103, 2018.

FUJITA, R. M. L.; JORENTE, M. J. A indústria têxtil no Brasil: uma perspectiva histórica e cultural. **Revista Moda Palavra**, v.08, n. 15, p. 153-174, 2015.

GDALETA, D.; MANGANELLI, S.; MANGANARO, A.; PORTA, N.; BENFENATI, E. A knowledge-based expert rule system for predicting mutagenicity (Ames test) of aromatic amines and azo compounds. **Toxicology**, v. 370, p. 20-30, 2016.

GAJERA, H. P.; BAMBHAROLIA, R. P.; HISPARA, D. G.; PATEL, S. V.; GOLAKIYA, B. A. Molecular identification and characterization of novel *Hypocrea koningii* associated with azo dyes decolorization and biodegradation of textile dye effluents. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 98, p. 406-416, 2015.

GAO, J. F.; ZHANG, Q., SU, K. WANG, J. H. Competitive biosorption of Yellow 2G and Reactive Brilliant Red K-2G onto inactive aerobic granules: Simultaneous determination of two dyes by first-order derivative spectrophotometry and isotherm studies. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 5793-5801, 2010.

GEORGIEV, A.; KOSTADINOV, A.; IVANOV, D.; DIMOV, D.; STOYANOV, S.; NEDELICHEV, L.; NAZAROVA, D.; YANCHEVA, D. Synthesis, spectroscopic and TD-DFT quantum mechanical study of azo-azomethine dyes. A laser induced *trans-cis-trans* photoisomerization cycle. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 192, p. 263-274, 2018.

GLENN, J. K.; GOLD, M. H. Decolorization of several polymeric dyes by the lignin-degrading basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium*. **Applied and Environmental Microbiology**, p. 1741-1747, 1983.

GOVINDWAR, S. P.; KURADE, M. B.; TAMBOLI, D. P.; KABRA, A. N.; KIM, P. J.; WAGHMODE, T. R. Decolorization and degradation of xenobiotic azo dye Reactive Yellow-84A and textile effluent by *Galactomyces geotrichum*. **Chemosphere**, v. 109, p. 234-238, 2014.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. **Revista Química Nova**, v. 23, n. 1, p. 71-79, 2000.

HAQUE, M. M.; SMITH, W. T.; WONG, D. K. Y. Conducting polypyrrole films as a potential tool for electrochemical treatment of azo dyes in textile wastewater. **Journal of Hazardous Materials**, v. 283, p. 164-170, 2015.

HARISHA, S.; KESHVAYYA, J.; SWAMY, B. E. K.; VISWANATH, C. C. Synthesis, characterization and electrochemical studies of azo dyes derived from barbituric acid. **Dyes and Pigments**, v. 136, p. 742-753, 2017.

HASANBEIGI, A.; PRICE, L. A technical review of emerging technologies for energy and water efficiency and pollution reduction in the textile industry. **Journal of Cleaner Production**, p. 01-28, 2015.

HORVAT, A. J. M.; PETROVIC, M.; BABIC, S.; PAVLOVIC, D. M.; ASPERGER, D.; PELKO, S.; MANCE, A. D.; KASTELAN-MACAN, M. Analysis, occurrence and fate anthelmintcs and their transformation products in the environment. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 31, p. 61-24, 2012.

HSUEH, C. C.; CHEN, C. T.; HSU, A. W.; WU, C. C.; CHEN, B. Y. Comparative assessment of azo dyes and nitroaromatic compounds reduction using indigenous dye-decolorizing bacteria. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 04, p. 01-07, 2017.

HUANG, G.; WANG, W., LIU, G. Simultaneous chromate reduction and azo dye decolourization by *Lactobacillus paracase* CL1107 isolated from deep sea sediment. **Journal of Environmental Management**, v. 157, p. 297-302, 2015.

HUNGER, K. **Industrial Dyes: Chemistry, Properties, Applications**. Weinheim: Wiley-VCH, 2003. 660 p.

IMRAN, M.; ARSHAD, M.; NEGM, F.; KHALID, A.; SHAHAROONA, B.; HUSSAIN, S.; NADEEN, S. M.; CROWLEY, D. E. Yeast extract promotes decolorization of azo dyes by stimulating azoreductase activity in *Shewanella* sp. strain IFN4. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 124, p. 42-49, 2016.

IQBAL, M., NISAR, J. Cytotoxicity and mutagenicity evaluation of gamma radiation and hydrogen peroxide treated textile effluents using bioassays. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 03, p. 1912-1917, 2015.

ISARAIN-CHÁVEZ, E.; BARÓ, M. D.; ROSSYNYOL, E.; MORALES-ORTIZ, U.; SORT, J.; BRILLAS, E.; PELLICER, E. Comparative electrochemical oxidation of methyl Orange azo dye using Ti/Ir-Pb, Ti/Ir-Sn, Ti/Ru-Pb, Ti/Pt-Pd and Ti/RuO<sub>2</sub> anodes. **Electrochimica Acta**, v. 244, p. 199-208, 2017.

IYIM, T. B.; ACAR, I.; OZGUMUS, S. Removal of basic dyes from aqueous solutions with sulfonated phenol-formaldehyde resin. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 109, p. 2774-2780, 2008.

JADHAV, U. U.; DAWKAR, V. V.; GHODAKE, G. S.; GOVINDWAR, S. P. Biodegradation of Direct Red 5B, a textile dye by newly isolated *Comamonas* sp. UVS. **Journal of Hazardous Materials**, v. 158, p. 507-516, 2008.

JAGER, D.; KUPKA, D.; VACLAVIKOVA, M.; IVANICOVA, L.; GALLIOS, G. Degradation of Reactive Black 5 by electrochemical oxidation. **Chemosphere**, v. 190, p. 405-416, 2018.

JIN, N.; NING, Y. Laccase production optimization by response surface methodology with *Aspergillus fumigatus* AF1 in unique inexpensive medium and decolorization of different dyes with the crude enzyme or fungal *pellets*. **Journal of Hazardous Material**, v. 262, p. 870-877, 2013.

JONSTRUP, M.; KUMAR, N.; MURTO, M.; MATTIASSON, B. Sequential anaerobic-aerobic treatment of azo dyes: decolourisation and amine degradability. **Desalination**, v. 280, p. 339-346, 2011.

JOUANY, J. P. Methods for preventing, decontaminating and minimizing the toxicity of mycotoxins in feeds. **Animal Feed science and Technology**, c. 17, p. 342-362, 2007.

KANG, F.; GE, Y.; HU, X.; GOIKAVI, C.; WAIGI, M. G.; GAO, Y.; LING, W. Understanding the sorption mechanisms of aflatoxin B1 to kaolinite, illite, and amectite clays via a comparative computational study. **Journal of Hazardous Materials**, v. 320, p. 80-87, 2016.

KASTURY, F.; JUHASZ, A.; BECKMANN, S.; MANEFIELD, M. Ecotoxicity of neutral red (dye) and its environmental applications. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 122, p. 186-192, 2015.

KHATAEE, A.; AKBARPOUR, A.; VAHID, B. Photoassisted electrochemical degradation of an azo dye using Ti/RuO<sub>2</sub> anode and carbon nanotubes containing gas-diffusion cathode. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 45, p. 930-936, 2014.

KHAN, Z. U. H.; KHAN, A.; CHEN, Y.; KHAN, A. U.; SHAH, N. S.; MUHAMMAD, N., MURTAZA, B.; TAHIR, K.; KHAN, F. U.; WAN, P. Photo catalytic applications of gold nanoparticles synthesized by green route and electrochemical degradation of phenolic azo dyes using AuNPs/GC as modified paste electrode. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 725, p. 869-876, 2017.

KLAUCK, C. R.; RODRIGUES, M. A. S.; SILVA, L. B. Toxicological evaluation of landfill leachate using plant (*Allium cepa*) and fish (*Leporinus obtusidens*) bioassays. **Waste Management & Research**, v. 31, p. 1148-1153, 2013.

KRANNER, I.; COLVILLE, L. Metals and seeds: biochemical and molecular implications and their significance for seed germination. **Environmental and Experimental Botany**, v. 72, p. 93-105, 2011.

KIM, B. S.; MARGOLIN, B. H. Statistical methods for the Ames *Salmonella* assay: a review. **Mutation Research**, v. 436, p. 113-122, 1999.

KRANNER, I.; COLVILLE, L. Metals and seeds: biochemical and molecular implications and their significance for seed germination. **Environmental and Experimental Botany**, v. 72, p. 93-105, 2011.

KÜES, U. Fungal enzymes for environmental management. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 33, p. 268-278, 2015.

KUMAR, C. G.; MONGOLLA, P.; JOSEPH, J.; SARMA, V. U.M. Decolorization and biodegradation of triphenylmethane dye, brilliant green, by *Aspergillus* sp. isolated from Ladakah, India. **Process Biochemistry**, v. 47, p. 1388-1394, 2012.

LALA, A. O.; OSO, A. O.; AJAO, A. M.; IDOWU, O. M.; ONI, O. O. Effect of supplementation with molecular or nano-clay adsorbent on growth performance and haematological indices of starter and grower turkeys fed diets contaminated with varying dosages of aflatoxin B<sub>1</sub>. **Livestock Science**, v. 178, p. 209-215, 2015.

LALNUNHLIMI, S.; KRISHNASWAMY, V. Decolorization of azo dyes (Direct Blue 151 and Direct Red 31) by moderately alkaliphilic bacterial consortium. **Brazilian Journal Microbiology**, v. 47, p. 39-46, 2016.

LE, T. X. H.; NGUYEN, T. V.; YACOUBA, Z. A.; ZOUNGRANA, L.; AVRIL, F.; PETIT, E.; MENDRET, J.; BONNIOL, V.; BECHELANY, M.; LACOUR, S.; LESAGE, G.; CRETIN, M. Toxicity removal assessments related to degradation pathways of azo dyes: Toward an optimization of electro-Fenton treatment. **Chemosphere**, v. 161, p. 308-318, 2016.

LEÃO, M. D.; CARNEIRO, E. V.; FERNANDES NETO, M. L. **Controle Ambiental na Indústria Têxtil: Acabamento de Malhas**. 1 ed, v. 1, Minas Gerais: SEGRAC, 2002. 356 p.

LEITE, L. S.; MASELLI, B. S.; UMBUZEIRO, G. A.; NOGUEIRA, R. F. P. Monitoring ecotoxicity of disperse red 1 dye during photo-Fenton degradation. **Chemosphere**, v. 148, p. 511-517, 2016.

LEME, D. M.; MARIN-MORALES, M. A. *Allium cepa* test in environmental monitoring: A review on its application. **Mutation Research**, v. 682, p. 71-81, 2009.

LIU, C.; YOU, Y.; ZHAO, R.; SUN, D.; ZHANG, P.; JIANG, J.; ZHU, A.; LIU, W. Biosurfactant production from *Pseudomonas tawianensis* L1011 and its application in accelerating the chemical and biological decolorization of azo dyes. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 145, p. 8-15, 2017.

LODDER, J. The yeast: a taxonomic study. North Holland Publish Company. 2ed Amsterdam, 1970. 1385 p.

LOPES, J. M.; RUTZ, F.; MALLMANN, C. A.; TOLEDO, G. S. P. Adição de bentonite sódica como adsorvente de aflotoxinas em rações de frangos de corte. **Ciência Rural**, v. 36, n. 05, p. 1594-1599, 2006.

LOWRY, O. H.; ROSEBROUGH, N. J.; FARR, A. L.; RANDALL, R. J. Protein measurement with the Folin phenol reagent. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 193, p. 265-275, 1951.

LUNA, L. A. V.; SILVA, T. H. G., NOGUEIRA, R. F. P.; KUMMROW, F.; BUZEIRO, G. A. Aquatic toxicity of dyes before and after photo-Fenton treatment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 276, p. 332-338, 2014.

MAHMOUD, M. S.; MOSTAFA, M. K.; MOHAMED, S. A.; SOBHY, N. A.; NASR, M. Bioremediation of red azo dye from aqueous solutions by *Aspergillus niger* strain isolated from textile wastewater. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 5, p. 547-554, 2017.

MAKSIMOV, Y. M.; PODLOVCHENKI, B. I. Use of silver adatoms for the determination of the electrochemically active surface area of polycrystalline gold. **Mendeleev Communication**, v. 27, p. 64-66, 2017.

MALACHOVA, K.; RYBROVA, Z.; SEZIMOVA, H.; CERVEN, J.; NOVOTNY, C. Biodegradation and detoxification potential of rotating biological contactor (RBC) with *Irpex lacteus* for remediation of dye-containing wastewater. **Water Research**, v. 47, p. 7143-7148, 2013.

MALDONADO, M. I.; PASSARINHO, P. C.; OLLER, I.; GERNJAK, W.; FERNÁNDEZ, P.; BLANCO, J.; MALATO, S. Photocatalytic degradation of EU priority substances: A comparison between TiO<sub>2</sub> and Fenton plus photo-Fenton in a solar pilot plant. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 185, p. 354-363, 2007.

MANE, U. V.; GURAV, P. N.; DESHMUKH, A. M.; GOVINDWAR, S. P. Degradation of textile dye reactive navy – blue Rx (Reactive Blue 59) by an isolated Actinomycete *Streptomyces krainskii* SUK – 5. **Malaysian Journal of Microbiology**, v. 04, n. 02, p. 1-5, 2008.

MARCANTI-CONTATO, I.; CORSO, C. R.; OLIVEIRA, J. E. Induction of physical paramorfogenesis in *Aspergillus* sp. **Revista de Microbiologia**, v. 28, p. 65-67, 1997.

MARON, D. M.; AMES, B. N. Revised methods for the *Salmonella* mutagenicity test. **Mutation Research**, v. 113, p. 173–215, 1983.

MAZZEO, D. E. C. **Avaliação da viabilidade do lodo de esgoto como recondicionante de solo agrícolas, após processo de atenuação natural, por**

**meio de diferentes bioensaios.** Tese (Doutora em Ciências Biológicas – Biologia Celular e Molecular) Instituto de Biociências, UNESP, Rio Claro.

MEERBERGEN, K.; CRAUWELS, S.; WILLEMS, K. A. DEWIL, R.; IMPE, J. V.; APPELS, L.; LIEVENS, B. Decolorization of reactive azo dyes using a sequential chemical and activated sludge treatment. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, p. 1-6, 2017.

MIWA, A. C. P. **Comparação e avaliação dos métodos colorimétricos utilizados para determinação de proteínas em lagoas de estabilização.** 2003. 133 p. Dissertação (Mestre em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia, USP, São Carlos.

MORAES JR, J. R.; BIDOIA, E. D. Colour degradation of simulates textile effluente by electrolytic treatment and ecotoxicological evaluation. **Water, Air & Soil Pollution**, v. 226, p. 402-407, 2015.

MURUGESAN, K.; DHAMIJA, A.; NAM, I.; KIM, Y.; CHANG, Y. Decolourization of reactive black 5 by laccase: Optimization by response surface methodology. **Dyes and Pigments**, v. 75, p. 176-184, 2007.

MYCOBANK DATABASE. **Aspergillus terreus**. Disponível em: <  
<http://www.mycobank.org/Biolomics.aspx?Table=Mycobank&Rec=2733&Fields=All>>. Acesso em: 15 de maio de 2016.

MYCOBANK DATABASE. **Saccharomyces cerevisiae**. Disponível em: <  
<http://www.mycobank.org/Biolomics.aspx?Table=Mycobank&Rec=425703&Fields=All>>. Acesso em: 11 de setembro de 2017.

NONES, J.; SOLHAUG, A.; ERIKSEN, G. S.; MACUVELE, D. L. P.; POLI, A.; SOARES, C.; TRENTIN, A. G.; RIELLA, H. G., NONES, J. Bentonite modified with zinc enhances aflatoxin B<sub>1</sub> adsorption and increase survival of fibroblasts (3T3) and epithelial colorectal adenocarcinoma cells (Caco-2). **Journal of Hazardous Materials**, v. 337, p. 80-89, 2017.

OLUKANNI, O. D.; OSUNTOKI, A. A.; KALYANI, D. C. GBENLE, G. O. GOVINDWAR, S. P. Decolorization and biodegradation of Reactive Blue 13 by *Proteous mirabilis* LAG. **Journal of Hazardous Materials**, v. 184, p. 290-298, 2010.

PACHECO, M. J.; LOPES, A. M.; CIRÍACO, L.; GONÇALVEZ, I. Degradation of phenols using boron-doped diamond electrodes: A method for quantifying the extent of combustion. **Electrochimica Acta**, v. 53, p. 629-636, 2007.

PANDEY, A.; SINGH, P.; IYENGAR, L. Bacterial decolorization and degradation of azo dyes. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 59, p. 73-84, 2007.

PATHAK, H.; SONI, D.; CHAUHAN, K. Evaluation of *in vitro* efficacy for decolorization and degradation of commercial azo dye RB-B by *Morganella* sp. HK-1 isolated from dye contaminated industrial landfill. **Chemosphere**, v. 105, p. 126-132, 2014.

PELEGRINI, R. T.; FREIRE, R. S.; DURÁN, N.; ZAMORA, P. P.; BERTAZZOLI, R. Photoassisted electrochemical degradation of organic pollutants on a DSA type oxide electrode: process test for a phenol synthetic solution and its application for the E1 bleach Kraft mill effluent. **Environmental Science & Technology**, v. 35, p. 2849-2853, 2001.

PÉREZ-IBARBIA, L.; MAJDANSKI, T.; SCHUBERT, S.; WINDHAB, N.; SCHUBERT, U. S. Safety and regulatory review of dyes commonly used as excipients in pharmaceutical and nutraceutical applications. **European Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 93, p. 264-273, 2016.

PHUGARE, S. S.; KALYANI, D. C.; SUEWASE, S. N.; JADHAV, J. P. Ecofriendly degradation, decolorization and detoxification of textile effluent by a developed bacterial consortium. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 74, p. 1288-1296, 2011.

POLUNIN, K. E.; SOKOLOVA, N. P.; GORBUNOV, A. M.; BULGAKOVA, R. A.; POLUNINA, I. A. FTIR Spectroscopic studies of interactions of stilbenes with silicon dioxide. **Protection of Metals**, v. 44, n. 4, p. 352-357, 2008.

PROCION RED MX-5B. **Sigma-Aldrich**®. Disponível em: <<https://www.sigmaaldrich.com/catalog/search?term=procion+red&interface=All&N=0&mode=match%20partialmax&lang=pt&region=BR&focus=product>>. Acesso em 16 de nov. de 2017.

PUCHANA-ROSETO, M. J.; LIMA, E. C.; ORTIZ-MONSALVE, S.; MELLA, B.; COSTA, D.; POLL, E.; GUTTERES, M. Fungal biomass as biosorbent for the removal Acid Blue 161 aqueous solution. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, p. 4200-4209, 2017.

PUNZI, M.; ANBALAGAN, A.; BORNER, R. A.; SVENSSON, M. M.; JONSTRUP, M.; MATTIASSON, B. Degradation of a textile azo dye using biological treatment followed by photo-Fenton oxidation: Evaluation of toxicity and microbial community structure. **Chemical Engineering Journal**, v. 270, p. 290-299, 2015.

QUAN, X.; ZHANG, X.; XU, H. In-situ formation and immobilization of biogenic nanopalladium into anaerobic granular sludge enhances azo dyes degradation. **Water Research**, v. 78, p. 74-83, 2015.

RACLES, C.; ZALTARIOV, M. F.; IACOB, M.; SILION, M.; AVADANEI, M.; BARGAN, A. Siloxane-based metal-organic frameworks with remarkable catalytic activity in mild environmental photodegradation of azo dyes. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 205, p. 78-92, 2017.

RAMÍREZ, C.; SADAÑA, A.; HERNÁNDEZ, B.; ACERO, R.; GUERRA, R.; GARCIA-SEGURA, S.; BRILLAS, E.; PERALTA-HERNÁNDEZ, J. M. Electrochemical oxidation of methyl orange azo dye at pilot flow plant using BDD technology. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 19, p. 571-573, 2013.

RAWAT, D.; MISHRA, V.; SHARMA, R. S. Detoxification of azo dyes in the context of environmental processes. **Chemosphere**, v. 155, p. 591-605, 2016.

RAWAT, D.; SHARMA, R. S.; KARMAKAR, S.; ARORA, L. S.; MISHRA, V. Ecotoxic potential of a presumably non-toxic azo dye. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 148, p. 528-537, 2018.

RHEDA, Z. M.; YUSUF, H. A.; AHMED, H. A.; FIELDEN, P. R.; GODDARD, N. J.; BALDOCK, S. J. A miniaturized injection-moulded flow-cell with integrated conducting polymer electrodes for on-line electrochemical degradation of azo dye solutions. **Microelectronic Engineering**, v. 169, p. 16-23, 2017.

RIBEIRO, J.; DE ANDRADE, A. R. Characterization of RuO<sub>2</sub>-Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> coated titanium electrode microstructure, morphology, and electrochemical investigation. **Journal of The Electrochemical Society**, v. 151, n. 10, p. 106-112, 2004.

RIBEIRO, L.R.; SALVADORI, D.M.F.; MARQUES, E.K. **Mutagênese Ambiental**. 1 ed. Brasil: ULBRA, 2003, 355 p.

ROBINSON, T.; McMULLAN, G.; MARCHANT, R.; NIGAM, P. Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with proposed alternative. **Bioresource Technology**, v. 77, p. 246-255, 2001.

ROCHA, O. P.; CESILA, C. A.; CHRISTOVAM, E. M.; BARROS, S. B. M.; ZANONI, M. V. B.; OLIVEIRA, D. P. Ecotoxicological risk assessment of the "Acid Black 210" dye. **Toxicology**, v. 376, p. 113-119, 2017.

ROSU, M. C.; COROS, M.; POGACEAN, F.; MAGERUSAN, L.; SOCACI, C.; TURZA, A.; PRUNEANU, S. Azo dyes degradation using TiO<sub>2</sub>-Pt/graphene oxide and TiO<sub>2</sub>-Pt/reduced graphene oxide photocatalysts under UV and natural sunlight irradiation. **Solid State Sciences**, v. 70, p. 13-20, 2017.

SALAZAR, R.; URETA-ZAÑARTU, M. S.; GONZÁLEZ-VARGAS, C.; BRITO, C. N.; MARTINEZ-HUITLE, C. A. Electrochemical degradation of industrial textile dye disperse yellow 3: Role of electrocatalytic material and experimental conditions on the catalytic production of oxidants and oxidation pathway. **Chemosphere**, v. 198, p. 21-29, 2018.

SALVI, N. A.; CHATTOPADHYAY, S. Biocatalysis using Rajma – a green process for the synthesis of chiral carbinols. **Croatian Journal of Food Science and Technology**, v. 09, p. 92-101, 2017.

SAROJ, S.; KUMAR, K.; PAREEK, N.; PRASAD, R.; SINGH, R. P. Biodegradation of azo dyes Acid Red 183, Direct Blue 15 and Direct Red 75 by the isolate *Penicillium oxalicum* SAR-3. **Chemosphere**, v. 107, p. 240-248, 2014.

SEN, A. K.; RAUT, S.; BANDYOPADHYAY, P.; RAUT, S. Fungal decolouration and degradation of azo dyes: A review. **Fungal Biology Reviews**, v. 30, p. 112-133, 2016.

SHABBIR, S.; FAHEEM, M.; ALI, N.; KERR, P. G.; WU, Y. Evaluating role of immobilized periphyton in bioremediation of azo dye amaranth. **Bioresource Technology**, v. 225, p. 395-401, 2017.

SHANMUGAN, B. K.; EASWARAN, S. N.; LAKRA, R.; DEEPA, P. R.; MAHADEVAN, S. Metabolic pathway and role of individual species in the bacterial consortium for biodegradation of azo dye: A biocalorimetric investigation. **Chemosphere**, v. 188, p. 81-89, 2017.

SILVERSTEIN, R. M.; BASSLER, C. G.; MORRILL, T. C. **Identificação Espectrofotométrica de Compostos Orgânicos**, 5ªed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1994, 387p.

SKORIC, M. L.; TERZIC, I.; MILOSAVLJEVIC, N.; RADETIC, M.; SAPONJIC, Z.; RADOICIC, M.; KRUSIC, M. K. Chitosan-based microparticles for immobilization of TiO<sub>2</sub> nanoparticles and their application for photodegradation of textile dyes. **European Polymer Journal**, v. 82, p. 57-70, 2016.

SOBRANE FILHO, S. T. **Adsorvente de micotoxinas em dietas de frangos de corte contendo aflatoxina e fumonisina**. 2014. 59 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Animal) – Faculdade de Engenharia, USP, Ilha Solteira.

SOBRERO, M. S.; RONCO, A. Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga *Lactuca sativa* L. In: ROMERO, P. R.; CANTÚ, A. M. **Ensayos Toxicológicos para la evaluación de sustancias químicas em agua y suelo**. 1 ed, Instituto Nacional de Ecología, Semarnat, México, p. 55-68, 2008.

SOLÍS, M.; SOLÍS, A.; PEREZ, H. I.; MANJARREZ, N.; FLORES, M. Microbial decolourization of azo dyes: a review. **Process Biochemistry**, v. 47, p. 1723-1748, 2012.

SONI, B. D.; PATEL, U. D.; AGRAWAL, A.; RUPARELIA, J. P. Application of BDD and DSA electrodes for the removal of RB 5 in batch and continuous operation. **Journal of Water Process Engineering**, v. 17, p. 11-21, 2017.

TAN, L.; HE, M.; SONG, L.; FU, X.; SHI, S. Aerobic decolorization, degradation and detoxification of azo dyes by a newly salt-tolerant yeast *Scheffersomyces spartinae* TLHS-SF1. **Bioresource Technology**, v. 203, p. 287-294, 2016.

TELKE, A. A.; KADAM, A. A.; JAGTAP, S. S.; JADHAV, J. P.; GOVINDWAR, S. P. Biochemical characterization and potential for textile dye degradation of blue laccase from *Aspergillus ochraceus* NCIM-1146. **Biotechnology and Bioprocess Engineering**, v. 15, n. 4, p. 696-703, 2010.

TROVO, A. G.; HASSAN, A. K.; SILLANPÄÄ, M.; TANG, W. Z. Degradation of Acid Blue 161 by Fenton and photo-Fenton processes. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 13, p. 147-158, 2016.

UMBUZEIRO, G. A.; VARGAS, V. M. F. Teste de mutagenicidade com *Salmonella typhimurium* (Teste de Ames) como indicador de carcinogenicidade em potencial para mamíferos. **Mutagênese Ambiental**. 1 ed. Brasil: ULBRA, 2003, 355 p.

VACCHI, F. I.; VENDEMIATTI, J. A. S.; SILVA, B; F.; ZANONI, M. V. B.; UMBUZEIRO, G. A. Quantifying the contribution of dyes to the mutagenicity of wastewater under the influence of textile activities. **Science of the Total Environemnt**, v. 601-602, p. 230-236, 2017.

VATANDOOSARANI, S.; LOTFABAD, T. B.; HEIDARINASAB, A.; YAGHMAEI, S. Degradation of azo dye methyl red by *Saccharomyces cerevisiae* ATCC 9763. **International Biodegradation & Biodeterioration**, v. 125, p. 62-72, 2017.

VENTURA-CAMARGO, B. C.; MARIN-MORALES, M. A. Azo dyes: characterization and toxicity – a review. **Textile and Light Industrial Science and Technology**, v. 02, p. 85-103, 2013.

VIJAYALAKSHMIDEVI, S. R.; MUTHUKUMAR, K. Improved biodegradation of textile dye effluente by coculture. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 114, p. 23-30, 2015.

VITOR, V.; CORSO, C. R. Decolorization of textile dye by *Candida albicans* isolated from industrial effluents. **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology**, v. 35, p. 1353-1357, 2008.

VOGEL, H. J. A convenient growth medium for *Neurospora* (Medium N). **Microbial Genetics Bulletin**, v. 13, p. 42-43, 1956.

WANG, W.; FREEMARK, K. The use of plants for environmental monitoring and assessment. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 30, p. 289-301, 1995.

WANG, P.; WANG, J. Q.; LI, H.; YANG, H.; HUO, J.; WANG, J.; CHANG, C.; WANG, X.; LI, R. W.; WANG, G. Fast decolorization of azo dyes in both alkaline and acidic solutions by al-based metallic glasses. **Journal of Alloyds and Compounds**, v. 701, p. 759-767, 2017.

YI, H.; MENG, Z. Genotoxicity of hydrated sulfur dioxide on root tips of *Allium sativum* and *Vicia faba*. **Mutation Research**, v. 537, p. 109-114, 2003.

XIN, S.; ZENG, Z.; ZHOU, X.; LUO, W.; SHI, X.; WANG, Q.; DENG, H.; DU, Y. Recyclable *Saccharomyces cerevisiae* loaded nanofibrous mats with sandwich structure constructing via bio-electrospraying for heavy metal removal. **Journal of Hazardous Materials**, v. 324, p. 365-372, 2017.

ZAIA, D. A. M.; ZAIA, C. T. B. V.; LICHTIG, J. Determinação de proteínas totais via espectrofotometria: vantagens e desvantagens dos métodos existentes. **Química Nova**, v. 21, n. 06, p. 787-793, 1998.

ZHANG, W.; LIU, W.; ZHANG, J.; ZHAO, H.; ZHANG, Y.; JIN, Y. Characterisation of acute toxicity, genotoxicity and oxidative stress posed by textile effluent on zebrafish. **Journal of Environmental Sciences**, v. 24, p. 2019-2027, 2012.

ZHANG, J.; ZHANG, Y.; LIU, W.; QUAN, X.; CHEN, S.; ZHAO, H.; JIN, Y.; ZHANG, W. Evaluation of removal efficiency for acute toxicity and genotoxicity on zebrafish in

anoxic-oxic process from selected municipal wastewater treatment plants. **Chemosphere**, v. 90, p. 2662-2666, 2013.

ZHANG, Y., GAO, F., WANJALA, B., LI, Z., CERNIGLIARO, G., GU, Z. High efficiency reductive degradation of a wide range of azo dyes by SiO<sub>2</sub>-Co core-shell nanoparticles. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 199, p. 504-513, 2016.

ZHANG, C.; ZHU, Z.; ZHANG, H. Mg-based amorphous alloys for decolorization of azo dyes. **Results in Physics**, v. 07, p. 2054-2056, 2017.

ZOOROB, G. K.; CARUSO, J. A. Speciation of chromium dyes by high-performance liquid chromatography with inductively coupled plasma mass spectrometric detection. **Journal of Chromatography A**, v. 773, p. 157-162, 1997.

ZUBIETA, C. E.; MESSINA, P. V.; LUENGO, C.; DENNEHY, M.; PIERONI, O.; SCHULZ, P. C. Reactive dyes remotion by porous TiO<sub>2</sub>-chitosan materials. **Journal of Hazardous Materials**, v. 152, p. 765-777, 2008.