



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOQUÍMICA E BIOLOGIA MOLECULAR
BACHARELADO EM BIOTECNOLOGIA**

BRUNO HENRIQUE ALCÂNTARA LOPES DE SOUSA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE *Jatropha curcas* NA DEGRADAÇÃO DE
CORANTES TÊXTEIS**

FORTALEZA

2017

BRUNO HENRIQUE ALCÂNTARA LOPES DE SOUSA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE *Jatropha curcas* NA DEGRADAÇÃO DE
CORANTES TÊXTEIS**

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Biotecnologia do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Biotecnologia.

Orientadora: Prof.^a Dra. Daniele de Oliveira Bezerra de Sousa

Co-orientador: Me. Tiago Deiveson Pereira Lopes

Fortaleza

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S696a Sousa, Bruno Henrique Alcântara Lopes de.
Avaliação do potencial de *Jatropha curcas* na degradação de corantes têxteis / Bruno Henrique Alcântara Lopes de Sousa. – 2017.
56 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências,
Curso de Biotecnologia, Fortaleza, 2017.

Orientação: Prof. Dr. Daniele de Oliveira Bezerra de Sousa.

1. Biorremediação. 2. Fitorremediação. 3. *Jatropha curcas*. I. Título.

CDD 661

BRUNO HENRIQUE ALCÂNTARA LOPES DE SOUSA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE *Jatropha curcas* NA DEGRADAÇÃO DE
CORANTES TÊXTEIS**

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Biotecnologia do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Biotecnologia.

Aprovada em ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dra. Daniele de Oliveira Bezerra de Sousa (Orientadora)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. José Tadeu Abreu de Oliveira

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Me. João Xavier da Silva Neto

Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

A minha família, meu pai Jandir Sampaio de Sousa e a minha mãe Efigênia Maria Lopes de Sousa, por todo o apoio, amor, educação e carinho que me deram ao longo de minha vida. Ao meu irmão André Victor por todos os momentos de descontração e conversas.

A minha querida Tia Avó Maria José, que agora está no céu, rogando por mim, por todo o carinho, amor e lições de vida que me forneceu.

A meu querido Tio Avô Antônio Alcântara, por todo o carinho, amor e dedicação que me deu e ainda dá! Muito obrigado!

A todos os meus amigos: Ana Christina Verissimo (Xis), Ana Carolina Dantas (Carol), Ana Maria do Vale, Aline Melo (Bolha!), Augusto, Beatriz Chaves, Caio Brasil (Pato), Danilo Oriá, Davi Albuquerque, Ewerton, Gabriela Veras, Herbert Miguel, Ingrid Queiroz, Jackson Lima, Matheus Girão, Lucas Lopes, Ramon Correia, Ronieri (Rony), Sara Ferreira Pires, e muitos outros, por todos os momentos de felicidade, descontração, por todas as muitas risadas que demos e pelas que virão.

Agradecimento especial a Patrícia Gomes (Paty), por ter sido uma amiga maravilhosa e praticamente inseparável, obrigado por todas as risadas, dicas e conselhos que você me deu.

Agradeço a professora Daniele por todo o carinho, conselhos e amizade, por ter me acolhido de braços abertos em seu laboratório. Muito obrigado!

Ao professor Tadeu Oliveira, pelas lições de vida e conselhos.

A todos os meus colegas e amigos de Laboratório, por todo o apoio, carinho e amizade que vocês me deram, especialmente ao meu co-orientador Tiago, obrigado por tudo, pela amizade e dedicação.

A persistência é o caminho do êxito.
Charles Chaplin

RESUMO

Em 2011, as indústrias têxteis e de vestuário, juntas, já constituíam a quarta maior atividade econômica no mundo, concentrando 5,7% da produção manufatureira e mais de 14% do emprego mundial. Nesta indústria, o Brasil destaca-se como um dos maiores produtores têxteis e de confecções da América Latina e do mundo. A enorme importância deste setor, entretanto, acaba por levar a certos problemas ambientais. Grande parte das operações de acabamento têxteis utilizam grandes quantidades de água e de reagentes químicos, gerando águas residuais dotadas de vários contaminantes em sua composição, dentre os quais temos diversos corantes têxteis, especialmente os da família azo. A presença de tais corantes provoca diversos problemas dentre os quais pode-se citar a diminuição da capacidade de penetração da luz solar na água bem como em uma diminuição da qualidade desta para consumo, além da possibilidade de muitos degradarem para compostos cancerígenos. Dentre as soluções ambientalmente amigáveis para o problema temos a biorremediação, em especial a fitorremediação. O foco deste trabalho foi a utilização de *Jatropha curcas* no tratamento de efluentes têxteis contaminados por corantes azo. *Jatropha curcas* foi escolhida por ser uma planta bastante resistente a estresses bióticos e abióticos e já comumente empregada em outros programas de biorremediação. Para se verificar a contribuição da planta na descoloração dos corantes, foram selecionadas mudas que foram submetidas ao longo de 15 dias ao contato com os corantes Astrazon Vermelho, Astrazon Amarelo Gold, Levafix Laranja E-3GA e Remazol Azul RGB na concentração de 20 mg/L em solução nutritiva de Hoagland. Foi acompanhado, ao longo dos 15 dias, a diminuição das absorvâncias e, no final, as plantas foram recolhidas para pesagem da massa fresca e obtenção dos extratos brutos para realização de atividade enzimáticas. Soluções em contato com a planta também foram recolhidas para a realização de testes de toxicidade em *Artemia salina*. No final, ficou constatado que as maiores taxas de descoloração efetiva foram para os corantes Astrazon Vermelho e Levafix Laranja. Nos testes enzimáticos foram obtidos resultados variados, podendo-se constatar uma maior atividade da enzima peroxidase nos tecidos foliares e radiculares. Os testes de toxicidade com *Artemia salina* indicaram uma redução na toxicidade das soluções tratadas com *Jatropha curcas*.

Palavras-chave: Corantes. Biorremediação. Fitorremediação. *Jatropha curcas*.

ABSTRACT

In 2011, the textile and clothing industries, together, were already the fourth largest economic activity in the world, concentrating 5.7% of manufacturing production and more than 14% of world employment. In this industry, Brazil stands out as one of the largest textile and clothing producers in Latin America and the world. The enormous importance of this sector, however, eventually leads to certain environmental problems. Most of the textile finishing operations use large quantities of water and chemical reagents, generating wastewater with several contaminants in its composition, among which we have several textile dyes, especially from the azo family. The presence of such dyes causes several problems, among which we can mention the reduction of the penetration capacity of sunlight in the water as well as a decrease in the quality of this for consumption, besides the possibility of many degradation for carcinogenic compounds. Among the environmentally friendly solutions to the problem we have bioremediation, especially phytoremediation. The focus of this work was the use of *Jatropha curcas* in the treatment of textile effluents contaminated with azo dyes. *Jatropha curcas* was chosen because it is a plant very resistant to biotic and abiotic stresses and already commonly used in other bioremediation programs. To verify the contribution of the plant in dye discoloration, seedlings that were submitted to the contact with the stains Astrazon Red, Astrazon Yellow Gold, Levafix Orange E-3GA and Remazol Blue RGB in the concentration of 20 mg/L in Hoagland nutrient solution. During the 15 days, the absorbances were reduced and at the end the plants were collected to weight the fresh mass and obtained the crude extracts to perform enzymatic activities. Solutions in contact with the plant were also collected for toxicity tests on *Artemia salina*. In the end, it was verified that the highest rates of effective discoloration were for the Astrazon Red and Levafix Orange dyes. In the enzymatic tests varied results were obtained, being possible to verify a greater activity of the enzyme peroxidase in the foliar and root tissues. Toxicity tests with *Artemia salina* indicated a reduction in toxicity of solutions treated with *Jatropha curcas*.

Keywords: Dyes. Bioremediation. Phytoremediation. *Jatropha curcas*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Corante Azo Acid Orange 7-----	16
Figura 2 – Corante Azo Remazol Brilliant Blue RGB-----	16
Figura 3 – Experimento para avaliação da capacidade de <i>J. curcas</i> em descolorir corantes têxteis pelo período de 15 dias-----	33
Figura 4 – Eletroforese em gel de poliacrilamida (15%) dos extratos brutos das raízes de <i>J. curcas</i> tratadas ou não com corantes têxteis após o período de 15 dias -----	40
Figura 5 – Eletroforese em gel de poliacrilamida (15%) dos extratos brutos das folhas de <i>J. curcas</i> tratadas ou não com corantes têxteis após o período de 15 dias -----	41
Figura 6 – Eletroforese em gel de poliacrilamida (15%) dos exsudatos das soluções com <i>J. curcas</i> em contato ou não com corantes têxteis após o período de 15 dias-----	42

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Percentagem de descoloração dos corantes Levafix Laranja e Remazol Azul RGB por plantas de <i>J. curcas</i> durante o período de 15 dias-----	31
Gráfico 2 – Percentagem de descoloração dos corantes Astrazon Amarelo Gold e Astrazon Vermelho por plantas de <i>J. curcas</i> , ao longo de 15 dias de experimento. A concentração testada dos corantes foi de 20 mg/L -----	32
Gráfico 3 – Atividade peroxidásica dos extratos brutos de raízes e folhas de <i>J. curcas</i> em contato ou não com corantes têxteis pelo período de 15 dias -----	36
Gráfico 4 – Atividade catalásica dos extratos brutos de raízes e folhas de <i>J. curcas</i> em contato u ou não com corantes têxteis pelo período de 15 dias -----	37
Gráfico 5 – Atividade da superóxido dismutase dos extratos brutos de raízes e folhas de <i>J. curcas</i> em contato ou não com corantes têxteis pelo período de 15 dias -----	38
Gráfico 6 – Atividade lacásica dos extratos brutos de raízes e folhas de <i>J. curcas</i> em contato ou não com corantes têxteis pelo período de 15 dias -----	39
Gráfico 7 – Taxa de mortalidade de <i>Artemia salina</i> após 24 horas de tratamento com soluções de corantes têxteis submetidas ou não ao contato com <i>J. curcas</i> -----	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Massa fresca em (g) de raízes e parte aérea de *J. curcas* após o tratamento de 15 dias com corantes têxteis -----34

Tabela 2 – Dosagem proteica (mgP) por grama de massa fresca (gMF) de raízes e parte aérea de plantas de *J. curcas* após 15 dias de tratamentos com corantes têxteis -----35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Abs	Absorbância
ANOVA	Análise de variância
EDTA	Ácido etilenodiamino tetra-acético
HPLC	Cromatografia líquida de alta performance
NBT	Nitroazul de bromoetileno
mA	Miliampere
PAGE	Eletroforese em gel de poliacrilamida
SDS	Dodecil sulfato de sódio
TEMED	Tetrametiletlenodiamina
t	Toneladas
Tn	Taxa de descoloração natural

SUMÁRIO

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
1.1 Indústria Têxtil	12
1.2 Corantes Têxteis.....	13
1.3 Corantes Azóicos.....	13
1.4 Problemas Ambientais.....	15
1.5 Métodos Físico-químicos para o Tratamento de Efluentes.....	15
1.6 Biorremediação	16
1.7 Fitorremediação	18
1.8 <i>Jatropha curcas</i>	19
2 HIPÓTESE	21
3 PERGUNTAS DE PARTIDA	22
4 OBJETIVOS	23
4.1 Objetivo Geral.....	23
4.2 Objetivos Específicos	23
5 MATERIAIS E MÉTODOS	24
5.1 Materiais	24
5.1.1 <i>Material vegetal</i>	24
5.1.2 <i>Corantes</i>	24
5.1.3 <i>Reagentes químicos</i>	24
5.2 Métodos.....	24
5.2.1 <i>Cultivo de Jatropha curcas</i>	24
5.3 Taxa de Descoloração das Soluções de Corantes Têxteis	26
5.4 Avaliação do Desenvolvimento das Planta	27
5.5 Quantificação de Proteínas	27
5.6 Eletroforese em Gel de Poliacrilamida	27
5.7 Ensaio Enzimáticos	28
5.7.1 <i>Atividade catalásica</i>	28
5.7.2 <i>Atividade peroxidásica</i>	28
5.7.3 <i>Atividade da superóxido dismutase</i>	28
5.7.4 <i>Atividade lacásica</i>	29
5.9 Tratamento Estatístico	30

6 RESULTADOS	31
6.1 Taxa de Descoloração dos Corantes	31
6.2 Avaliação do Desenvolvimento das Plantas	35
6.3 Dosagem Proteica	36
6.4 Atividade Peroxidásica	36
6.5 Atividade Catalásica	37
6.6 Atividade da Superóxido Dismutase	39
6.7 Atividade Lacásica	40
6.8 Eletroforese em Gel de Poliacrilamida	41
6.9 Resultados do Teste de Toxicidade Aguda com <i>Artemia salina</i>	43
7 DISCUSSÃO	45
8 CONCLUSÃO	49
REFERÊNCIAS	50

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 Indústria Têxtil

A produção têxtil foi uma das mais importantes atividades na passagem da manufatura para os processos industriais durante a revolução industrial do século XIX. Em 2011, as indústrias têxteis e de vestuário, juntas, já constituíam a quarta maior atividade econômica no mundo, concentrando 5,7% da produção manufatureira e mais de 14% do emprego mundial (RECH, 2013). Destaca-se neste setor a República da China, particularmente a cidade de Hong Kong, responsável por cerca de 36% das exportações mundiais de produtos têxteis e de vestuário. Comparando-se a evolução e o progresso dessa indústria na Europa, Ásia e na América Latina, pode-se perceber que os cenários econômicos são bastante variados (RECH, 2013).

Neste cenário, o Brasil destaca-se na América Latina e no mundo como um dos maiores produtores têxteis e de confecções, sendo o quinto no segmento têxtil e o quarto no de confecção, com uma produção anual de 2,249 t e 1,271 t, respectivamente (UNIETHOS, 2013). Para se ter uma melhor compreensão da importância de tal setor para a economia nacional, basta saber que, somente em 2011, a indústria têxtil brasileira produziu cerca de US\$ 67,3 bilhões, o equivalente a 5,6% do valor total da indústria nacional de transformação, excluindo-se as atividades de extração mineral e a de construção civil. Desta forma, tal setor constitui-se no maior parque produtivo integrado de fibra, destinada aos mais variados produtos finais, da América Latina (UNIETHOS, 2013). Além disso, dados do Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (2017) indicam que o setor é o segundo maior gerador de empregos e o segundo maior empregador da indústria de transformação. O setor reúne mais de 32 mil empresas, das quais mais de 80% são confecções de pequeno e médio porte, em todo o território nacional. Além disso, ele emprega cerca de 1,7 milhão de brasileiros, sendo que 75% são funcionários do segmento de confecção.

Apesar da enorme importância deste setor, tanto no mundo quanto no Brasil, alguns problemas ambientais podem surgir como consequência de suas atividades. Grande parte das operações de acabamento têxteis utilizam quantidades elevadas de água e de reagentes químicos, gerando efluentes dotados de vários contaminantes em sua composição. Tais efluentes têxteis possuem uma grande carga de compostos orgânicos (amido, dextrinas, gomas, pectinas, álcoois, ácido acético, sabões e detergentes) e de compostos inorgânicos (carbonatos, sulfatos e cloretos).

A presença de substâncias coloridas, nestes efluentes, ocasiona a alteração no grau de turvação e coloração das águas onde tais efluentes são despejados. As principais substâncias coloridas são os corantes têxteis, importantes reagentes na etapa de acabamento de produtos (RECH, 2013).

1.2 Corantes Têxteis

Pode-se definir um corante como sendo um composto colorido que, ao entrar em contato com um suporte, se fixa de forma estável conferindo-lhe cor (GUARATINI *et al.*, 2000). De forma geral, os corantes utilizados para tingimento das fibras têxteis apresentam como estrutura geral duas partes principais: o grupo cromóforo, responsável por conferir cor aos suportes, e uma estrutura responsável pela fixação à fibra (KUNZ *et al.*, 2002). A importância dos corantes para a civilização humana é evidente e bem documentada, sendo os corantes sintéticos extensivamente utilizados na indústria têxtil, gráfica, fotográfica e como aditivos em derivados de petróleo (KUNZ *et al.*, 2002).

Esses compostos são cruciais ao processo de tingimento dos tecidos que representa uma etapa determinante para o sucesso comercial dos produtos têxteis (GUARATINI *et al.*, 2000). Este sucesso não se deve apenas a fatores estéticos de coloração, mas também a fatores como a resistência à exposição prolongada à luz solar, resistência à lavagem e à transpiração. Para conseguir estes efeitos os corantes têxteis devem possuir uma elevada afinidade com as fibras em que são aplicados, elevada resistência aos fatores de desbotamento e o seu uso deve ainda ser interessante do ponto de vista econômico (GUARATINI *et al.*, 2000). Assim, têm sido desenvolvidos milhares de corantes diferentes, sendo que cerca de 10.000 são produzidos em escala industrial, estimando-se que, somente para a indústria têxtil, existam cerca de 2.000 compostos corados (LIMA *et al.*, 2012).

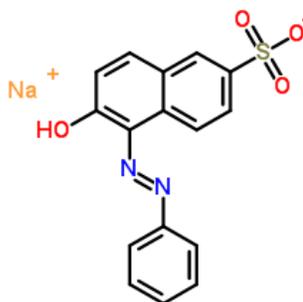
1.3 Corantes Azóicos

Como citado anteriormente, os corantes têxteis podem ser classificados de acordo com a sua estrutura química ou segundo a forma como se ligam às fibras têxteis (GUARATINI *et al.*, 2000). Dentre as famílias de corantes sintéticos mais utilizadas na indústria, a família dos corantes

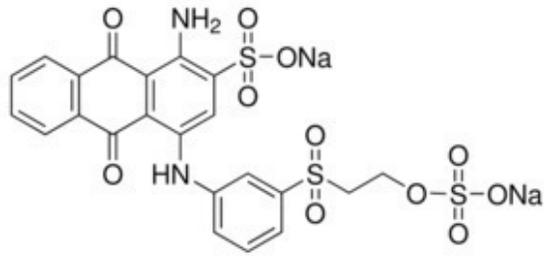
azóicos representa a maioria de todos os corantes produzidos, em torno de 70% do peso total usado mundialmente (PANDEY; SINGH; IYENGAR, 2007). Os Corantes Azóicos são compostos sintetizados diretamente sobre a fibra, apresentando alta resistência à ação da luz e da humidade pela estabilidade da sua fixação a esta. Tais corantes são amplamente utilizados pelas indústrias têxteis, de papel, de alimentos, de couro, de cosméticos e farmacêuticos, sendo classificando em Ácidos; Básicos; Mordazes; Reativos; Dispersos; Diretos; Solventes ou Corantes Alimentares (GUARATINI *et al.*, 2000).

Corantes azo possuem ligações azo (-N=N-), que se constituem em grupos cromóforos que conferem a habilidade de dar cor ao substrato, bem como grupos sulfônicos (-SO₃) em sua estrutura molecular. A presença destas ligações azo, juntamente com as de sulfonato, conferem uma forte natureza oxidativa (de retirada de elétrons) aos corantes (FREIRE, 2013). Tal fato leva a formação de moléculas deficientes em elétrons, reduzindo assim a susceptibilidade das moléculas de corantes azóicos para reações oxidativas. Estas características tornam estas corantes substâncias mais persistentes e recalcitrantes, e, portanto, mais difíceis de serem tratadas (BARRAGAN *et al.*, 2007). Exemplos de corantes azo que serão utilizados no presente trabalho incluem os mostrados nas figuras abaixo (Figuras 1 e 2).

Figura 1 - Corante Azo Acid Orange 21



Fonte: Chempider, 2017

Figura 2 - Corante Azo Remazol Brilliant Blue RGB

Fonte: Chemspider, 2017

1.4 Problemas Ambientais

Como citado anteriormente, grandes quantidades de corantes sintéticos são liberadas, misturadas em águas residuais, pela indústria têxtil anualmente, representando assim uma grave ameaça para a segurança ambiental. A presença de corantes nos efluentes têxteis provoca uma diminuição da capacidade de penetração da luz solar na água, tendo grande impacto negativo no desenvolvimento da fauna e flora marinhas, bem como na qualidade da água para consumo (LIMA *et al.*, 2012). A fraca penetração da luz solar nos cursos de água faz com que as plantas aquáticas não possam realizar a fotossíntese, dificultando assim a produção de oxigênio (O₂). Desta forma, elas passam a realizar a respiração, consumindo O₂ e reduzindo a quantidade disponível deste gás na água. (OLIVEIRA *et al.*, 2012). A carência de oxigênio na água, por sua vez, prejudica o desenvolvimento e a sobrevivência da fauna e da flora aquáticas, gerando impactos em todos os ecossistemas que deles dependam. Além deste fato, estudos tem mostrado que algumas classes de corantes, principalmente corantes azóicos, e seus subprodutos, podem ser carcinogênicos e/ou mutagênicos (KUNZ *et al.*, 2002). Devido a esses diversos problemas ambientais, vários métodos vêm sendo pesquisados para o tratamento dos efluentes têxteis.

1.5 Métodos Físico-químicos para o Tratamento de Efluentes

Vários métodos físico-químicos são utilizados para a remoção de corantes de efluentes têxteis, podendo-se dividi-los em dois grupos principais (TEIXEIRA; JARDIM, 2004; ECKENFELDER, 2000; METCALF; EDDY, 2003):

- Métodos envolvendo transferência de fase: Nestes métodos o contaminante não é destruído, sendo apenas transferido de fase. Embora reduzam significativamente o volume do meio contaminado, estes métodos não resolvem por completo o problema ambiental, pois produzem duas fases distintas, sendo uma de água limpa e outra com o contaminante concentrado que requer um tratamento posterior. São exemplos destes métodos a precipitação, coagulação, floculação, sedimentação, flotação, filtração, adsorção de compostos orgânicos e inorgânicos, centrifugação, destilação e evaporação;

- Métodos oxidativos convencionais: Estes métodos destroem efetivamente o corante, podendo ocorrer por métodos físicos, químicos ou biológicos, destacando-se os tratamentos biológicos, o tratamento com cloro e a incineração como os mais usados (GOGATE, 2004). Nesta categoria, destacam-se os tratamentos biológicos que fazem uso de microrganismos (normalmente bactérias e fungos) para converterem a matéria orgânica em constituintes inorgânicos inócuos. Estes métodos, no entanto, não podem ser usados na degradação de todos os corantes têxteis em decorrência da elevada toxicidade de muitos deles e pelas características do meio em que se encontram, por exemplo o pH e a temperatura, que podem matar a cultura usada no tratamento.

Os métodos físico-químicos, de forma geral, apresentam certas desvantagens. Eles são economicamente inviáveis para o tratamento de grandes quantidades de resíduos (exigindo muita energia e gasto de produtos químicos), eles são incapazes de remover completamente os corantes recalcitrantes do meio (devido à grande estabilidade a degradação por parte dos corantes azo), sem mencionar a geração de poluentes secundários, tais como grandes quantidades de lodo (FORGACS; CSERHATI; OROS, 2004). Desta forma, métodos alternativos de descoloração de efluentes têxteis que não gerem poluentes secundários, que sejam relativamente simples e baratos e que utilizem mecanismos naturais de degradação, estão sendo pesquisados para se resolver tal problema. Dentre estes métodos alternativos destaca-se a biorremediação.

1.6 Biorremediação

Considerando os problemas inerentes as técnicas físico-químicas, especialistas começaram a procurar por métodos de remediação de ambientes contaminados que fossem aceitos publicamente e que tivessem menos complicações relacionadas aos custos de aplicação dos

procedimentos, aos possíveis danos ao meio ambiente, bem como a segurança dos trabalhadores responsáveis pela implementação de tais métodos.

A Biorremediação foi uma dessas soluções e, atualmente, vem ganhando grande repercussão no meio acadêmico. Tal técnica pode ser definida como sendo o processo no qual organismos vivos, normalmente plantas ou microrganismos, são utilizados tecnologicamente para remover ou reduzir (remediar) poluentes no ambiente (GAYLARDE; BELLINASO; MANFIO, 2005). Agindo melhor em xenobióticos que se assemelham a moléculas naturais, tal processo utiliza técnicas de baixo custo, muitas vezes não necessitando de tecnologia de ponta para sua aplicação, além de possuir uma alta aceitação pública.

Entretanto, tal processo nem sempre será apropriado para a completa remediação de um ambiente contaminado. A diversidade de contaminantes no qual esse processo é eficaz ainda é limitada, além disso, o tempo de escalas envolvidos são relativamente longos e os níveis de contaminação residual alcançáveis podem nem sempre serem apropriados para se considerar o ambiente limpo. Embora as metodologias empregadas não sejam tecnicamente complexas, uma considerável experiência pode ser necessária para se projetar e implementar um programa eficiente de biorremediação. Isto se deve a necessidade de se avaliar completamente o local onde tal tratamento será implementado, bem como para se otimizar as condições, visando assim se alcançar um resultado satisfatório (VIDALI, 2001).

As tecnologias de biorremediação podem ser divididas em duas categorias principais: *in situ* e *ex situ*. As tecnologias de tratamento *ex situ* envolvem a remoção física do material contaminado de seu local original para outro onde possam ser tratados. Exemplos de tecnologias *ex situ* incluem os biorreatores, *land farming*, compostagem e tratamentos de fase sólida (SUBASHCHANDRABOSE *et al.*, 2013). Já as tecnologias de tratamento *in situ* baseiam-se na realização do tratamento no local original da contaminação. Tais técnicas dependem da capacidade dos microrganismos escolhidos de realizarem a detoxificação ou destruição dos xenobióticos no local tratado (MEGHARAJ; VENKATESWARLU; NAIDU, 2014).

A capacidade dos microrganismos de realizarem tais atividades, transformando os contaminantes em formas não-tóxicas, ou menos tóxicas, depende principalmente da biodisponibilidade de nutrientes bem como de aceptores e doadores de elétrons. Os dois principais nutrientes necessários para o crescimento microbiano são o nitrogênio e o fósforo, geralmente suplementados por amônio e ortofosfato, enquanto que o principalceptor de elétrons é o oxigênio

(condição aeróbica), utilizando-se aceptores alternativos, tais como nitratos e sulfatos, em condições anaeróbicas (MEGHARAJ; VENKATESWARLU; NAIDU, 2014). Como exemplos de tecnologias *in situ*, temos a fitorremediação, bioestimulação e a bioaumentação (SUBASHCHANDRABOSE *et al.*, 2013). O foco deste trabalho será o uso da fitorremediação na degradação de xenobióticos, no caso, os corantes têxteis mencionados anteriormente.

1.7 Fitorremediação

Dentre as modalidades da biorremediação, temos a fitorremediação que pode ser definida como o uso de plantas na restauração ambiental. Pode referir-se a aplicações que vão desde o tratamento de zonas úmidas até os chamados sistemas de telhados verdes urbanos (PRASAD, 2015). O objetivo principal deste processo, dessa forma, é a redução da massa contaminante no solo e /ou águas subterrâneas. Esta redução de contaminantes pode ser alcançada de diversas formas pelas plantas, dentre as quais destacam-se:

- Rizodegradação: constitui-se na degradação ou transformação de contaminantes presentes na zona da raiz através de processos de co-metabolismo com micróbios ou através de reações enzimáticas, presentes em exsudatos;
- Fitodegradação: configura-se na absorção de contaminantes por plantas, seguida da degradação ou transformação destes em componentes vegetais;
- Fitovolatilização: constitui-se na absorção de contaminantes, seguida de sua translocação para as folhas. Estes por sua vez, são transformados e liberados durante a transpiração;
- Fitoacumulação: absorção seguida de sequestro de contaminantes, que não são modificados, nos tecidos vegetais.

Dentre as vantagens da fitorremediação, pode-se destacar as seguintes: é um processo de menor custo; aplicável no local de contaminação, sendo portanto *in situ*; o solo pode ser reutilizado após o tratamento; é aplicável a um amplo espectro de poluentes, incluindo compostos recalcitrantes; aplicável para grandes áreas, característica que muitas vezes restringi a aplicação de outros tipos de tecnologia de remediação; além disso, pode vir a ser uma solução permanente, caso os poluentes orgânicos, presentes no local, sejam mineralizados; a transferência é mais rápida do que em um processo natural de atenuação; apresenta alta aceitação pública bem como produz um

menor volume de resíduos secundários em relação a outras técnicas (PLETSCH *et al.*, 1999; PRASAD, 2011).

Dentre as desvantagens, pode-se citar o fato de que os processos de fitorremediação tendem a ser mais lentos do que aqueles de outras tecnologias de biorremediação; eles são altamente dependentes da sazonalidade e das características físico-químicas do solo no ambiente a ser tratado; tais processos também irão variar de acordo com a planta usada, principalmente quando os contaminantes apresentam efeitos tóxicos sobre o desenvolvimento desta; eles só podem ser aplicados à superfície do solo ou fluxos de água superficiais e subterrâneas e, por fim, somente são eficazes para contaminantes moderadamente hidrofóbicos (PLETSCH *et al.*, 1999; PRASAD, 2011).

Por fim, com relação aos principais critérios de seleção de plantas para programas de fitorremediação, podemos citar: sua taxa de crescimento, o tamanho do sistema radicular, a capacidade de produção de biomassa da planta, a resistência desta a estresses bióticos e/ou abióticos e, por fim, o fato de não ser comestível (PANDEY *et al.*, 2012). Atualmente, devido a maior necessidade de se achar fontes alternativas de energia em relação ao petróleo, novos critérios vêm sendo considerados sobre as plantas que poderão ser escolhidas para fitorremediação. Atualmente, procura-se uma ligação sinérgica ao se buscar o uso de culturas energéticas potenciais em programas de fitorremediação, dessa forma, gerando novos recursos bioenergéticos ao mesmo tempo em que se realiza a remediação de solo contaminado (PANDEY; BAJPAI; SINGH, 2015). Considerando esses critérios, identifica-se a planta *Jatropha curcas* como um potencial candidato para o tratamento de xenobióticos.

1.8 *Jatropha curcas*

Jatropha curcas, popularmente conhecida como pinhão-mansão, é uma pequena árvore polivalente ou arbusto de porte grande, não comestível e encontrada em regiões tropicais. É uma espécie nativa da América Central, mais especificamente do México, sendo também amplamente distribuída na América do Sul, África Índia e Sudeste Asiático (PANDEY *et al.*, 2012). O pinhão-mansão é uma planta vigorosa, tolerante a seca e a pragas, tendo sabor levemente desagradável para animais e podendo crescer em praticamente todos os ambientes, mesmo em solos marginais, salinos, ácidos ou alcalinos (PANDEY *et al.*, 2012).

Constitui-se em uma planta bastante utilizada para a produção de biodiesel, tendo sua semente cerca de 27-40% de teor de óleo (ACHTEN *et al.*, 2007). Portanto, é cultivada em diversos países visando esta finalidade. Estima-se que um hectare de plantação de *J. curcas* pode produzir em torno de 500 galões de biodiesel por ano a partir de suas nozes físicas, juntamente com mais de 3.500 kg de biomassa residual. A planta, entretanto, não é adequada para uso na fabricação de fertilizantes agrícolas devido ao baixo valor nutritivo e ao alto nível de celulose, hemicelulose e lignina em sua biomassa residual (TONGPOOTHORN *et al.*, 2011).

Diversas pesquisas já a consideram uma planta capaz de ser utilizada em programas de fitorremediação, visto que ela é uma planta bastante resistente, com importância bioenergética e com um sistema radicular bastante desenvolvido. Estudos já constataram sua importância como fitorremediador de solos contaminados por metais pesados (Al, Fe, Cr, Mn, Ar, Zn, Cd e Pb). Outros trabalhos, já confirmaram seu potencial de remediação contra hidrocarbonetos (com modificação orgânica), bem como contaminações de pesticidas (ABHILASH; JAMIL; SINGH, 2009). Levando em consideração as aplicações desta planta para a fitorremediação de xenobióticos e os efeitos danosos das diversas famílias de corantes despejadas sob a forma de águas residuais no ambiente, este trabalho tenta explorar o potencial uso de *Jatropha curcas* na fitorremediação desses compostos sintéticos.

2 HIPÓTESE

Considerando-se o histórico prévio, citado na literatura, de *J. curcas* como uma planta com grande potencial em programa de fitorremediação de diversos xenobióticos, liberados no ambiente, a mesma teria um potencial semelhante de fitorremediação em relação aos corantes têxteis presentes em águas residuais despejadas pela indústria têxtil no meio ambiente.

3 PERGUNTAS DE PARTIDA

Jatropha curcas possui a capacidade de realizar modificações na estrutura dos corantes têxteis presentes nas águas residuais? Em particular dos corantes Azo?

A presença dos corantes têxteis em solução possui a capacidade de induzir a síntese, por estresse, em *Jatropha curcas*, de enzimas oxirredutivas?

Jatropha curcas teria a capacidade de reduzir os efeitos tóxicos dos corantes em solução?

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

Avaliar o potencial do pinhão-manso (*Jatropha curcas*) em degradar corantes têxteis.

4.2 Objetivos Específicos

Estabelecer as melhores condições para a germinação de sementes de pinhão-manso para a obtenção de plântulas;

Realizar ensaios para a avaliação do potencial de plântulas de pinhão-manso em degradar os corantes têxteis Levafix Laranja, Remazol Azul RGB, Astrazon Amarelo e Astrazon Vermelho;

Avaliar o desenvolvimento das plantas através do ganho de biomassa ao longo do experimento com os corantes têxteis;

Avaliar o perfil de enzimas antioxidantes nos tecidos de raízes e folhas de pinhão-manso tratadas ou não tratadas com os corantes têxteis.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Materiais

5.1.1 Material vegetal

Sementes de *Jatropha curcas* foram coletadas de árvores situadas na Fazenda “Tamanduá”, no estado da Paraíba.

5.1.2 Corantes

Os corantes azo utilizados no decorrer dos testes de descoloração foram o Levafix Laranja E-3GA Gran, Remazol Azul RGB, Astrazon Amarelo Ouro e Astrazon Vermelho FBL, todos gentilmente cedidos pela empresa DyStar (Singapura, SG).

5.1.3 Reagentes químicos

Os reagentes químicos Tris (hidroximetil) aminoetano, acrilamida, bisacrilamida, TEMED, lacase, siringaldazina, “Coomassie Brilliant Blue” R-250 e G-250 obtidos da Sigma Aldrich-Co (St. Louis, Mo, EUA). Os marcadores de massa molecular utilizados na eletroforese SDS-PAGE foram obtidos da GE Healthcare (Uppsala, Suécia). Os demais reagentes químicos utilizados foram de grau analítico e obtidos comercialmente.

5.2 Métodos

5.2.1 Cultivo de *Jatropha curcas*

5.2.1.1 Preparo da areia

A areia foi escolhida como substrato devido ao desempenho germinativo da *J. curcas* ser relativamente superior em areia, em comparação aos demais substratos, o que pode ser atribuído à adaptação e ocorrência da espécie em locais com solos arenosos (ARRUDA *et al.*, 2004). A areia foi coletada a partir de solos situados no Campus do Pici da Universidade Federal do Ceará. O

material coletado, inicialmente, passou por um processo de lavagem que englobou as seguintes etapas:

- Peneirou-se a areia para retirada de resíduos sólidos e despejou-se a areia peneirada em um recipiente adequado;
- Uma vez no recipiente, realizou-se um ciclo de 7 a 10 lavagens, utilizando água corrente, para a retirada do excesso de sujeira remanescente;
- Em seguida, a areia ficou exposta ao sol durante um período de 72 horas para secagem;
- A areia seca foi armazenada em sacos plásticos;
- Por fim, foi realizado o processo de autoclavagem da areia a 121 °C e 15 min.

5.2.1.2 Processo de quebra de dormência

A sementes de *J. curcas* foram capazes de germinar naturalmente, sem a necessidade de procedimentos de pré-tratamento para a quebra de dormência, necessitando apenas de substrato arenoso úmido no plantio (MARTINS; MACHADO; CAVASINI, 2008).

5.2.1.3 Desinfestação e germinação das sementes

O processo de desinfestação das sementes foi realizado segundo uma adaptação da metodologia proposta por Da Silva (2013). Inicialmente foi preparada uma solução de hipoclorito de sódio (NaClO) 2% (m/v). As sementes foram mergulhadas nesta solução e deixadas por um período de 10 minutos. Após isso, as sementes foram lavadas 3 vezes com água corrente e, em seguida, lavadas 3 vezes com água destilada para a retirada do excesso de hipoclorito de sódio de sua superfície. Por fim, as sementes foram transferidas para copos de plástico descartáveis contendo areia autoclavada para que fossem germinadas.

5.2.1.5 Cultivo Hidropônico

A solução nutritiva utilizada nas etapas de cultivo hidropônico e testes de degradação foi a solução descrita na metodologia de Hoagland (1950), sendo preparada uma solução estoque (10 vezes concentrada) para futuras diluições.

O cultivo hidropônico foi realizado adaptando a metodologia descrita por Lana e colaboradores (2013). Assim, foram selecionadas as melhores mudas de *Jatropha curcas* que se desenvolveram durante os 15 dias de crescimento em areia. Estas plântulas foram transferidas para erlenmeyers contendo água destilada e solução de Hoagland. Após 7 dias de adaptação ao cultivo hidropônico, as plantas foram colocadas em contato com as soluções contendo os corantes têxteis utilizados.

5.3 Taxa de Descoloração das Soluções de Corantes Têxteis

Nesta etapa, as plântulas foram transferidas do cultivo hidropônico para erlenmeyers contendo 650 mL de uma solução de corantes têxteis 20 mg/L diluídas em solução de Hoagland. Como controle, foram utilizadas plantas submetidas apenas ao contato com solução de Hoagland. Para avaliar a degradação espontânea das moléculas, soluções de corantes têxteis (20 mg/L) foram preparadas sem que houvesse o contato com as plantas (FREIRE, 2013). As plantas permaneceram em contato com essa solução durante um período de 15 dias. Para cada tipo de corante e para o controle foram utilizadas três (n=3) repetições. Ao longo deste período, alíquotas da solução foram coletadas e analisadas em espectrofotômetro NOVAPESC II, Pharmacia LKB, para a determinação das absorbâncias nos seguintes comprimentos de onda: 592 nm para o Remazol Azul RGB (FREIRE, 2013), 480 nm para o Levafix Laranja (KOBYA *et al.*, 2014), 418 nm para o Astrazon Amarelo Gold (SULAK; DEMIRBAS; KOBYA, 2007) e 530 nm para o Astrazon Vermelho (YESILADA; CING; ASMA, 2002). A percentagem de descoloração efetiva foi avaliada de acordo com a fórmula abaixo:

$$\% \text{ descoloração efetiva} = \frac{(\text{Abs}_{\text{inicial}} - \text{Abs}_{\text{final}})}{\text{Abs}_{\text{inicial}}} \times 100 - T_n$$

Sendo $\text{Abs}_{\text{inicial}}$ a absorbância do tratamento no 1º dia, $\text{Abs}_{\text{final}}$ a absorbância no dia que se fez a leitura e T_n a taxa de descoloração natural observada nos controles sem a planta.

5.4 Avaliação do Desenvolvimento das Planta

O desenvolvimento das plantas de *J. curcas*, após o contato com os corantes têxteis, foi avaliado quantificando a massa fresca das plântulas coletadas ao final de 15 dias. Após coleta, a parte aérea das plantas foi separada das raízes. Ambas as partes foram pesadas individualmente e, posteriormente, congeladas em nitrogênio líquido e armazenados em freezer a -20 °C. O líquido contido nos erlenmeyers também foi congelado e armazenado para avaliação do perfil eletroforético das proteínas exsudadas pelas plantas tratadas e não tratadas com corantes têxteis.

5.5 Quantificação de Proteínas

A dosagem de proteínas solúveis foi realizada pelo método de Bradford (1976). A uma alíquota de 100 µL do material a ser quantificado foram adicionados 2,5 mL do reagente de Bradford. A mistura foi levemente agitada e, após 15 minutos, foram realizadas leituras das absorvâncias a 595 nm em espectrofotômetro NOVAPESC II, Pharmacia LKB. A concentração foi estimada em relação a uma curva padrão obtida utilizando diferentes concentrações de Albumina Sérica Bovina (BSA).

5.6 Eletroforese em Gel de Poliacrilamida

O perfil eletroforético dos extratos brutos da raiz e da parte aérea, bem como dos exsudatos, foi analisado segundo a metodologia descrita por Laemmli (1970), adaptada para o uso de placas medindo 10,0 por 8,00 cm. O gel de aplicação encerrava 5% (m/v) de acrilamida e 1% (m/v) de SDS, preparado em tampão Tris-HCL 1,0 M pH 6,8 enquanto que o gel de separação continha 15% (m/v) de acrilamida e 1% (m/v) de SDS, sendo preparado em tampão Tris-HCL 1,5 M pH 8,8. Amostras (extrato bruto e de exsudato) passaram por um processo de ressuspensão. O preparo das amostras foi realizado através da ressuspensão e diluição das amostras em tampão de amostra 2x concentrado, sendo acrescentado em torno de 15 µL de tampão de amostra aos microtubos contendo os extratos brutos e exsudatos. Em seguida, antes da aplicação no gel, as amostras foram aquecidas a 100 °C durante 5 min e depois submetidas a uma centrifugação a 10000 x g, durante 10 min, a 4° C. um total de 15 ug das amostras foram então aplicadas no gel, o qual

foi submetido a uma corrente de 20 mA, durante 50 min. As bandas proteicas foram visualizadas por Coomassie coloidal (Blue Silver), segundo a metodologia descrita por Wang e Li (2007).

5.7 Ensaios Enzimáticos

5.7.1 Atividade catalásica

A atividade da catalase (CAT) foi realizada seguindo a metodologia URBANEK *et al.*, 1991. A enzima catalase produz a transformação do H₂O₂ em água e oxigênio. Em um tubo de ensaio foi preparado o meio reacional contendo 600 µL de tampão fosfato de potássio (75 mM, pH 7,0), 300 µL de extrato vegetal e 100 µL de peróxido de hidrogênio (112,5 mM). O tubo de ensaio foi então encubado a 30°C por 10 minutos. Ao fim deste período, foram realizadas leituras a 240 nm, em intervalos de 10 segundos por 60 segundos. A atividade foi calculada com base no coeficiente de extinção molar 36.000 mM⁻¹ cm⁻¹. Os resultados foram inicialmente expressos em µM de H₂O₂ consumido por miligrama de proteína solúvel (µM H₂O₂/mg de proteína) sendo convertidos posteriormente para UA/gMF. O ensaio foi realizado em triplicata.

5.7.2 Atividade peroxidásica

A atividade peroxidásica do extrato foi determinada segundo Urbanek e colaboradores (1991), utilizando-se como meio de reação: 500 µL de guaiacol 20 mM (VETEC; 97% v/v); 500 µL de H₂O₂ 60 mM (VETEC, P.A.); 100 µL de amostra (mantida em banho de gelo) e 900 µL de tampão acetato de sódio 50 mM, pH 5,2. A reação foi acompanhada, durante 5 minutos, com intervalos de 30 segundos, a 30 °C, em espectrofotômetro do tipo NOVAPESC II, Pharmacia LKB, a 480 nm. Para o cálculo, uma unidade da atividade peroxidásica foi considerada a oxidação de 1 µmol de guaiacol em 1 minuto nas condições de ensaio, equivalendo a uma unidade de absorbância. Os resultados obtidos foram expressos em unidades de atividade (UA) por grama de massa fresca (UA/gMF). O ensaio foi realizado em triplicata

5.7.3 Atividade da superóxido dismutase

A atividade de superóxido dismutase (SOD) foi determinada segundo o método utilizado por Von Rossum e colaboradores (1997), adaptado para uso em micropoços de placas do tipo ELISA. O meio reacional utilizado foi constituído de 10 µL de tampão fosfato de potássio 1 M, pH 7,8 contendo 20 µL de EDTA 1 mM, 10 µL de Triton X-100 0,25% (m/v), 20 µL de L-metionina 130 mM, 100 µL da amostra, 20 µL de nitroazul de tetrazólio (NBT) 750 µM e 20 µL de riboflavina 100 mM, usando 100 µL de água deionizada como controle negativo. O meio reacional foi deixado em repouso, protegido da luz por 5 min antes de se fazer a primeira leitura. As leituras foram feitas a 630 nm, com intervalos de 1 minuto, com um total de 5 minutos de reação, alternadas por períodos em câmara luminosa. Uma unidade de SOD foi definida como a quantidade de enzima necessária para inibir em 50% a fotoredução em relação ao controle positivo, do NBT à formazana azul. (BEAUCHAMP; FRIDOVICH, 1971). Os resultados obtidos foram expressos em unidades de atividade (UA) por grama de massa fresca (UA/gMF). O ensaio foi realizado em triplicata.

5.7.4 Atividade lacásica

A determinação da atividade lacásica dos extratos foi feita de acordo com o método descrito por Manole e colaboradores (2008), com adaptações, utilizando-se como meio reacional: 2,20 mL de tampão fosfato de potássio 50 mM, pH 7,0 e 500 µL de amostra, usando como controle positivo 500 µL de uma solução de lacase com 25-50 U/mL (L2157-10KU Sigma). A reação foi iniciada pela adição de 300 µL de siringaldazina (S7896 Sigma) 0,216 mM em metanol 100% (m/v), que foi utilizada como substrato. A reação foi acompanhada, durante 10 minutos, a 30 °C em espectrofotômetro do tipo NOVAPESC II, Pharmacia LKB, a 530 nm. Uma unidade de atividade corresponde a quantidade de enzima capaz de converter 1 µmol de siringaldazina em pH 7,0 a 25 °C. Os resultados obtidos foram expressos em unidades de atividade (UA) por grama de massa fresca (UA/gMF). O ensaio foi realizado em triplicata.

5.8 Teste de Toxicidade Aguda com *Artemia salina*

Os ensaios de toxicidade aguda foram realizados conforme método modificado de Matthews (1995). Cistos de *Artemia salina* foram incubados durante 48 horas em solução de sal

marinho sintético (30 g/L), com aeração e iluminação constantes (1000 lux) e à temperatura de 25 °C. Após a eclosão, dez larvas do microcrustáceo foram incubadas em tubos de ensaio durante 24 horas à 25 °C, na presença de luz, em 1 mL de amostras de exsudatos obtidos ao final do período de 15 dias, tanto para os tratamentos com *J. curcas* quanto para os controles sem a planta. Controles negativos foram conduzidos paralelamente usando solução nutritiva de Hoagland, para se verificar a toxicidade desta para o microcrustáceo. Após 24 horas de incubação, foi feita a contagem do número de larvas mortas. Para cada tratamento testado foram realizadas 4 replicatas com 10 larvas em cada. As larvas foram consideradas mortas quando não exibiram nenhum tipo de movimento durante 20 segundos de observação.

5.9 Tratamento Estatístico

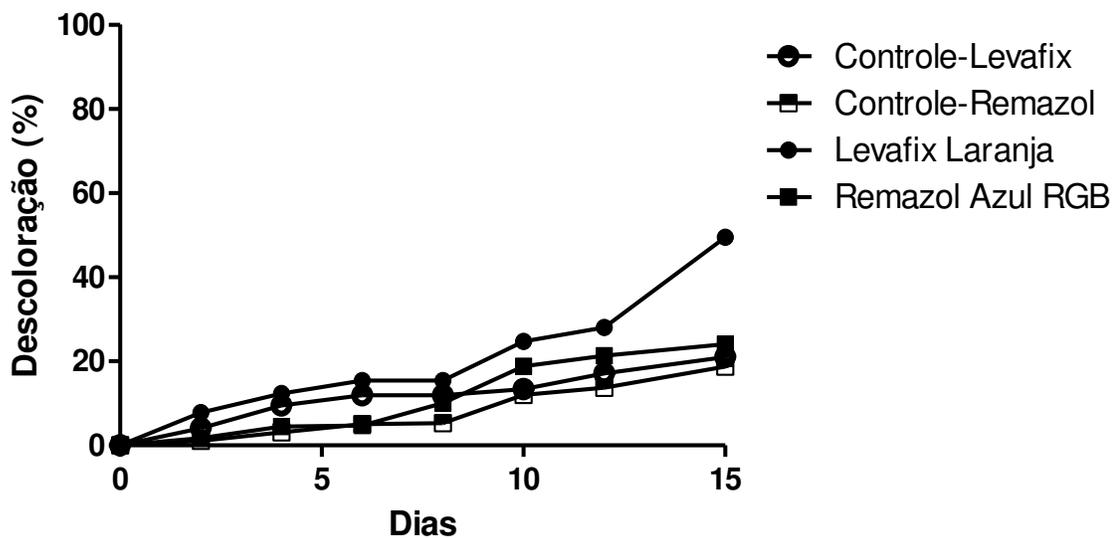
Os valores obtidos foram analisados com o auxílio do programa GraphPad Prism 5, utilizando análise de variância one-way (ANOVA) com teste de Tukey-Kramer de comparações múltiplas ($p < 0,05$).

6 RESULTADOS

6.1 Taxa de Descoloração dos Corantes

A partir do primeiro dia do experimento para a avaliação do potencial de *J. curcas* em descolorir soluções de corantes têxteis foram feitas medições das absorvâncias dessas soluções ao longo dos 15 dias de tratamento. A absorvância observada no primeiro dia de experimento foi considerada como sendo 100% de coloração. As taxas totais de descoloração (diferença entre o valor de 100% e o valor final de absorvância) para os corantes Levafix Laranja E-3GA e Remazol Azul RGB, após os 15 dias de contato com *J. curcas*, foram de 49,44% e 24,09%, respectivamente (Gráfico 1). Entretanto, quando foram analisados os valores de absorvância referentes à degradação natural desses corantes, ou seja, controles sem o contato com as plantas de *J. curcas*, foram observadas percentagens de 21,01% para o Levafix Laranja E-3GA e 18,77% para o Remazol Azul RGB. Assim, efetivamente as taxas de degradação para estes corantes foram de 28,43% e 5,32%, respectivamente. Com relação aos corantes Astrazon Vermelho e Astrazon Amarelo foram observados percentuais de descoloração de 57,70% e 33,20%, respectivamente (Gráfico 2). Entretanto, após descontados os valores referentes à degradação espontânea dos corantes (controles), foram obtidos valores de 23,1% para o corante Astrazon Vermelho e 7,80% para o Astrazon Amarelo.

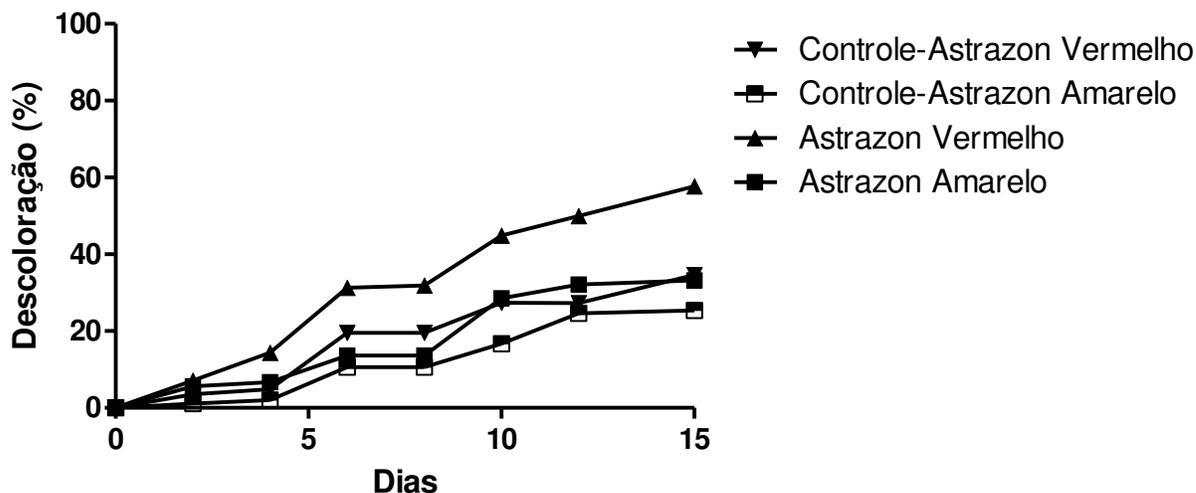
Gráfico 1 - Percentagem de descoloração dos corantes Levafix Laranja e Remazol Azul RGB por plantas de *Jatropha curcas* durante o período de 15 dias. A concentração testada dos corantes foi de 20 mg/L.



Fonte: Próprio Autor.

Porcentagem calculada com dados de absorvância em espectrofotômetros de alíquotas de cada solução de corante, no decorrer de 15 dias em contato com as raízes de *J. curcas*. Os comprimentos de onda de máxima absorção foram: Levafix Laranja E-3GA (480 nm) e Remazol Azul RGB (592 nm).

Gráfico 2 - Percentagem de descoloração dos corantes Astrazon Amarelo Gold e Astrazon Vermelho por plantas de *Jatropha curcas*, ao longo de 15 dias de experimento. A concentração testada dos corantes foi de 20 mg/L.

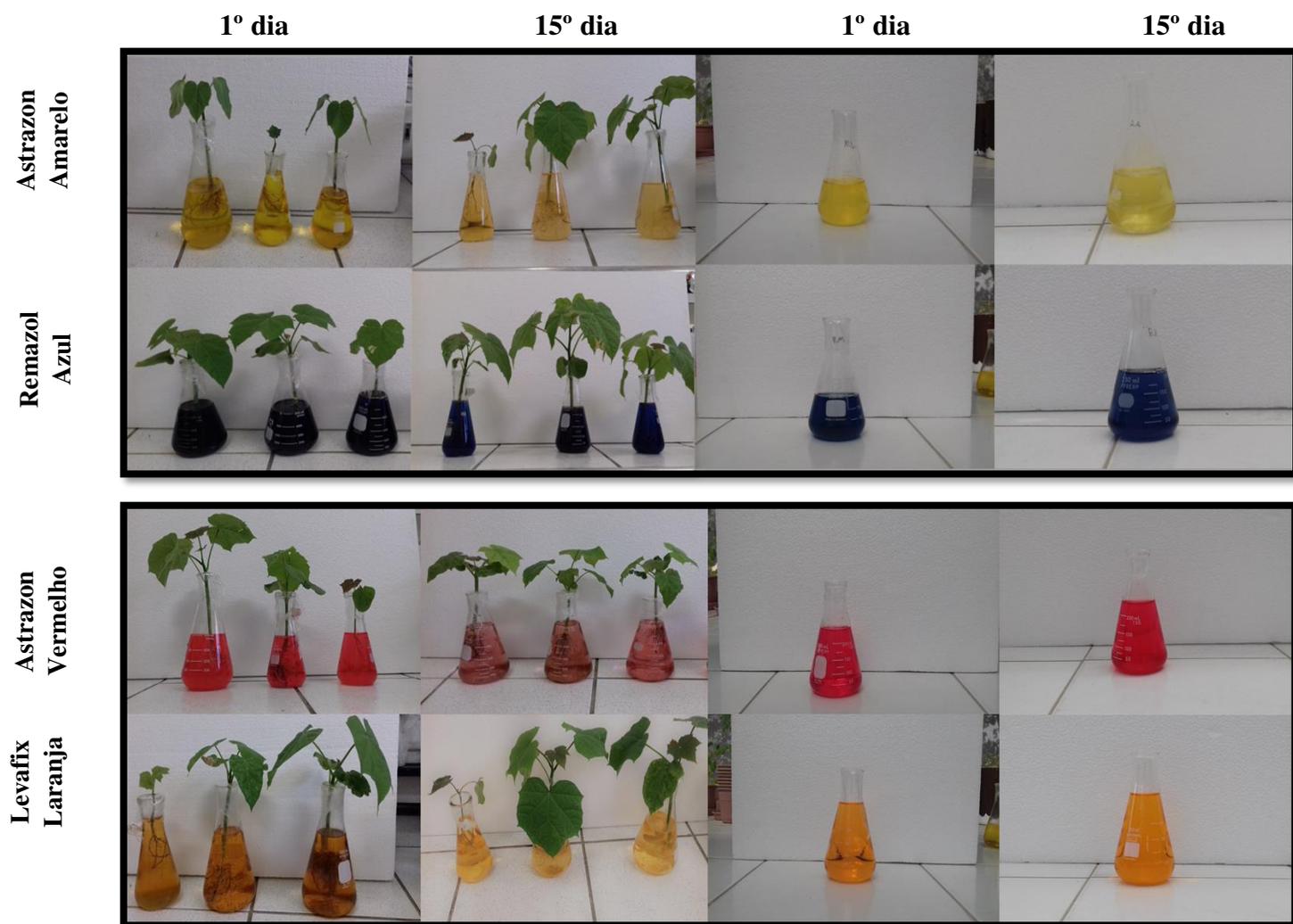


Fonte: Próprio Autor

Porcentagem calculada com dados de leitura em espectrofotômetros de alíquotas de cada solução de corante, no decorrer de 15 dias em contato com as raízes de *Jatropha curcas*. Os comprimentos de onda de máxima absorção foram: Astrazon Amarelo Gold (418 nm) e Astrazon Vermelho (530 nm). A concentração do corante foi de 20 mg/L.

A Figura 3 mostra o experimento para a avaliação da capacidade de *J. curcas* em descolorir soluções de corantes têxteis ao longo dos 15 dias de experimento. Para alguns tratamentos, como o Astrazon Vermelho e Levafix Laranja, é possível a visualização da redução da coloração provocada pelas plantas.

Figura 3 – Capacidade de *J. curcas* em descolorir corantes têxteis pelo período de 15 dias.



Fonte: Próprio autor

Da esquerda para a direita: Tratamentos 1° e 15° dia, controle 1° e 15° dia. Cada tratamento foi realizado em triplicata.

6.2 Avaliação do Desenvolvimento das Plantas

Os resultados da massa fresca das raízes e parte aérea (caule e folhas) estão mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 -Massa fresca em (g) de raízes e parte aérea de *J. curcas* após contato de 15 dias com corantes têxteis

Amostra	Raiz (g)	Parte aérea (g)	Relação parte aérea/raiz
Controle	2,56 ± 0,37 ^a	5,26 ± 0,68 ^a	2,06 ± 0,32 ^a
Levafix Laranja E-3GA	2,80 ± 0,42 ^a	9,27 ± 0,63 ^b	3,70 ± 0,53 ^b
Remazol Azul RGB	3,20 ± 0,54 ^a	9,12 ± 0,54 ^b	2,96 ± 0,16 ^b
Astrazon Vermelho	2,60 ± 0,16 ^a	6,60 ± 0,28 ^a	2,54 ± 0,18 ^a
Astrazon Amarelo Gold	1,51 ± 0,13 ^b	4,33 ± 0,53 ^a	2,80 ± 0,32 ^a

Fonte: Próprio Autor

Os resultados foram expressos como média ± desvio padrão da média. Cada tratamento possuía 3 replicatas. As plantas foram pesadas após serem cultivadas por 15 dias em solução nutritiva contendo 20 mg/L de corante têxtil. Letras diferentes representam grupos que diferiram do controle pelo teste de Tukey-Kramer. (p<0,05)

Os dados referentes a massa fresca das raízes de plantas de *J. curcas* (Tabela 1), ao final dos 15 dias de experimento, mostraram que somente as raízes de plantas tratadas com Astrazon Amarelo Gold apresentaram menor massa em comparação com as plantas controle. As raízes das plantas submetidas aos demais tratamentos não apresentaram diferença de massa quando comparadas às plantas controle.

Em relação a parte aérea (Tabela 1), as plantas tratadas com os corantes Levafix Laranja E-3GA e Remazol Azul RGB apresentaram massa superior ao das plantas controle. Os demais tratamentos não diferiram em relação aos valores obtidos para o controle.

As relações parte aérea/raiz para todos os tratamentos e o controle mostraram que houve maior desenvolvimento da parte aérea em relação às raízes. Essas relações foram superiores para as plantas tratadas com os corantes Levafix Laranja E-3GA e Remazol Azul RGB).

6.3 Dosagem Proteica

Os resultados do teor de proteínas (mgP) por massa fresca (gMF) do material coletado (raízes e parte aérea) após os 15 dias de experimento estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Teor de proteína (mgP) por grama de massa fresca (gMF) de raízes e parte aérea de plantas de *J. curcas* após 15 dias de tratamentos com corantes têxteis

Amostra	Raiz (mgP/gMF)	Parte aérea (mgP/gMF)
Controle	0,76 ± 0,21 ^a	2,78 ± 0,31 ^a
Levafix Laranja E-3GA	0,50 ± 0,23 ^a	0,93 ± 0,24 ^b
Remazol Azul RGB	0,91 ± 0,22 ^a	1,48 ± 0,30 ^b
Astrazon Vermelho	1,15 ± 0,21 ^b	0,78 ± 0,25 ^b
Astrazon Amarelo Gold	4,97 ± 0,24 ^c	5,30 ± 0,31 ^c

Fonte: Próprio Autor

Os resultados foram expressos como média ± desvio padrão da média. A dosagem proteica seguiu a metodologia de Bradford (1976). Cada tratamento possuía 3 replicatas. Letras diferentes representam grupos que diferiram pelo teste de Tukey-Kramer. ($p < 0,05$)

Os resultados mostraram que, na quantificação de proteínas por massa fresca da raiz, os tratamentos com os corantes Astrazon Vermelho e Astrazon Amarelo Gold apresentaram maior teor de proteína em relação ao controle, sendo que o maior valor foi obtido para a planta em contato com o corante Astrazon Amarelo Gold (Tabela 2).

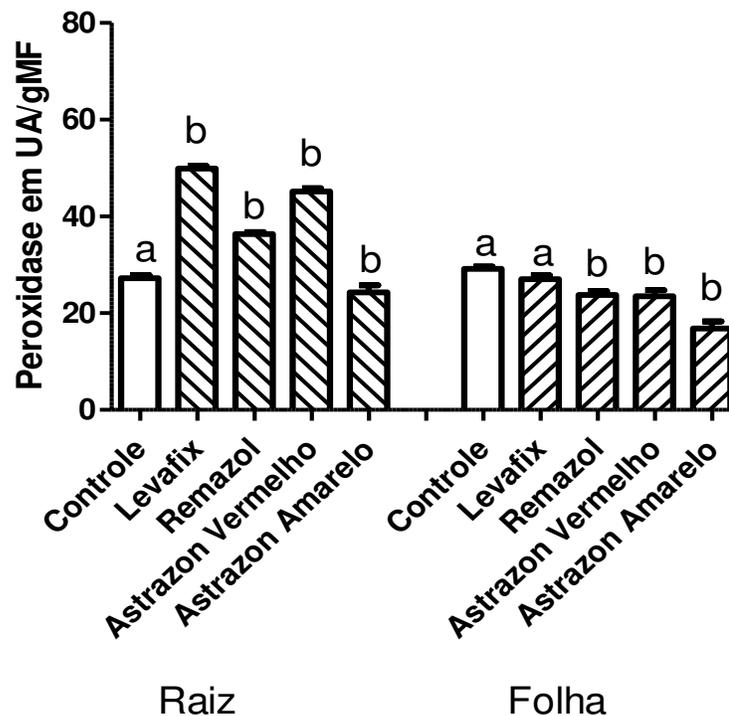
Em relação a parte aérea (Tabela 2), todos os tratamentos diferiram em relação ao controle, sendo que o contato com os corantes Levafix Laranja E-3GA, Remazol Azul RGB e Astrazon Vermelho ocasionou uma redução no teor de proteínas nos tecidos foliares. O contato com o corante Astrazon Amarelo Gold, por sua vez, resultou num aumento da quantidade de proteínas solúveis quando comparado ao controle.

6.4 Atividade Peroxidásica

Os resultados da atividade peroxidásica (Gráfico 3) mostraram que, de maneira geral, as raízes apresentaram teores de peroxidase superiores aos encontrados para folhas. Analisando as raízes separadamente, pôde-se observar que, os extratos brutos de plantas em contato com os corantes Levafix Laranja E-3GA, Remazol Azul e Astrazon Vermelho, apresentaram atividade

específica diferente e superior ao controle (27,22 UA/gMF), sendo que somente o Astrazon Amarelo apresentou valor levemente inferior. Os valores obtidos para a atividade específica foram de (49,88 UA/gMF); (36,36 UA/gMF); (45,19 UA/gMF); (24,32 UA/gMF), respectivamente. Já a análise das folhas mostrou que todas as plantas em contato com os corantes apresentaram teores de peroxidase inferiores ao controle, sendo que o contato com o corante Levafix Laranja E-3GA foi o único que ocasionou teor de peroxidase, nesse tecido, semelhante ao controle, apresentando valor de (27,00 UA/gMF) na atividade (Gráfico 3).

Gráfico 3 - Atividade peroxidásica dos extratos brutos de raízes e folhas de *J. curcas* em contato ou não com corantes têxteis pelo período de 15 dias



Fonte: Próprio Autor

As colunas representam a média \pm desvio-padrão da média.

Letras diferentes representam valores que diferiram pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 0,05$)

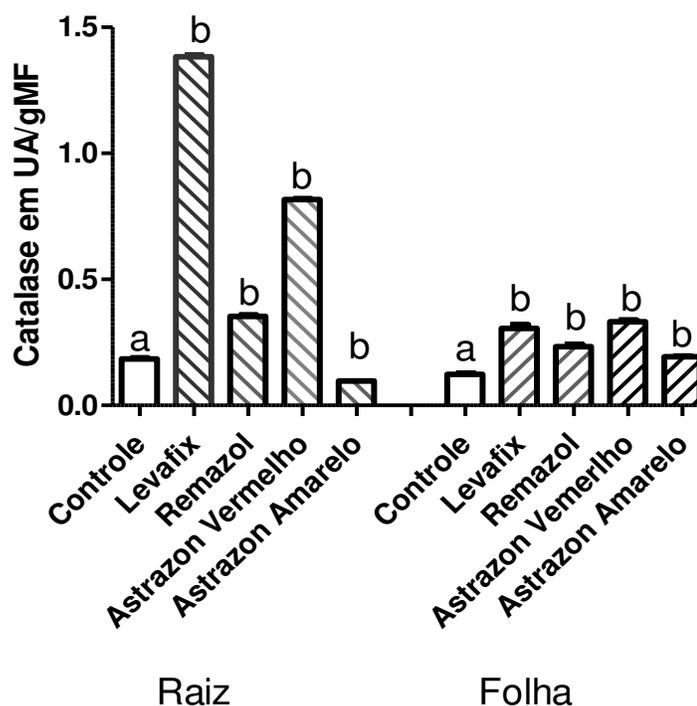
6.5 Atividade Catalásica

Como observado para a atividade peroxidásica, as raízes apresentaram valores de atividade superiores. Os corantes Levafix Laranja E-3GA e Astrazon Vermelho apresentaram os maiores teores de atividade catalásica de (1,38 UA/gMF) e (0,81 UA/gMF), respectivamente,

quando comparadas com as plantas controle (0,18 UA/gMF). Os demais resultados foram de (0,35 UA/gMF) e 0,09 (UA/gMF) para as raízes de plantas em contato com os corantes Remazol Azul e Astrazon Amarelo, respectivamente (Gráfico 4).

Com relação a parte aérea, todas as plantas em contato com os corantes apresentaram teores diferentes e superiores de atividade catalásica em relação às plantas controle (0,12 UA/gMF), sendo que as plantas em contato com Levafix Laranja (0,30 UA/gMF) e Astrazon Vermelho (0,33 UA/gMF) apresentaram os maiores valores. Os valores observados para a plantas em contato com os corantes Remazol Azul e Astrazon Amarelo foram de (0,23 UA/gMF) e (0,19 UA/gMF), respectivamente. A análise de todos os valores obtidos permite evidenciar que a atividade catalásica da maioria dos extratos brutos dos tecidos foliares foram inferiores em relação aos radiculares, a exceção sendo para raízes em contato com Astrazon Amarelo Gold (Gráfico 4).

Gráfico 4 - Atividade catalásica dos extratos brutos de raízes e folhas de *J. curcas* em contato ou não com corantes têxteis pelo período de 15 dias



Fonte: Próprio Autor

As colunas representam a média \pm desvio-padrão da média.

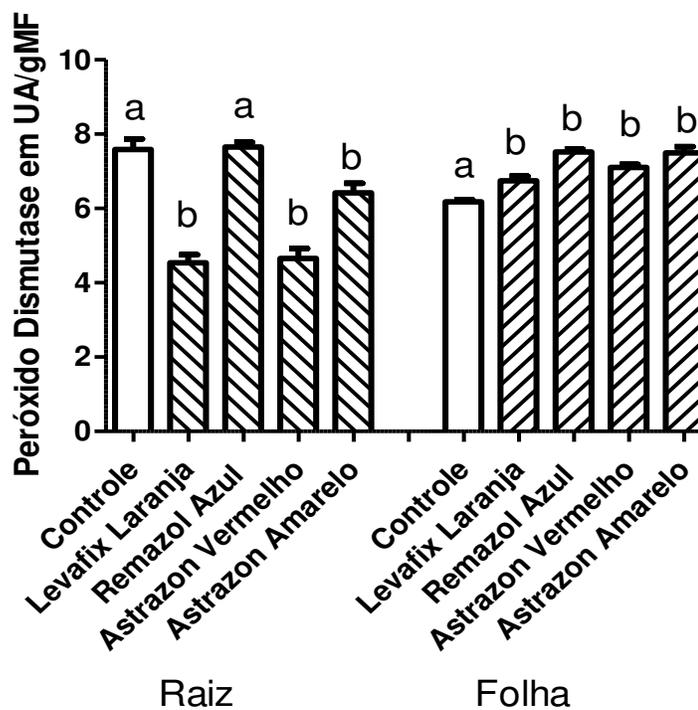
Letras diferentes representam valores que diferiram pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 0,05$)

6.6 Atividade da Superóxido Dismutase

A atividade de superóxido dismutase observada para as raízes de plantas em contato com os corantes têxteis foi, em geral, menor do que a observada para o controle (7,58 UA/gMF), sendo o que o corante Remazol Azul (7,65 UA/gMF) apresentou atividade semelhante ao controle. Os demais valores obtidos para os tecidos radiculares foram de (4,53 UA/gMF), (4,65 UA/gMF) e de (6,42 UA/gMF) para as raízes em contato corantes Levafix Laranja, Astrazon Vermelho e Astrazon Amarelo Gold, respectivamente (Gráfico 5).

Com relação aos tecidos foliares, as plantas em contato com os corantes apresentaram atividade da superóxido dismutase ligeiramente superior àquela observada para o controle (6,18 UA/gMF). Os valores obtidos para as folhas das plantas em contato com os corantes Levafix Laranja E-3GA, Remazol Azul e Astrazon Vermelho e Astrazon Amarelo Gold, foram de (6,70 UA/gMF), (7,52 UA/gMF), (7,10 UA/gMF) e (7,49 UA/gMF), respectivamente (Gráfico 5).

Gráfico 5 - Atividade da superóxido dismutase dos extratos brutos de raízes e folhas de *J. curcas* em contato ou não com corantes têxteis pelo período de 15 dias



Fonte: Próprio autor

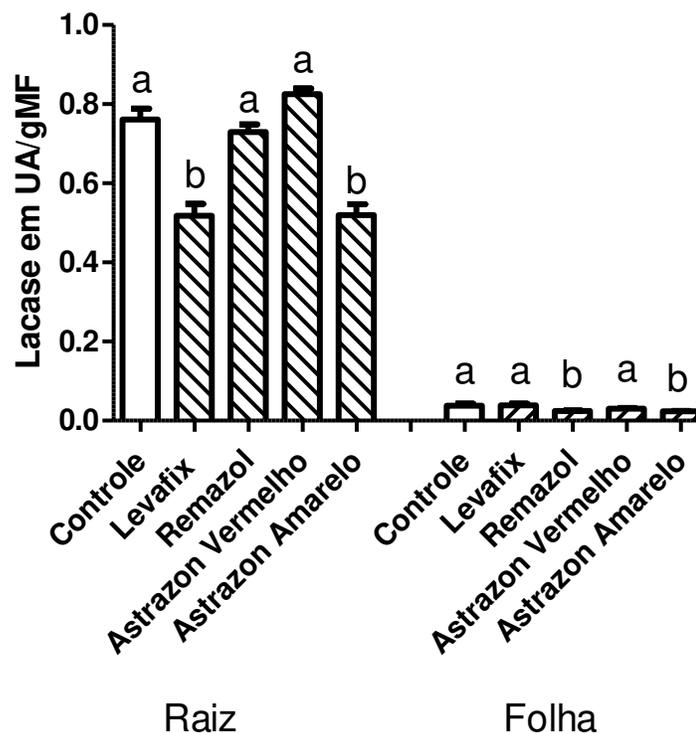
As colunas representam a média \pm desvio-padrão da média.

Letras diferentes representam valores que diferiram pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 0,05$)

6.7 Atividade Lacásica

A atividade lacásica observada, em geral, foi bem superior nos tecidos radiculares do que nas folhas, onde foi praticamente ausente. As raízes de plantas em contato com os corantes Levafix Laranja E-3GA e Astrazon Amarelo Gold apresentaram valores diferentes do controle (0,761 UA/gMF), apresentando valores de (0,518 UA/gMF) e de (0,519 UA/gMF) respectivamente. Os valores obtidos para os corantes Remazol Azul (0,729 UA/gMF) e Astrazon Vermelho (0,825 UA/gMF) foram semelhantes aos do controle. Os valores para os tecidos foliares foram de (0,039 UA/gMF), (0,024 UA/gMF), (0,030 UA/gMF) e (0,023 UA/gMF) para as plantas em contato com os corantes Levafix Laranja, Remazol Azul, Astrazon Vermelho e Astrazon Amarelo, respectivamente (Gráfico 6).

Gráfico 6 – Atividade lacásica dos extratos brutos de raízes e folhas de *J. curcas* em contato ou não com corantes têxteis pelo período de 15 dias



Fonte: Próprio autor

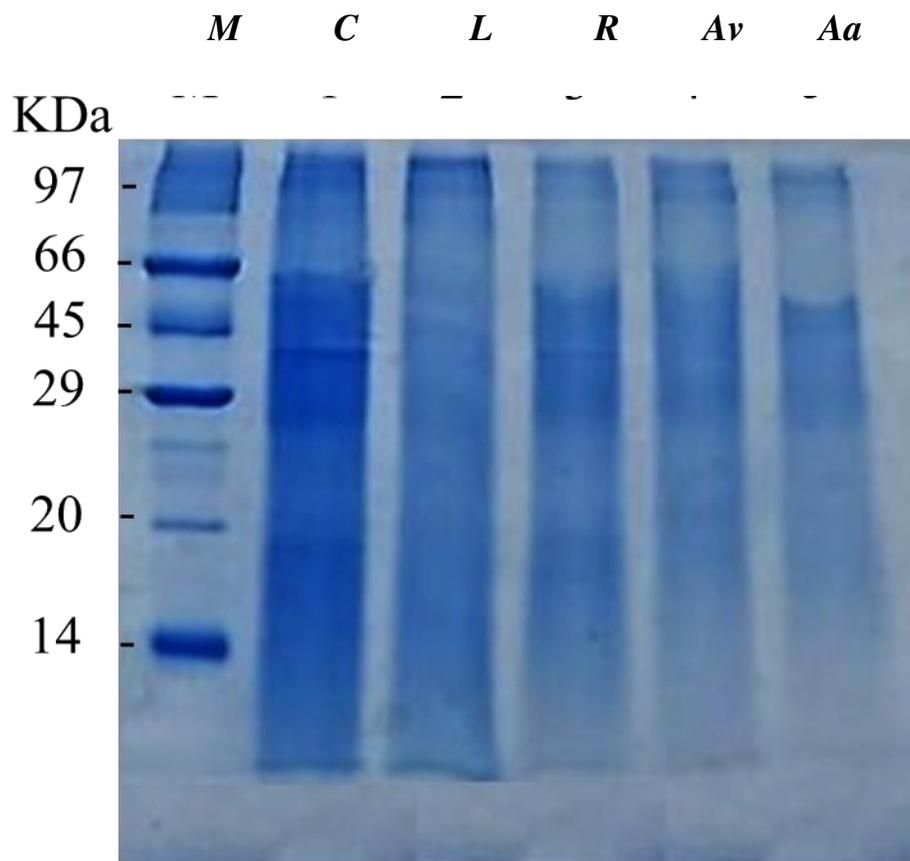
As colunas representam a média \pm desvio-padrão da média.

Letras diferentes representam valores que diferiram pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 0,05$)

6.8 Eletroforese em Gel de Poliacrilamida

Eletroforeses em gel de poliacrilamida (15%) foram realizadas a fim de avaliar possíveis diferenças no perfil de proteínas em decorrência do contato com os corantes. Foram aplicados em cada poço 15 µg de proteínas obtidas a partir dos extratos brutos de raízes, folhas e dos exsudatos. O resultado observado para as raízes mostrou que não houve diferença evidente no perfil eletroforético entre as plantas em contanto com os diferentes corantes têxteis nem tampouco entre os tratamentos e o controle (Figura 4).

Figura 4 - Eletroforese em gel de poliacrilamida (15%) dos extratos brutos das raízes de *J. curcas* em contato ou não com corantes têxteis após o período de 15 dias

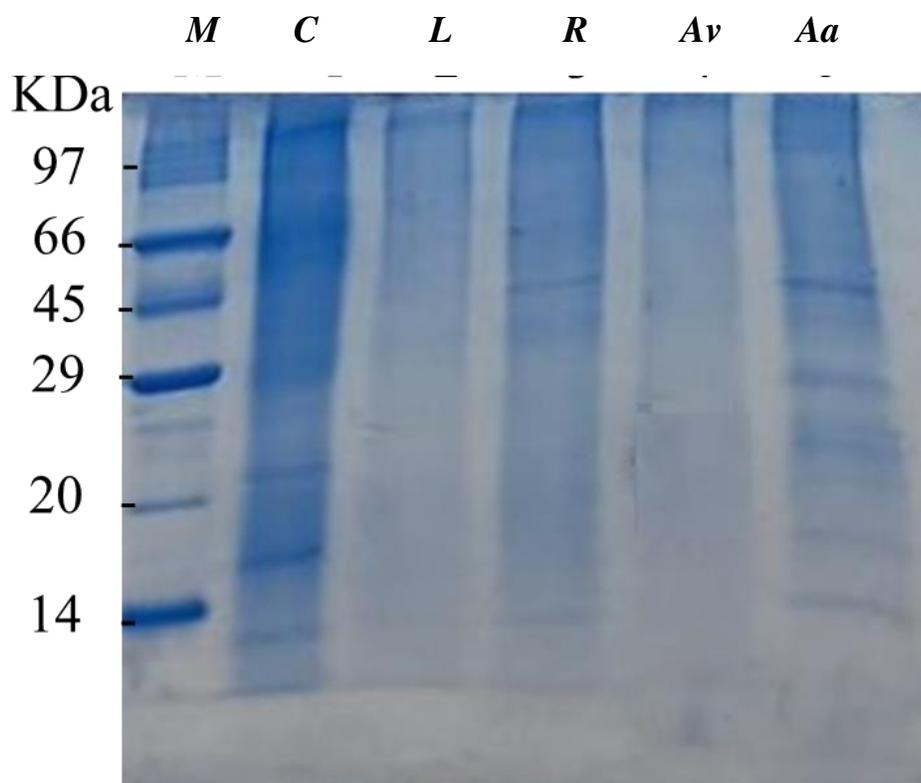


Fonte: Próprio autor

Eletroforese feita em gel de poliacrilamida 15%. Da esquerda para direita: Marcador molecular (M), Controle (C), tratamento com Levafix Laranja (L), Remazol Azul RGB (R), Astrazon Vermelho (Av) e Astrazon Amarelo (Aa)

Com relação as folhas, foi observado um perfil de bandas diferente entre as plantas em contato com os diferentes corantes têxteis, em especial quando se observa o perfil referente ao corante Astrazon Amarelo. Neste caso, uma maior diversidade de bandas foi observada, inclusive com maior número do que a visualizada no controle (Figura 5).

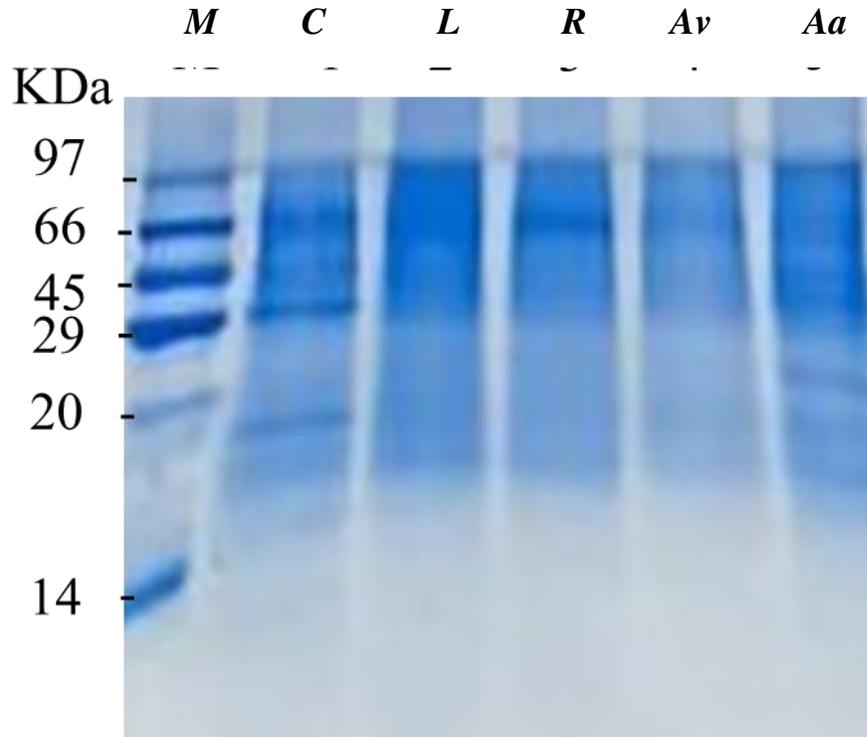
Figura 5 - Eletroforese em gel de poliacrilamida (15%) dos extratos brutos das folhas de *Jatropha curcas* tratadas ou não com corantes têxteis após o período de 15 dias



Fonte: Próprio autor

Eletroforese feita em gel de poliacrilamida 15%. Da esquerda para direita: Marcador molecular (M), Controle (C), tratamento com Levafix Laranja (L), Remazol Azul RGB (R), Astrazon Vermelho (Av) e Astrazon Amarelo (Aa)

Figura 6 - Eletroforese em gel de poliacrilamida (15%) dos exsudatos das soluções com *Jatropha curcas* em contato ou não com corantes têxteis após o período de 15 dias



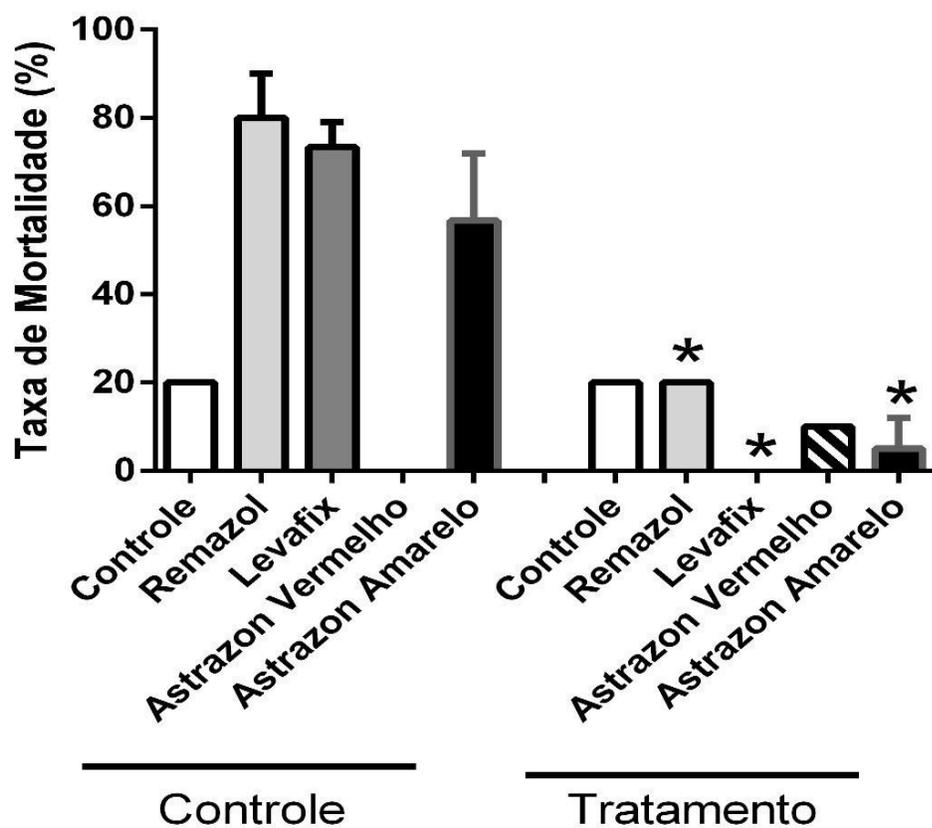
Fonte: Próprio autor

Eletroforese feita em gel de poliacrilamida 15%. Da esquerda para direita: Marcador molecular (M), Controle (C), tratamento com Levafix Laranja (L), Remazol Azul RGB (R), Astrazon Vermelho (Av) e Astrazon Amarelo (Aa)

6.9 Resultados do Teste de Toxicidade Aguda com *Artemia salina*

Os testes com *Artemia salina* foram realizados a fim de avaliar a toxicidade das soluções de corantes têxteis (20 mg/L) antes e após o contato com plantas de *J. curcas*. As soluções dos corantes Remazol Azul RGB, Levafix Laranja E-3GA e Astrazon Amarelo Gold antes do contato com as plantas de pinhão-manso causaram taxas de mortalidade superiores a 60%. Entretanto, as soluções desses corantes após o contato com *J. curcas* apresentaram redução na percentagem de mortalidade de *A. salina*. Já o corante Astrazon Vermelho não apresentou toxicidade para *A. salina* mesmo antes do contato com *J. curcas* (Gráfico 7).

Gráfico 7 - Taxa de mortalidade de *Artemia salina* após 24 horas de tratamento com soluções de corantes têxteis submetidas ou não ao contato com *J. curcas*



Fonte: Próprio autor

As colunas representam a média \pm desvio-padrão da média. O controle consistiu de solução nutritiva.

* Representa grupos que diferiram do grupo controle, ANOVA seguido pelo teste de Tukey-Kramer ($p < 0,05$)

7 DISCUSSÃO

Relatos na literatura acerca do uso de *J. curcas* no tratamento de efluentes têxteis são escassos. Assim, o foco do presente trabalho consistiu em avaliar o potencial dessa espécie em degradar alguns tipos de corantes têxteis. Para atuar como agentes remediadores, as plantas precisam exibir algumas características tais como: boa adaptabilidade às condições climáticas e solo da região ou área a ser remediada, rápido crescimento, grande produção de biomassa e resistência ao xenobiótico. Assim, além do experimento para avaliar a percentagem de degradação de corantes têxteis, alguns parâmetros como ganho de biomassa e avaliação dos teores de enzimas ligadas ao estresse oxidativo e/ou relacionadas a degradação de xenobióticos foram avaliados (PANDEY; BAJPAI; SINGH, 2015).

Ao final do período de 15 dias do contato de plantas de *J. curcas* com diferentes tipos de corantes têxteis, as raízes e parte da aérea foram pesados a fim de se avaliar o ganho de biomassa. Para raízes, apenas o contato com o corante Astrazon Amarelo Gold apresentou menor massa em comparação com as plantas controles. Em relação à parte aérea, as plantas tratadas com os corantes Levafix Laranja E-3GA e Remazol Azul RGB apresentaram massa superior às plantas controle. Os demais tratamentos não diferiram em relação ao controle. Assim, pode-se concluir que, de maneira geral, os corantes não apresentaram toxicidade para as plantas a ponto de prejudicarem o ganho de biomassa. Algo já esperado vindo de uma planta cuja resistência a diversos estresses bióticos e abióticos já é bem documentado na literatura, sendo este um dos principais motivos desta planta ser utilizada em diversos programas de fitorremediação, principalmente em solos contaminados por metais pesados (PANDEY; BAJPAI; SINGH, 2015). Também foi observado que as relações parte aérea/raiz para todas as plantas em contato com os diferentes corantes têxteis e para o controle mostraram um maior desenvolvimento da parte aérea em relação às raízes.

Para a avaliação do percentual de degradação dos corantes foram preparadas soluções dos diferentes corantes na concentração de 20 mg/L. Essa concentração foi baseada naquelas comumente encontradas nos efluente têxteis. Foi observado que as plantas de *J. curcas* apresentaram capacidade de descoloração que diferiram em relação aos corantes testados. Por exemplo, os corantes Levafix Laranja E-3GA e Astrazon Vermelho mostraram-se mais susceptíveis ao contato com as plantas de *J. curcas* uma vez que as taxas de descoloração

observadas para os mesmos foram de 28,33% e 23,11%, respectivamente. Entretanto, as taxas de descoloração para os corantes Remazol Azul e Astrazon Amarelo não foram tão significativas.

As diferentes taxas de descoloração observadas nesse estudo podem ser explicadas pela diversidade estrutural dos corantes testados. É sabido que esses compostos contêm diferentes grupos cromóforos ligados a anéis aromáticos que são responsáveis por conferir a cor do corante. Vários desses grupos funcionais estão localizados nas posições orto ou para as quais podem acelerar ou reduzir a taxa de descoloração ou inibir completamente esse processo. Além da estrutura química, as taxas de degradação de um corante específico são dependentes das condições ambientais (pH, temperatura, concentração do corante etc.). Os corantes Remazol, por exemplo, são compostos que apresentam uma estrutura complexa contendo, pelo menos, um grupo aromático. Em virtude dessa complexidade, suas taxas de degradação são bem variáveis. Plantas de *Aster amellus* e *Glandularia pulchella* foram capazes de degradar soluções desses corantes em taxas em torno de 92 e 100%, respectivamente (KABRA *et al.*, 2011a e b).

A comparação dos dados do presente trabalho com aqueles existentes na literatura mostra que também há discrepância entre as taxas de degradação dos corantes. Por exemplo, para o Astrazon Vermelho, a taxa de descoloração observada por *Aster amellus* na mesma concentração de 20 mg/L, foi de 96% nas 60 horas de duração da exposição da planta ao corante (KHANDARE *et al.*, 2011). Enquanto que nesse trabalho foi observada taxa de descoloração de 23,11% em 15 dias. Macrófitas utilizadas em projetos de fitorremediação, tais como *Alternanthera philoxeroides*, para a degradação de corantes têxteis foram capazes de reduzir em 100% a coloração de soluções de Remazol Vermelho no final das 72 horas de exposição (RANE *et al.*, 2015).

Diversos métodos físico-químicos foram desenvolvidos para a descoloração do corante Levafix Laranja E-3GA a partir de soluções coradas, como o método desenvolvido por Kobya e colaboradores (2006). Apesar de apresentar uma elevada eficiência na remoção do corante Levafix Laranja, o relevante gasto de energia necessário para a manutenção da dita eficiência acaba por manter tal processo restrito ao nível de laboratório.

Os tecidos de raízes e folhas foram estudados de forma independente para várias enzimas envolvidas no processo de degradação de corantes. O padrão de indução, mostrado nos gráficos 3, 4, 5 e 6, revela que o estresse induzido pelo contato com os corantes aumenta a produção de peroxidases, sendo tal aumento restrito as raízes, e de catalases nos tecidos vegetais. No caso da

superóxido dismutases, o aumento ficou restrito para as folhas. Para lacases não foi detectada uma atividade significativa especialmente no tecido das folhas.

O aumento na atividade específica de tais enzimas, em concomitância com o de descoloração, pode relacioná-las ao potencial de fitorremediação de *J. curcas*. As enzimas não possuem risco de contaminação biológica e, portanto, aparecem como uma abordagem ambientalmente correta para degradação de tingimento de têxteis (RANE *et al.*, 2014). Já foi relatado que enzimas de origem microbiana e vegetal apresentam a capacidade para metabolizar um amplo número de compostos orgânicos tóxicos até mineralização completa. Em um estudo recente, as enzimas acima mencionadas de *Pomona hederifolia* desempenharam um papel importante na degradação do corante Scarlet RR (RANE *et al.*, 2014).

A maior atividade enzimática induzida nas plantas após o tratamento foi a de peroxidase, conforme mostrado no Gráfico 3. Tal fato é importante visto que é relatado que diversas peroxidases dos mais diversos organismos são excelentes remediadoras de corantes têxteis. Estudos de descoloração *in vitro* do corante Reactive Blue 160 por *Tagetes patula*, uma planta florestal anual pertencente à família *Asteraceae*, mostrou que há uma descoloração considerável (em torno de 90%) do corante dentro de 4 dias de incubação, conforme confirmado por UV-vis, HPLC e análise FTIR, sendo que dentre as principais enzimas responsáveis pela remediação aparece a peroxidase de lignina, encontradas nos tecidos radiculares das plântulas (PATIL; JADHAV, 2013). Zhang e colaboradores (2012) também demonstraram que a descoloração de corantes aquosos azóicos, como Orange G e Sunset Yellow em solução tampão, é realizado por cloroperoxidases (CPOs) aplicando-se um processo oxidativo de peróxido de hidrogênio (H_2O_2).

Foi também avaliada a toxicidade aguda dos corantes e dos exsudatos obtidos ao final dos 15 dias de tratamento, utilizando como bioindicadores o microcrustáceo *Artemia salina*, de acordo com o protocolo desenvolvido por Matthews (1995). A toxicidade é uma propriedade inerente ao agente químico que produz efeitos danosos a um organismo quando este é exposto, por um período de tempo a determinadas concentrações daquele agente (FORGIARINI *et al.*, 2006). Os testes de toxicidade, portanto, avaliam o efeito do corante como um todo, ou através de substâncias específicas que o compõe; estas abordagens permitem avaliar os efeitos aditivos, antagônicos e sinérgicos dos agentes tóxicos (FORGIARINI *et al.*, 2006). Os experimentos de toxicidade realizados neste projeto foram feitos utilizando soluções de corantes a 20 mg/L. Nos resultados, foi constatado que houve redução na toxicidade da solução com os corantes após os 15

dias de contato com *J. curcas*, indicando que a planta, em seus estágios iniciais de crescimento, possivelmente apresenta a capacidade de eliminar dois dos problemas mais comuns na poluição por corantes, a cor e a toxicidade no composto na água, especialmente para o corante Levafix Laranja cuja taxa de mortalidade para *Artemia salina* caiu praticamente para zero após o tratamento.

8 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos ao longo deste projeto foram favoráveis para se mostrar o potencial de fitorremediação de *J. curcas* de ambientes contaminados por efluentes têxteis, especialmente corantes azóicos. Tais resultados mostram que *J. curcas*, em seus estágios iniciais de crescimento, já apresenta certa capacidade fitorremediadora ao eliminar um dos problemas da contaminação por resíduos têxteis, no caso a intensa coloração destes resíduos devido aos grupos cromóforos presentes na estrutura dos compostos químicos usados no processo de tingimento e acabamento de produtos têxteis. Os testes de toxicidade aguda para *Artemia salina* também revelaram uma diminuição na capacidade nociva dos corantes em solução para a biota marinha, especialmente para o corante Levafix Laranja.

Entretanto, como vários fatores, tais como concentração do corante, o pH da solução no qual a planta se encontra e a temperatura do local onde o tratamento é realizado, afetam a capacidade de fitorremediação da planta, futuros estudos devem ser realizados de modo a se determinar as condições ideais para o tratamento de descoloração. Além disso, como existem diversos tipos diferentes de processos pelos quais uma planta pode realizar a biorremediação de ambientes contaminados, uma futura análise histológica dos meristemas do caule ou das raízes devem ser feitos futuramente, de modo a melhor detalhar mais os mecanismos pelos quais *J. curcas* realiza seu processo de descoloração.

REFERÊNCIAS

- ABHILASH, P. C; JAMIL, S; SINGH, N. Transgenic plants for enhanced biodegradation and phytoremediation of organic xenobiotics. **Biotechnology Advances**, v.27, n.4, p.474-488, abril. 2009.
- ACHTEN, W. M. *et al.* Jatropha, biodiesel fueling sustainability? **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v.1, n.4, p.283-291. 2007.
- ARRUDA, F. P. de; BELTRÃO, N. E. de M.; ANDRADE, A. P. de; PEREIRA, W. E.; SEVERINO, L. S. Cultivo de Pinhão Manso (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**. Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 789-799, jan./abr. 2004.
- BARRAGAN, B.E; COSTA, C.M; MARQUEZ, C. Biodegradation of azo dyes by bacteria inoculated on solid media. **Dyes Pigments**, v.75, p.73-81. 2007.
- BEAUCHAMP, C; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. **Analytical Biochemistry**, v.44, n.1, p.276-287. 1971.
- BRADFORD, Marion M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical biochemistry**, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976.
- CHEMSPIDER. <http://www.chemspider.com/Chemical-Structure.14286243.html>. Acesso: 10/09/2017.
- COUTO, S. R. Dye removal by immobilised fungi. **Biotechnology Advances**, v. 27, n. 3, p. 227-235. 2009.
- DA SILVA, Rafael de Oliveira. Influência da assepsia na germinação de sementes de *Physalis angulata*. **Revista Técnico Científica do IFSC**, v. 1, n. 5, p. 693. 2013.
- ECKENFELDER, W. **Industrial Water Pollution Control**. 3.ed. Boston: McGrawHill,2000.
- FORGACS, E; CSERHATI, T; OROS, G. Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review. **Environment International**, v.30, n.7, p.953-971, set. 2004.
- FORGIARINI, Eliane *et al.* **Degradação de corantes e efluentes têxteis pela enzima Horseradish peroxidase (HRP)**. 2006. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Química) - Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006
- FREIRE, Luís Filipe Ribeiro. **Processos Oxidativos Avançados usando reagente de Fenton para degradação do corante Remazol Azul RGB**. 2014. Tese de Mestrado (Mestrado de

Tecnologias de Valorização Ambiental e Produção de Energia) - Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Porto Alegre, Porto Alegre, 2014.

GAYLARDE, C. C; BELLINASSO, M. D. L; MANFIO, G. P. Biorremediação. **Biociência & Desenvolvimento**, v.34, p.36-43, jan. /jun. 2005.

GOGATE, P; PANDIT, A. A Review of imperative technologies for wastewater treatment I: Oxidation technologies at ambient conditions. **Advanced Environmental Research**. v. 8, n.3, p. 501-551, mar. 2004.

GUARITINI, C.C.I; ZANONI, M.V.B. Corantes Têxteis. **Química Nova**, São Paulo, v.23, n.1, p. 71-78. 2000.

KHANDARE, R.V. *et al.* The role of *Aster amellus* Linn. in the degradation of a sulfonated azo dye Remazol Red: a phytoremediation strategy. **Chemosphere**, v. 82, n. 8, p. 1147-1154. 2011.

KABRA, A.N. *et al.* Phytoremediation of a sulphonated azo dye Green HE4B by *Glandularia pulchella* (Sweet) Tronc. (Moss Verbena). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 18, n. 8, p. 1360-1373, set.2011.

KABRA, A.N. *et al.* Differential fate of metabolism of a sulfonated azo dye Remazol Orange 3R by plants *Aster amellus* Linn., *Glandularia pulchella* (Sweet) Tronc. and their consortium. **Journal of Hazardous Materials**, v. 190, n. 1, p. 424-431, jun.2011.

KOBYA, M; DEMIRBAS, E; CAN, O. T; BAYRAMOGLU, M. Treatment of levafix orange textile dye solution by electrocoagulation. **Journal of Hazardous Materials**, v. 132, n. 2, p. 183-188, maio. 2006.

KUNZ, Airton *et al.* Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química nova**, v. 25, n.1, p. 78-82,2002.

LAEMMLI, U. K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. **nature**, v. 227, n. 5259, p. 680-685, 1970.

LANA, Maria do Carmo *et al.* Tolerance of physic nut plants to aluminum activity in nutrient solution. **Bioscience Journal**, v.9, n.3, p. 582-589, maio/jun. 2013.

LIMA, Luísa Cardinal Duarte. **Inovações verdes na Indústria têxtil e de Confecção Brasileira: competitividade e sustentabilidade**.2015. Monografia (Graduação em Administração de Empresas) – Departamento de Administração, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto,2013.

MANOLE, A; HEREA, D; CHIRIAC, H; MELNIG, V. Laccase activity determination. **Scientific Annals of Alexandru Ioan Cuza din Iasi University**, v. 4, p. 17-24. 2008.

MARTINS, Cibele Chalita; MACHADO, Carla Gomes; CAVASINI, Raquel. Temperatura e substrato para o teste de germinação de sementes de pinhão-manso. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n.3, p. 863-868, maio/jun. 2008.

- MATTHEWS, R.S. *Artemia salina* as a test organism for measuring superoxidemediated toxicity. **Free Radical Biology & Medicine**, V. 18, p. 919-922. 1995
- MEGHARAJ, M; VENKATESWARLU, K; NAIDU, R. Bioremediation. **Environment International**, v.1, p. 297-298, jul. 2014.
- METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering – Treatment and Reuse**. 4.ed. Boston: McGraw Hill,2003.
- OLIVEIRA, Anabella *et al.* Solar Photochemistry for Environmental Remediation-advanced oxidation processes for industrial wastewater treatment. In: **Molecular Photochemistry-Various Aspects**. InTech, 2012.
- PANDEY, V.C; BAJPAI, O; & SINGH, N. Energy crops in sustainable phytoremediation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.54, p.58-73, fev. 2015.
- PANDEY, A; SINGH, P; IYENGAR, L. Bacterial decolorization and degradation of azo dyes. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v.59, n.2, p.73-84, mar. 2007.
- PANDEY, Vimal Chandra *et al.* *Jatropha curcas*: A potential biofuel plant for sustainable environmental development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 5, p. 2870-2883, fev. 2012.
- PATIL, Asmita V.; JADHAV, Jyoti P. Evaluation of phytoremediation potential of *Tagetes patula* L. for the degradation of textile dye Reactive Blue 160 and assessment of the toxicity of degraded metabolites by cytogenotoxicity. **Chemosphere**, v. 92, n. 2, p. 225-232. 2013.
- PLETSH, M; CHARLWOOD, V; ARAÚJO, BS de. Fitorremediação de águas e solos poluídos. **Biotecnologia, Ciência & Desenvolvimento**, Brasília, v. 2, n. 11, p. 26-29. 1999.
- PRASAD, M. N. V. A state-of-the-art report on bioremediation, its applications to contaminated sites in India. **Ministry of Environment & Forests, Government of India**. 2011.
- PRASAD, Majeti Narasimha Vara (Ed). **Bioremediation and Bioeconomy**. Telangana: Elsevier. 2015.
- RANE, Niraj *et al.* Green remediation of textile dyes containing wastewater by *Ipomoea hederifolia* L. **RSC Advances**, v. 4, n. 69, p. 36623-36632. 2014.
- RANE, Niraj *et al.* Phytoremediation of sulfonated Remazol Red dye and textile effluents by *Alternanthera philoxeroides*: an anatomical, enzymatic and pilot scale study. **Water Research**, v. 83, p. 271-281. 2015.
- RECH, Sandra Regina *et al.* **Cadeia produtiva da moda: um modelo conceitual da análise da competitividade no elo confecção**. 2013.Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

TEIXEIRA, C. P. A. B; JARDIM, W. Processos oxidativos avançados: conceitos teóricos. **Caderno Temático**, v. 3, p. 83. 2004.

TONGPOOTHORN, Wimonrat *et al.* Preparation of activated carbon derived from *Jatropha curcas* fruit shell by simple thermo-chemical activation and characterization of their physico-chemical properties. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 89, n. 3, p. 335-340, mar. 2011.

UNIETHOS. **Sustentabilidade e Competitividade no Mundo da Moda**. São Paulo. 2013.

URBANEK, H; KUZNIAK-GEBAROWSKA, E; HERKA, K. Elicitation of defence responses in bean leaves by *Botrytis cinerea* polygalacturonase. **Acta Physiologiae Plantarum**. 1991.

VAN ROSSUM, Maarten; ALBERDA, Mark; VAN DER PLAS, Linus HW. Role of oxidative damage in tulip bulb scale micropropagation. **Plant Science**, v. 130, n. 2, p. 207-216. 1997.

VENTURA, Bruna de Campos. **Avaliação dos efeitos citotóxicos, genotóxicos e mutagênicos do herbicida Atrazina, utilizando *Allium cepa* e *Oreochromis niloticus* como sistemas-teste**. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

VIDALI, M. et al. Bioremediation. an overview. **Pure and Applied Chemistry**, v. 73, n. 7, p. 1163-1172. 2001.

SUBASHCHANDRABOSE, Suresh R. *et al.* Influence of nutrient mixtures on p-nitrophenol degradation by *Stenotrophomonas sp.* isolated from groundwater. **Journal of Environmental Science and Health, Part A**, v. 48, n. 1, p. 108-119, mar. /out. 2013.

SULAK, M. T.; DEMIRBAS, E.; KOBYA, M. Removal of Astrazon Yellow 7GL from aqueous solutions by adsorption onto wheat bran. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 13, p. 2590-2598. 2007.

YESILADA, O; CING, S; ASMA, D. Decolourisation of the textile dye Astrazon Red FBL by *Funalia trogii* pellets. **Bioresource Technology**, v. 81, n. 2, p. 155-157. 2002.

WANG, C; LI, X.F; A modified Coomassie brilliant blue staining method at nanogram sensitivity compatible with proteomic analysis. **Biotechnology Letter**, v.29, p.1599-1603. 2007.

ZHANG, Juan et al. Efficient decolorization/degradation of aqueous azo dyes using buffered H₂O₂ oxidation catalyzed by a dosage below ppm level of chloroperoxidase. **Chemical engineering journal**, v. 191, p. 236-242. 2012.