

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE BIOCÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ANTIBIÓTICOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA

JACKELLY FELIPE DE OLIVEIRA

**PROSPECÇÃO E TRATAMENTO BIOLÓGICOS NO EFLUENTE DA
LAVANDERIA TÊXTIL DE CARUARU – PE**

Recife

2022

JACKELLY FELIPE DE OLIVEIRA

**PROSPECÇÃO E TRATAMENTO BIOLÓGICOS NO EFLUENTE DA
LAVANDERIA TÊXTIL DE CARUARU – PE**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Biotecnologia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito à obtenção do título de Mestra em Biotecnologia

Área de concentração: Microbiologia, Biodegradação, Biorremediação.

Orientadora: Norma Buarque de Gusmão

Coorientadora: Leonor Alves de Oliveira da Silva

Recife

2022

Catálogo na Fonte:
Bibliotecário Bruno Márcio Gouveia, CRB4/1788

Oliveira, Jackelly Felipe de
Prospecção e tratamento biológicos no efluente da lavanderia têxtil de Caruaru - PE
/ Jackelly Felipe de Oliveira. – 2022.

78 f. : il.

Orientadora: Norma Buarque de Gusmão. .
Coorientadora: Leonor Alves de Oliveira da Silva.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro
de Biociências. Programa de Pós-graduação em Biotecnologia, Recife,
2022.
Inclui referências.

1. Resíduos industriais. 2. Biorremediação. 3. Indústria têxtil. I. Gusmão,
Norma Buarque (orientadora) II. Silva, Leonor Alves de Oliveira da
(coorientadora). III. Título.

628.43

CDD (22.ed.)

UFPE/CB – 2022-151

JACKELLY FELIPE DE OLIVEIRA

**PROSPECÇÃO E TRATAMENTO BIOLÓGICOS NO EFLUENTE DA
LAVANDERIA TÊXTIL DE CARUARU – PE**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Biotecnologia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito à obtenção do título de Mestra em Biotecnologia

Aprovado em: 09/08/2022

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Leonor Alves de Oliveira da Silva
UFPB

Prof^a. Dr^a. Bruna Soares Fernandes
UFPE

Prof. Dr. Erik Jonne Vieira de Melo
UFPET

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais Maria José Felipe e Jacinto Domingos de Oliveira por me criarem, embora as dificuldades, com muita garra e amor e conseguirem, no máximo que podiam, proporcionar-me uma educação digna. Ao meu irmão querido Jefferson Felipe por todo incentivo e ao meu sobrinho Oliver Felipe por ser uma luz na minha família. Aos meus primos, Franciléa Oliveira e Ricardo dos Santos por serem meus refúgios nos dias difíceis. A minha Tia Céu e minha madrinha Francisca. Aos meus queridos amigos que fiz ao longo da vida: Williane, Hyago, Willias, Tiago, Eveline, Lucas, Karol, Joab, Carol, Sergio, Edil, José, Milena e tantos outros que me ajudaram de formas inimagináveis. Agradeço especialmente a professora Leonor Alves, que foi a pessoa que estava comigo no laboratório em momentos delicados da pandemia do coronavírus, no qual fazer ciência era o meu único refúgio e me fez não desistir desse projeto com toda sua perseverança e ação. Agradeço a Professora Norma, por todo acolhimento e carinho durante todo o mestrado. Aos colegas de laboratório Samuel, Maria Luiza, Rádames, Sarah, Luana, pela companhia científica e apoio laboral. Por fim, agradeço todas as pessoas que passaram pela minha vida e me ajudaram de alguma forma, quer seja uma palavra de apoio ou apenas lições de vidas.

Não sou nada.

Nunca serei nada.

Não posso querer ser nada.

À parte isso, tenho em mim todos os sonhos do mundo.

(CAMPOS, 1928, p.28)

RESUMO

O setor têxtil apresenta grande impacto na economia do país. Entretanto, a indústria têxtil, por necessitar de alta demanda de água para as etapas de produção, principalmente na etapa do beneficiamento, produz grandes volumes de efluentes que necessitam de devidos tratamentos. Sendo assim, alternativas sustentáveis e baratas de tratamento tendem a serem prospectadas, como é o caso dos tratamentos do tipo biológicos que utilizam microrganismos. Dessa forma, esse projeto objetivou prospectar microrganismos capazes de biodegradar efluentes oriundos da lavanderia da indústria têxtil situada no polo Têxtil Industrial de Pernambuco. Foram testados 6 microrganismos, sendo 4 fungos (F24 = *Aspergillus spp.*, F48 = *Aspergillus spp.*, F98 = *Aspergillus fumigatus*, FTL01 = *Trametes lactinea*) e 2 bactérias (T9 = *Bacillus subtilis*, T19 = *Alcaligenes faecalis*). Esses microrganismos foram submetidos ao teste de descoloração do efluente bruto, por análise da absorvância à 660-670 nm, no qual o fungo *Trametes lactinea* foi o microrganismo que demonstrou maior capacidade de descoloração e, assim, foi selecionado como organismo modelo para este projeto. Desse modo, a descoloração por *T. lactinea* foi otimizada por um Planejamento Fatorial $2^3 + 3$ pontos centrais e um Delineamento Composto Central Rotacional chegando, dessa forma, a uma eficiência de descoloração de 99,8% com as variáveis: pH de 4,2 e tempo de incubação de 229 h (\cong 9,5 dias). Além disso, foi testada a capacidade desse microrganismo reduzir compostos inorgânicos presentes no efluente bruto e, desse modo, *T. lactinea* conseguiu reduzir as cargas do Boro, do Estanho e do Manganês. Ademais, por meio dos testes de toxicidade aguda em *Artemia salina* e nas sementes de *Cucumis sativus* (pepino), a redução da toxicidade do efluente bruto após o tratamento com esse fungo foi verificada.

Palavras-chave: Biorremediação; Biodegradação de corantes têxteis; Tratamento de água; Indústria têxtil; Toxicidade de efluentes.

ABSTRACT

The textile sector represents impacts on the country's economy. However, the textile industry, produces high volumes of effluents that need proper treatments. Therefore, sustainable and inexpensive treatment alternatives need to be prospected. Thus, this project aimed to prospect microorganisms capable of biodegrading effluents of the textile industry located in the Industrial Têxtil Pole of Pernambuco. Six microorganisms were evaluated, 4 fungi (F24 = *Aspergillus spp.*, F48 = *Aspergillus spp.*, F98 = *Aspergillus fumigatus*, FTL01 = *Trametes lactinea*) and 2 bacteria (T9 = *Bacillus subtilis*, T19 = *Alcaligenes faecalis*). These microorganisms were submitted to the discoloration test by analyzing the absorbance at 660-670 nm. *Trametes lactinea* was the microorganism that showed the greatest discoloration capacity and was selected as a model organism for this project. The discoloration by *T. lactinea* was optimized by a $2^3 + 3$ central points Factorial Experiment and a Central Composite Rotational Design that reached a decolorization efficiency of 99.8% with the variables pH of 4.2 and incubation time of 229 h. In addition, was tested the ability of this microorganism to reduce inorganic compounds present in the effluent. *T. lactinea* was able to reduce the loads of Boron, Tin and Manganese. Furthermore, the toxicity tests on *Artemia salina* and on *Cucumis sativus* (cucumber) seeds showed reduction in the toxicity of effluent after treatment with *T. lactinea*.

Keywords: Bioremediation; Biodegradation of textile dyes; Water treatment; Textile industry; Effluent toxicity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Taxa de crescimento mensal da produção de produtos têxteis do Brasil, do Nordeste, do Ceará, e do Pernambuco acumulada dos últimos 12 meses de 2021.	18
Figura 2 - Fibras utilizadas no Brasil nos anos 1970 a 2018.	19
Figura 3 - Etapas de produção da indústria têxtil.	21
Figura 4 - Estrutura de três corantes Azos.	23
Figura 5 - Estrutura do corante Índigo-carmim.	24
Figura 6 - Estrutura do Corante Direto: Vermelho Congo.	25
Figura 7 - Tratamento Físico-químico: Coagulação, Floculação e Sedimentação.	28
Figura 8 - Ensaio do planejamento fatorial.	38
Figura 9 - Preparo das sementes de <i>Cucumis sativus</i> , em placa de Petri, para o teste de fitotoxicidade.	40
Figura 10 - Varredura do efluente bruto utilizando absorvância obtida por espectrometria no espectro visível de 400 nm a 700 nm variando a cada 10 nm.	45
Figura 11 - Absorvância do efluente após a descoloração pelos microrganismos F24 = <i>Aspergillus spp.</i> , F48 = <i>Aspergillus spp.</i> , F98 = <i>Aspergillus fumigatus</i> , FTL01 = <i>Trametes lactinea</i> , T9 = <i>Bacillus subtilis</i> , T19 = <i>Alcaligenes faecalis</i>	46
Figura 12 - Percentual de descoloração do efluente bruto por <i>T. lactinea</i> com a influência de diferentes pH (4, 5, 6, 7 e 8).	49
Figura 13 - Percentual de descoloração do efluente bruto por <i>T. lactinea</i> com a influência de diferentes temperaturas.	50
Figura 14 - Percentual de descoloração do efluente bruto por <i>T. lactinea</i> com a influência de diferentes fontes de carbono.	52
Figura 15 - Diagrama de Pareto do planejamento fatorial 2 ³ com triplicata do ponto central para as variáveis estudadas: 1 (Dias de descoloração), 2 (Blocos de gelose), 3 (pH inicial).	54
Figura 16 - Gráfico de Superfície que mostra a alteração na eficiência de descoloração por <i>T. lactinea</i> quando os fatores independentes de entrada, Tempo e pH, são alterados.	54
Figura 17 - Gráfico de Superfície para a otimização do experimento utilizando DCCR 2 ²	58

Figura 18 - Absorbâncias do efluente tratado por <i>T. lactinea</i> (FL01) após o processo de otimização da descoloração em comparação com as absorbâncias do efluente bruto.	59
Figura 19 - Quantidade de boro (mg/L) presente no efluente bruto, no efluente tratado pela indústria têxtil, no efluente tratado por <i>T. Lactinea</i> e o padrão do CONAMA (n° 430/2011) para o boro.	60
Figura 20 - Quantidade de estanho (mg/L) presente no efluente bruto, no efluente tratado pela indústria têxtil, no efluente tratado por <i>T. Lactinea</i> e o padrão do CONAMA (n° 430/2011) para o estanho.	61
Figura 21 - Quantidade de manganês (mg/L) presente no efluente bruto, no efluente tratado pela indústria têxtil, no efluente tratado por <i>T. Lactinea</i> e o padrão do CONAMA (n° 430/2011) para o manganês.	61
Figura 22 - Índice de germinação das sementes de <i>Cucumis sativus</i> na presença efluente Bruto; efluente tratado pela indústria têxtil; efluente tratado por <i>T. Lactinea</i> e o controle negativo com apenas água destilada.	62
Figura 23 - Crescimento da raiz (%) de <i>Cucumis sativus</i> na presença efluente Bruto; efluente tratado pela indústria têxtil; efluente tratado por <i>T. Lactinea</i> e o controle negativo com apenas água destilada.	63
Figura 24 - Germinação das sementes de <i>Cucumis sativus</i> na presença efluente Bruto; efluente tratado pela indústria têxtil; efluente tratado por <i>T. Lactinea</i> e o controle negativo com apenas água destilada.	63
Figura 25 - Mortalidade (%) dos náuplios de <i>Artemia salina</i> na presença de diferentes concentrações do efluente tratado por <i>T. lactinea</i>	65
Figura 26 - Mortalidade (%) dos náuplios de <i>Artemia salina</i> na presença de diferentes concentrações do efluente bruto.	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variáveis de entrada independentes (Dias, Blocos de gelose e pH) em níveis superiores (+) e inferiores (-).	36
Tabela 2 - Matriz de planejamento fatorial $2^3 + 3$ pontos centrais.....	37
Tabela 3 - Matriz do planejamento DCCR 2^2	39
Tabela 4 - Parâmetros físico-químicos do efluente têxtil bruto em comparação com o limite de lançamento estabelecido pelo CONAMA n° 430/2011.....	43
Tabela 5 - Percentual de descoloração do efluente bruto pelos microrganismos: F24 = <i>Aspergillus spp.</i> , F48 = <i>Aspergillus spp.</i> , F98 = <i>Aspergillus fumigatus</i> , FTL01 = <i>Trametes lactinea</i> , T9 = <i>Bacillus subtilis</i> , BT19 = <i>Alcaligenes faecalis</i>	47
Tabela 6 - Dados das variáveis independentes (dias, blocos de gelose e pH) e resultados em % de descoloração obtidos por meio do Planejamento Fatorial.....	53
Tabela 7 - Análise da variância (ANOVA) para a eficiência da descoloração.	56
Tabela 8 - ANOVA para a estimativa dos efeitos, seus Coeficientes de Regressão e Erro Padrão.	56
Tabela 9 - Matriz do planejamento DCCR 2^2 com o resultado em descoloração.	58

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - (%) Descoloração	36
Equação 2 - Percentual de Germinação	41
Equação 3 - Crescimento da Raiz.....	41
Equação 4 - Índice de Germinação.....	41
Equação 5 - Estimativa da eficiência da descoloração por <i>T. lactinea</i>	57

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

%	Percentual
% CR	Crescimento da Raiz
% G	Percentual de Germinação
BDA	gar Dextrose Batata
BHI	Meio de Infusão de Cérebro Coração
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
g	Gramas
IG	ndice de Germinação
ITS	Espaçador Interno da Transcrição
L	Litros
mL	Mililitros
NCBI	National Center for Biotechnology Information
nm	Nanmetros
PAO	Processos Avançados de Oxidação
pH	Potencial hidrogeniônico
US\$	Dolar dos Estados Unidos
Uv	Ultravioleta
Vis	Visível
μ	Micro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
2 OBJETIVOS.....	17
2.1 OBJETIVO GERAL.....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1 PANORAMA ECONÔMICO DA INDÚSTRIA TÊXTIL NO BRASIL.....	18
3.2 ETAPAS DE PRODUÇÕES TÊXTEIS.....	19
3.3 CORANTES NA INDÚSTRIA TÊXTIL.....	22
3.4 EFLUENTE TÊXTIL E SEUS IMPACTOS.....	25
3.5.1 Tratamentos Físico-químicos.....	27
3.5.2 Tratamento Biológico.....	29
3.5.2.1 <i>Trametes</i> como fungo capaz de tratar efluente têxtil.....	31
4 METODOLOGIA.....	33
4.1 MICRORGANISMOS PARA O TRATAMENTO DO EFLUENTE TÊXTIL.....	33
4.2 AMOSTRAS DO EFLUENTE TÊXTIL.....	33
4.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO EFLUENTE.....	33
4.3.1 Demanda Bioquímica de oxigênio e Demanda química de Oxigênio.....	33
4.3.2 Compostos fenólicos.....	34
4.3.3 Análise dos compostos inorgânicos.....	34
4.4 TRIAGEM DOS MICRORGANISMOS CAPAZES DE DESCOLORIR O EFLUENTE TÊXTIL.....	35
4.5 PLANEJAMENTO FATORIAL 2 ³ + 3 PONTOS CENTRAIS.....	36
4.5.1 Otimização da eficiência descoloração por <i>T. lactinea</i>.....	38
4.6 TOXICIDADE AGUDA.....	39
4.6.1 Fitotoxicidade.....	39
4.6.2 Toxicidade aguda em <i>Artemia salina</i>.....	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
5.1 ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DO EFLUENTE BRUTO.....	42
5.2 VARREDURA DO EFLUENTE EM ESPECTROMETRIA NA LUZ VISÍVEL..	44
5.3 TRIAGEM DOS MICRORGANISMOS PARA A DESCOLORAÇÃO DO EFLUENTE.....	45
5.4 VARIÁVEIS QUE INFLUENCIAM A DESCOLORAÇÃO POR <i>T. lactinea</i>	48

5.4.1 Influência do pH.....	48
5.4.2 Influência da temperatura.....	50
5.4.3 Influência da fonte de carbono para a descoloração.....	51
5.5 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	52
5.5.1 Otimização da descoloração.....	57
5.6 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS APÓS O TRATAMENTO.....	59
5.7 FITOTOXICIDADE.....	62
5.8 TOXICIDADE EM <i>Artemia salina</i>.....	64
6 CONCLUSÃO.....	66
REFERÊNCIAS.....	67

1 INTRODUÇÃO

A indústria têxtil contribui significativamente para o desenvolvimento econômico e social do país. Em 2020, foram somados US\$ 3,8 bilhões o que promoveu um *superávit* de 1,14 bilhão no quesito exportação de produtos têxteis, mesmo com a crise econômica promovida pela pandemia do coronavírus (BRASIL, 2021). Na cadeia de produção industrial, o setor têxtil demanda grande quantidade de água e, como consequência, gera elevados volumes de efluentes associados com compostos químicos utilizados durante as operações industriais, sendo eles: metais pesados, detergentes, sais, além de corantes utilizados no processo de tingimento das fibras (KADAM et al., 2018).

A carga dos compostos presentes nos efluentes pode afetar a fauna e flora aquática, gerando bioacumulação e toxicidade (ALVES, 2013). Além dos corantes, que uma vez em contato com no meio ambiente, formam uma barreira que inibe a penetração da luz solar, afetando o ecossistema por meio da alteração de atividades fotossintéticas (MENDES; DILARRI; PELEGRINI, 2015). Sendo assim, esses efluentes representam grande problemática ambiental, o que demanda sistemas efetivos de soluções de tratamento. Dessa forma, devido essas complicações decorrentes dos efluentes têxteis, há diversos estudos sobre alternativas de tratamento.

Os modelos biológicos de tratamento de efluente têxtil podem atuar em corantes com característica recalcitrantes, tendo em vista que esses corantes são difíceis de eliminar quando tratados por métodos convencionais e, assim, os modelos biológicos podem ser vistos como alternativas de tratamento na indústria têxtil (ALMEIDA, et al., 2012; DESHMUKH; KHARDENAVIS; PUROHIT, 2016). Nos modelos biológicos de tratamento que utilizam os microrganismos degradadores, esses microrganismos possuem diversos mecanismos atuantes na degradação de moléculas complexas, como o mecanismo de degradação por enzimas (biodegradação) e o mecanismo adsorção de partículas ou moléculas (biossorção) (ROY, et al., 2018; EZIKE, et al., 2020).

Apesar de existir na literatura microrganismos capazes de biodegradar os corantes têxteis, como algumas espécies de *Trametes*, poucos, efetivamente, conseguem ser aplicados ao biotratamento do efluente bruto, tendo em vista que a maioria dos trabalhos utilizam efluentes sintéticos, o que gera a necessidade de mais estudos ou prospecção de novas linhagens com características favoráveis de biotratamento (BACCAR, et al., 2011;

MONSALVE, et al., 2017; SANTANA et al., 2021). Sendo assim, o propósito de procurar alternativas e prospectar novos organismos degradadores que possam contribuir para desenvolvimento de novas tecnologias de biotratamento, baseia-se no fato que o tratamento de efluente têxtil carece de microrganismos capazes de biorremediar, especialmente microrganismos testados em efluentes têxteis utilizados na confecção de produtos têxteis do polo Têxtil Industrial de Pernambuco. Desse modo, a prospecção desses microrganismos contribui, significativamente, para o desenvolvimento, principalmente econômico e científico, do Estado de Pernambuco.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Triar microrganismos com potencialidade para descoloração e degradação de efluentes da indústria têxtil.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

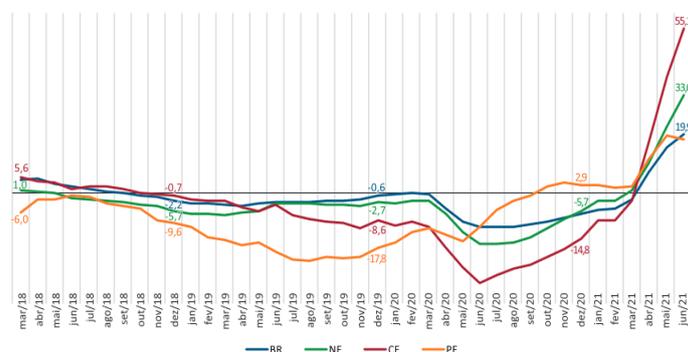
- a) Realizar a caracterização físico-química do efluente têxtil;
- b) Avaliar a toxicidade do efluente têxtil;
- c) Fazer uma triagem de microrganismos capazes de descolorir o efluente têxtil e escolher um microrganismo modelo;
- d) Otimizar a eficiência de descoloração do microrganismo escolhido;
- e) Realizar a caracterização físico-química do efluente têxtil após tratamento biológico;
- f) Avaliar toxicidade do efluente têxtil após o tratamento biológico;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PANORAMA ECONÔMICO DA INDÚSTRIA TÊXTIL NO BRASIL

As indústrias têxteis nacionais promovem impactos na economia brasileira. Tendo em vista esse cenário, foram investidos aproximadamente US\$ 20 bilhões com o objetivo de aquisição de maquinarias de última geração para o setor têxtil no período entre 1990 e 2015, deixando, dessa forma, o Brasil de forma competitiva no mercado internacional têxtil (NTCPE, 2017). Segundo o IBGE, em 2018, o valor bruto de produção têxtil foi de R\$ 47,3 bilhões, no qual o Nordeste contribuiu em 17% do valor na produção e Pernambuco contribuiu com 2,12%, especialmente na localidade do Polo de Confecção do Agreste de Pernambuco (IBGE, 2022). Quanto ao panorama mundial, o Brasil, no ano de 2018, encontrava-se no 10º lugar de maior produtor mundial de têxteis, sendo essa produção estimada em US\$ 13 bilhões, já a China liderou em produção têxtil com uma produção de aproximadamente US\$ 421 bilhões (IBGE, 2022). No quesito exportações no Nordeste, com o aumento do PIB brasileiro, estima-se que haverá o retorno do crescimento no setor têxtil acompanhando com a produção física, o que mostra a importância desse setor na economia brasileira e na geração de renda, Figura 1 (BNB/ETENE, 2021).

Figura 1 - Taxa de crescimento mensal da produção de produtos têxteis do Brasil, do Nordeste, do Ceará, e do Pernambuco acumulada dos últimos 12 meses de 2021.

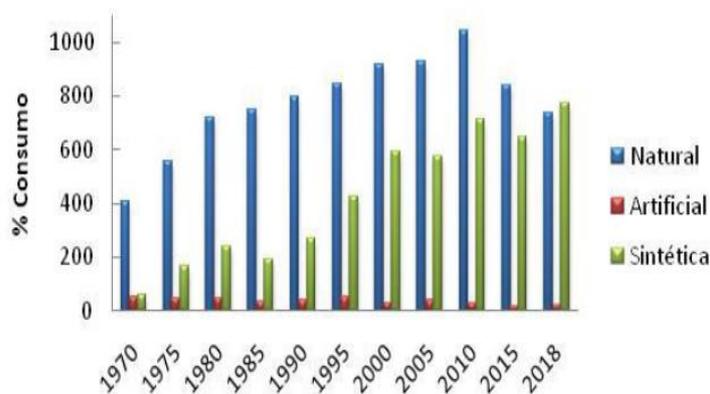


Fonte: Elaborado pela BNB/Etene, com dados do IBGE (2021)

3.2 ETAPAS DE PRODUÇÕES TÊXTEIS

A indústria têxtil inicia a produção com o processo de fabricação dos fios têxteis e finaliza com os processos de acabamento dos tecidos, já a indústria de confecção limita seu papel na utilização dos produtos gerados na indústria têxtil, direcionando para finalidades específicas, como decorações, revestimentos, artesanatos, entre outros (ARAÚJO; CASTRO, 1987; REIS, 2016). A cadeia produtiva têxtil pode ser bastante variável, dependendo das características requeridas no produto. O primeiro passo para a produção é a escolha da fibra, essa pode ser natural, como o algodão, seda, linho ou artificiais como é o caso dos acetatos e da viscose. Além disso, há as fibras artificiais que têm como base monômeros de petróleo principalmente a poliacrilonitrila e o propileno, essas fibras são denominadas de fibras sintéticas, como o nylon, a lycra e o poliéster (GUARATINI; ZANONI, 2000). Essas fibras sintéticas vêm ganhando espaço no Brasil e, por sua vez, superou a utilização de fibras naturais, como o algodão, no ano de 2018, Figura 2 (ABIT, 2019).

Figura 2 - Fibras utilizadas no Brasil nos anos 1970 a 2018.



Fonte: ABIT (2019)

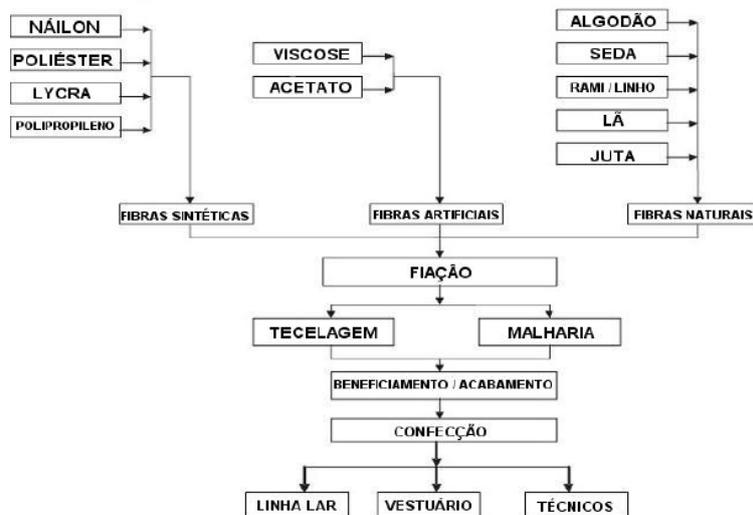
Após a escolha do material, esse seguirá para a etapa de fiação. Nessa etapa, a matéria prima é transformada em fio por meio de técnicas nas quais as fibras são adicionadas em uma única direção e torcidas (HORROCKS; ANAND, 2000). Uma vez os fios finalizados, esses são direcionados para a etapa de tecelagem, que assemelha com o processo de fiação, mas dessa vez os fios são organizados de maneiras diferentes, não adicionados paralelamente, mas sim entrelaçado de maneira ortogonal com auxílio de

uma máquina de tear (REIS, 2016). A tecelagem é uma etapa importante, pois, por meio ângulos de entrelaçamentos das fibras, o produto terá características diferentes embora com mesmo tipo de fibra, como é o caso das malhas que os fios são tramados no mesmo sentido de direção, o que confere a elasticidade e flexibilidade do tecido, Figura 3 (PEREIRA, 2009).

Segundo Araújo e Castro (1987), após o substrato formado na etapa de tecelagem, a próxima etapa será de beneficiamento no qual o substrato passará por várias modificações que irão conferir as características do visual do produto, como a textura, maciez, resistência, coloração, entre outras. Algumas etapas são inseridas e outras retiradas a depender do produto, mas de forma geral o beneficiamento abrange as etapas de desengomagem, purga, alvejamento e tingimento. Essas são as etapas da indústria têxtil que mais utilizam a água, gerando, posteriormente, altos volumes de efluentes têxteis (ARAÚJO; CASTRO, 1987).

De acordo com Pereira (2009), a etapa de desengomagem consiste na remoção da goma, que é necessária para a proteção das fibras dos tecidos, aplicadas na etapa da tecelagem. Para o processo de desengomagem, é necessária a utilização da água, pois os métodos de desengomagem utilizam soluções aquosas com o meio ácido, o meio enzimático ou o meio oxidativo (PEREIRA, 2009). Na etapa de purga ocorre um processo de cozimento das fibras, reduzindo as impurezas das fibras, como as gorduras, graxas, resinas, entre outras. Nesse processo de purga é essencial a presença da água quente, sendo, assim, um dos pontos de produção dos efluentes (PEREIRA, 2009). No alvejamento, por sua vez, são utilizados métodos químicos para remover as pigmentações naturais das fibras, exemplo do peróxido de hidrogênio e/ou do hipoclorito de sódio e, além disso, é necessário fazer uma lavagem adicional na fibra (PEREIRA, 2009). Todos esses processos contribuem para que a etapa de alvejamento seja importante na produção de efluente têxtil (PEREIRA, 2009).

Figura 3 - Etapas de produção da indústria têxtil.



Fonte: BNDES (2013)

Por fim, os últimos processos antes de chegar ao consumidor, geralmente, são as etapas tingimentos e lavagens realizadas nas Lavanderias Têxteis. A etapa de tingimento é basicamente a etapa que dará a percepção de cor ao tecido com o auxílio de corantes. Nessa etapa, é indispensável a utilização de técnicas que assegurem a qualidade do tingimento, como a escolha do corante com afinidade com a fibra, uniformidade no tingimento, processo de resistência da cor, entre outras técnicas (ALCÂNTARA; DALCIN; DECIO, 1996; SALEM 2010). Dessa forma, pode-se fazer utilização de duas técnicas de tingimento (tingimento por impregnação ou esgotamento) que variam a depender da matéria prima, do corante, da temperatura, do pH, do tempo e de alguns auxiliares (SALEM, 2010). Os corantes que não são fixados e os compostos químicos utilizados no processo de tingimento necessitam ser removidos das fibras e, para isso, ocorrem diversas lavagens das fibras, o que promovem a produção de grandes volumes de efluentes (PEREIRA, 2009). As lavagens, por sua vez, têm como objetivo modificar as peças confeccionadas, produzindo características diferenciadas, como as nuances de coloração (SENAI/CETIQT, 1996). Algumas fibras passam pelos processos de lavagens de forma obrigatória, como é o caso dos jeans (SENAI/CETIQT, 1996). As lavagens que ocorrem no jeans são lavagens sucessivas que empregam diversos compostos químicos, como o hipoclorito de sódio e/ou o permanganato de potássio que servirão para o processo de desbotamento dos corantes fixados no jeans (PERES; ABRAHÃO, 1998). Os

compostos que são utilizados nas lavagens dependem da demanda industrial, a necessidade de produção têxtil, custo de produção e característica final desejada do produto, e, sendo assim, cada indústria possui um perfil diferente na utilização de agentes químicos: umectantes, detergentes, amaciantes, sais, bases, ácidos, dispersantes, entre outros (HEWSON, 1998; HASSEMER, 2002). A água utilizada nesses processos de lavagens, geralmente, não é aproveitada sendo descartadas em altas quantidades na forma de efluentes de alta turbidez e coloração forte (HESPANHOL, et al., 2006)

3.3 CORANTES NA INDÚSTRIA TÊXTIL

Anualmente são produzidos cerca de 70 bilhões de tons de corantes sintéticos no mundo e, dessa quantidade, estima-se que cerca de 10.000 tons de corantes são utilizados na indústria têxtil (CHANDANSHIVE, et al., 2020). Os corantes possuem a propriedade de conferir coloração às fibras por meio de reflexão da luz em um comprimento de onda específico, sendo essa característica influenciada pela forma molecular do corante (ZOLLINGER, 1991). Grande parte dos corantes utilizados na indústria têxtil são moléculas de compostos orgânicos sintéticos hidrossolúveis ou lipossolúveis e nas suas estruturas há sistemas conjugados e possui, no mínimo, uma região denominada de cromóforo, que confere a cor por conter grupos funcionais, como ($-N=N-$), ($-C=O$), ($-NO_2$), ($O=(C_6H_4)=O$) e ($O=(C_6H_4)=O$) (SRINIVASAN; VIRARAGHAVAN, 2010; VAZQUEZ-ORTEGA, et al., 2020). Desse modo, os elétrons dos cromóforos absorvem luz no comprimento de onda no espectro da luz visível (400nm – 700nm), passando para um estado de maior energia (em orbitais moleculares superiores) e a energia remanescente, por sua vez, é refletida em outro comprimento de onda. Essa luz refletida será interpretada pelo cérebro humano em colorações distintas (SKOOG; HOLLER; CROUCH, 2012; BENAÏSSA, 2012).

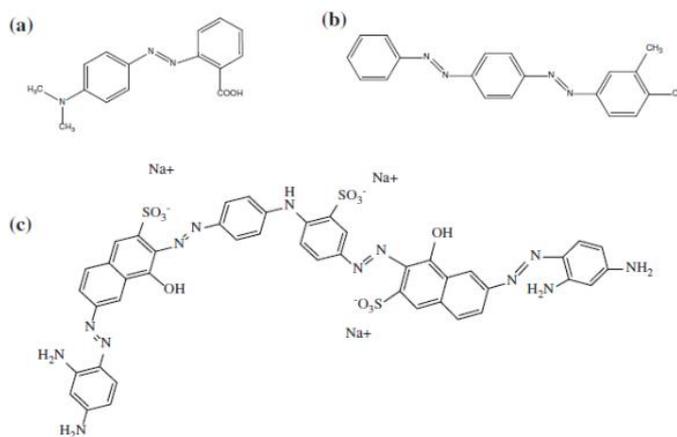
Além dos cromóforos, nas moléculas dos corantes há grupos denominados de auxocromos que possuem capacidade de auxiliar a cor, podendo ser ácidos, como o $COOH$, SO_3 e OH ou básico, como o NH_2 , NHR e NR_2 (TEMESGEN, et al., 2018). Fazem parte do grupo de auxocromos: ácido sulfônico, hidroxila, ácidos carboxílicos e grupos aminos (BENAÏSSA, 2012; TEMESGEN, et al., 2018). Ademais, os auxocromos são usados para aumentar a solubilidade e fixação dos corantes (BENAÏSSA, 2012;

TEMESGEN, et al., 2018). E, por fim, o que resta da molécula do corante é denominada de matriz (TEMESGEN, et al., 2018).

Existem diferentes formas de classificações dos corantes, no entanto, as formas de classificações mais utilizadas são de acordo com suas estruturas químicas, estrutura nuclear, origem de obtenção e aplicações industriais (YUAN, et al., 2020). Os corantes utilizados nas indústrias têxteis são, em grande parte, classificados de acordo com suas estruturas químicas, principalmente a região do grupamento cromóforo, com os representantes: azos, nitros, ftalocianina e os corantes de diatilmetano (NIKFAR; JABERISDOOST, 2014; YUAN, et al., 2020).

Os corantes Azos estão presentes em diversas indústrias e são associados como um dos principais grupos de corantes utilizados na indústria têxtil, representando cerca de 60-70% dos corantes utilizados nesse segmento industrial (LANG et al., 2013; BRUSCHWEILER; MERLOT, 2018; SINHA, et al., 2018). Os corantes Azos podem ser moléculas assimétricas ou simétricas, apresentam o grupamento $-N=N-$, o grupo Azo, Figura 4, e possuem heterociclos em sua cadeia molecular o que confere sua coloração brilhante (SHINDE; SEKAR, 2019).

Figura 4 - Estrutura de três corantes Azos

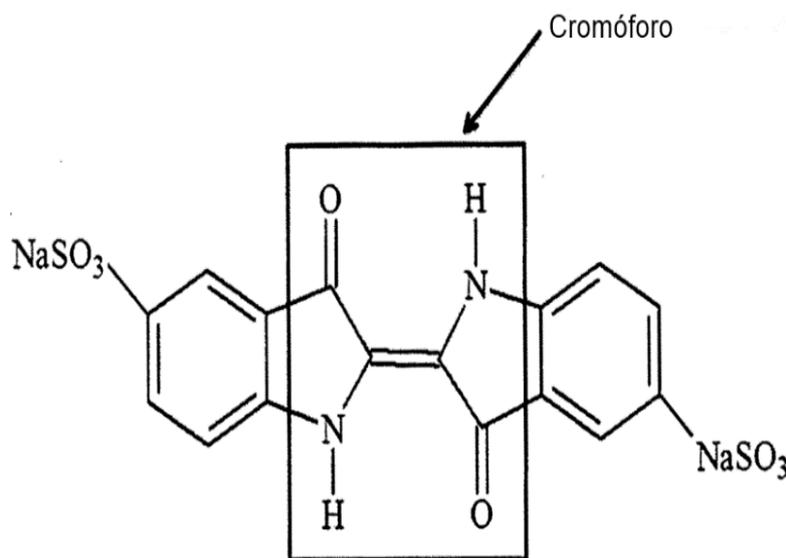


(a) Acid Red 2; (b) Disperse Yellow 7; (c) Direct Black 22.

Fonte: GÜRSES et al., (2016).

Outra classe de corantes bastantes utilizados são os Indigóides. Os Indigóides são conhecidos como um dos primeiros corantes já reportados e podem ser empregados em diversos tipos de tecido, como no algodão, na lã ou até mesmo no linho (LI, et al., 2015; ZOLLINGER, 1991). O grupo dos Indigóides apresentam na sua molécula o NaSO_3 que contribui para a solubilidade dessa molécula em água e, além disso, a sua estrutura apresenta o anel benzênico em sistema conjugado que promove a coloração desses tipos de corantes (SEGURA; RÍOS; CRUZ, 2019). Os Indigóides naturalmente não são solúveis em águas, pois formam cristais devido suas configurações, o que torna necessário passar por processos de transformações químicas (SEGURA; RÍOS; CRUZ, 2019). No Brasil, o único corante permitido dessa classe é o Índigo-carmim, representando na Figura 5 (PAVANELLI, 2010). O corante Índigo-carmim é bem empregado no setor têxtil brasileiro, possui a presença do grupo $(\text{C}=\text{O})$ e é utilizado no tingimento de fibras poliésteres e jeans (BASTIAN, 2009; SEGURA; RÍOS; CRUZ, 2019). Cerca de 30% do Índigo-carmim não é fixado no produto têxtil e, desse modo, é descartado como efluente, apresentando impacto ambiental quando não tratado adequadamente (OLIVEIRA, et al., 2020).

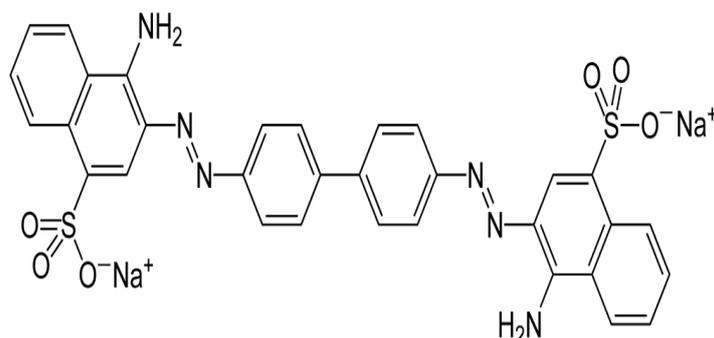
Figura 5 - Estrutura do corante Índigo-carmim.



Fonte: QUINTERO; CARDONA (2010) com adaptações.

O Corante Disperso é uma classe de corantes utilizados na indústria têxtil e cerca de 50% desses corantes possuem o grupamento Azo (CLARK, 2011). Geralmente, os corantes desse grupo são insolúveis em água e, por isso, são aplicados em fibras hidrofóbicas, por dispersão aquosa, exemplo das fibras sintéticas derivadas do petróleo, como o poliéster, mas também podem ser aplicados no nylon, acetatos e acrílicos (CLARK, 2011). O Corante Direto, por sua vez, possui esse nome por ser um dos primeiros corantes capazes de aderir em fibras naturais, como o algodão, sem a necessidade de um auxiliador (mordente) e tem como o primeiro representante o corante Vermelho Congo que possui grande afinidade as fibras de celulose, Figura 6. Os grupamentos cromóforos dos Corantes Diretos apresentam estruturas diversificadas podendo ser: azos, estilbeno, ftalocianinas, entre outras (CHATTOPADHYAY, 2011).

Figura 6 - Estrutura do Corante Direto: Vermelho Congo.



Fonte: FARIAS et al., (2018)

3.4 EFLUENTE TÊXTIL E SEUS IMPACTOS

Os efluentes têxteis causam diversos impactos ao serem descartados no meio ambiente sem o devido tratamento. Nessa perspectiva, estima-se que as indústrias têxteis são um dos maiores contribuintes para a poluição global, tendo em vista a quantidade de efluentes produzindo por essas indústrias (OLISAH; ADAMS; RUBIDGE, 2021). Sendo assim, o valor de consumo de água têxtil varia entre 80 L - 400 L por Kg de produto,

dependendo do tipo de material e tecnologia utilizada (OZTURK, et al., 2016). Cerca de 80% das águas utilizadas nas indústrias têxteis são descartadas na forma de efluentes atreladas com os compostos utilizados durante as etapas do processo fabril de amolecimento, desengorduramento, brilho, acabamento, entre outros (KISHOR, et al., 2021). Assim, os efluentes são formados com alta carga de compostos diversos, como hipocloritos de sódio, ácidos, metais pesados, corantes, e outros compostos utilizados para melhorar a aparência da fibra (MOGAMI, 2012; KARCI, 2014). Calcula-se que mais de 50% desses químicos são diretamente eliminados na forma de efluente e, dessa porcentagem, calcula-se que 17% a 20% dos contaminantes advém das etapas de tingimentos e acabamento (KHATRI, et al., 2015; HOLKAR, et al., 2016). Isso porque cerca de 50% dos corantes não são fixados na fibra, persistindo na fase líquida e, como consequência, são eliminados associados com a água formando o efluente (KANT, 2012; SEOW; LIM, 2016; YUAN, et al., 2020).

Os metais pesados, como mercúrio, cromo, chumbo e arsênio estão associados os corantes utilizados na indústria têxtil e, desse modo, estão presentes também nos efluentes. Os metais pesados, uma vez em contato com o corpo hídrico, são transportados, associados aos corantes, por longas distâncias, persistindo por longo período no corpo hídrico e no solo o que, em grandes quantidades, promovem diversos efeitos negativos no ecossistema: reduzir a fertilidade das plantas, reduzir as atividades fotossintéticas, bioacumulação, inibição enzimática e inibição celular o que pode causar mortes dos microrganismos, plantas, animais e humanos (GUPTA, et al., 2014; SINGHA, et al., 2021; DUTTA; BHATTACHARJEE, 2022).

Os corantes, por sua vez, ao serem descartados no meio ambiente podem ser solúveis ou insolúveis na água e promovem diversas consequências para a localidade de descarte. Por sua coloração, os corantes ao serem descartados em corpos aquáticos sem nenhum tratamento prévio, bloqueiam a luz solar e, dessa forma, os produtores primários são inibidos de fazer fotossíntese e toda cadeia trófica é afetada (ELGARAHY, et al., 2021). Outro fator é a ingestão desses corantes pelos organismos aquáticos, como os peixes, esses não conseguem metabolizar os corantes o que causam acúmulos de intermediários tóxicos em seus organismos, podendo inibir as funções celulares até a morte (ELGARAHY, et al., 2021). Ademais, os corantes podem promover bioacumulação e toxicidade; têm a capacidade de serem mutagênico e carcinogênico; alteram a qualidade em relação a Demanda Biológica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio

(DQO), o pH, a quantidade dos compostos orgânicos e sólidos suspensos (EL-KASSAS; MOHAMED, 2014; HUSAIN, 2010; SEOW; LIM, 2016). Ademais, os corantes podem ter efeitos sinérgico com outros poluentes encontrados no ambiente o que acentuam os danos que esses podem causar (SAMCHETSHABAM; HUSSAN; CHOUDHURY, 2017).

Os corantes Azos, os corantes mais presentes na indústria têxtil, em contato com o intestino humano fazem as bactérias intestinais convertê-los em intermediários tóxicos, gerando efeitos negativos em todos os tecidos humanos (KISHOR, et al., 2021). Ademais, os corantes Azos, por meio da sua estrutura molecular, é resistente a degradação conferindo, assim, uma problemática de tratamento de efluente têxtil, principalmente, pois cerca de 60 – 70% dessas moléculas são descritas na literatura como tóxicas e carcinogênicas (SHINDE; SEKAR, 2019). Os Indigóides, especialmente o Índigo-carmim, são associados a alta toxicidade aos humanos e podem causar hipertensão, doenças cardiovasculares, problemas respiratórios, náuseas, vômitos e diarreias (BARKA, et al., 2008). Uma vez em contato com a pele, podem desencadear irritações, injúria na córnea de forma permanente e, além disso, podem estar associados ao desenvolvimento de tumores em humanos (OTHMAN; MOHAMEND; IBRAHEM, 2007).

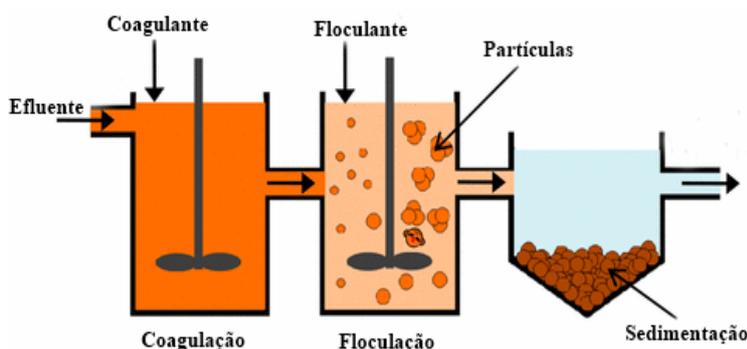
3.5 TRATAMENTO DO EFLUENTE TÊXTIL

3.5.1 Tratamentos Físico-químicos

Os efluentes têxteis possuem variedades de compostos, como altas concentrações de sais, metais pesados e corantes. Os tratamentos, geralmente, acontecem em diversas etapas químicas, físicas e biológicas (KUMAR; BHAT, 2012). Os métodos físicos são bem-vistos por serem técnicas de poucas necessidades químicas, de design simples e de facilidade operacional (CAO, et al., 2021). Por outro lado, os métodos físicos produzem quantidades de lodos e subprodutos com toxicidades elevadas (AKPOMIE; CONRADIE, 2020). Os métodos físico-químicos de coagulação e floculação, têm baixa eficiência de descoloração, principalmente com corantes reativos do tipo Tina (Indigóides) (LIANG, et al., 2014). Na coagulação, agentes coagulantes são empregados, como alguns

polímeros e metais salinos, esses agentes coagulantes são adicionados nos tanques de tratamento promovendo a atração das partículas presentes nos efluentes (MATHURAM, et al., 2018). O processo de floculação, geralmente, é a etapa seguinte após a coagulação e, desse modo, é a etapa que promove a agregação das moléculas em conglomerados, o que facilita a remoção dessas partículas na água por meio de processos posteriores de sedimentação ou filtração (MAHMUDABADI, et al., 2018). Esses métodos de coagulação-floculação têm preço mais acessíveis e, geralmente, são utilizados como etapas essenciais no processo de tratamento dos efluentes têxteis, porém esses tratamentos necessitam de ajuste de pH do efluente e, além disso, produz altas quantidades resíduos. (SAMSAMI, et al., 2020).

Figura 7 - Tratamento Físico-químico: Coagulação, Floculação e Sedimentação.



Fonte: TEH, et al., (2016) com adaptações.

No processo de adsorção, são adicionados no tanque de tratamento agentes adsorventes, podendo ser dois tipos de processos: o processo de adsorção física ou o processo de adsorção química baseados nos mecanismos de adsorção da partículas-adsorventes (BURAKOV, et al., 2018). Os agentes adsorventes, como óxido de alumínio, sílica em gel, carvão ativado, entre outros, possuem em suas estruturas poros que aumentam a área de contato do adsorvente com o efluente e, assim, geram maiores remoções dos compostos presentes (JADHAV, 2021). Além disso, a capacidade de remoção das impurezas dos efluentes pelo processo de adsorção é associada a composição dos agentes adsorventes e suas características químicas e físicas, geralmente atuam por

forças intermoleculares, como interações hidrofóbicas, Van Der Waals, interações de hidrogênio, entre outras (MUDHOO, et al., 2020).

Outros tipos de tratamentos físicos mais eficientes, são os que utilizam membranas com diminutos poros, no qual as impurezas do efluente ficam aderidas (SAMSAMI, et al., 2020). As Ultrafiltrações, possuem poros na faixa de 0,1 a 0,001 μm , já as Nanofiltrações os poros são de aproximadamente 0,5 a 0,2 nm de diâmetro (BEHERA, et al., 2021; JADHAV; SRIVASTAVA, 2013). Entretanto, para a utilização desses métodos, faz-se necessária a presença de grade pressão, o que encarece o processo de tratamento do efluente (DASGUPTA, et al., 2015).

Há métodos de oxidação que mostram eficientes, como Processos Avançados de Oxidação (PAO) e Oxidações Químicas (ASGHAR, 2015). O PAO é o processo que produz radical hidroxila na presença de energia, atuando na degradação de moléculas recalcitrantes por meio da oxidação (ASGHAR, 2015). Já a Oxidação Química, utiliza agentes oxidantes, como o ozônio para formar radicais hidroxila (ASGHAR, 2015). Entretanto, o uso de ozônio pode formar subprodutos tóxicos no processo de tratamento do efluente, além de que o PAO é um processo muito caro, pois, há uma grande demanda de energia o que encarece o processo de tratamento (ASGHAR, 2015; TEHRANI-BAGHA; MAHMOODI; MENGER, 2010). Apesar de eficientes, esses métodos possuem algumas desvantagens, como alto custo de investimento inicial; possível geração de outros tipos de resíduos que necessitam tratamentos adicionais; além da alta demanda de energia para a reutilização desses sistemas de tratamento (JADHAV; SRIVASTAVA, 2013).

3.5.2 Tratamento Biológico

O tratamento biológico mostra-se uma alternativa frente aos métodos químicos e físicos devido ao seu baixo custo e, além disso, é considerado uma técnica sustentável que pode utilizar: algas, fungos, leveduras, plantas e bactérias (GUELLI, 2008). As bactérias para o biotratamento podem ser aeróbias, anaeróbias ou facultativas (TELKE; KADAM; GOVINDWAR, 2015). Utilizado mecanismo de ação de biodegradação, essas bactérias conseguem crescer na presença dos corantes convertendo-os em formas menos nocivas por meio de enzimas, como a lacases, a lignina peroxidase, a tirosinase, a hexano

oxidase, entre outras enzimas (TELKE; KADAM; GOVINDWAR, 2015). Dessa forma, a eficiência de tratamento de biodegradação enzimática envolve vários fatores, como a produção das enzimas, atividade catalítica enzimática, especificidade das enzimas para um corante, entre outros fatores (TELKE; KADAM; GOVINDWAR, 2015). Além do método de biodegradação enzimática, as bactérias podem remover os corantes utilizando o método de adsorção (ROY, et al., 2018). Esse tipo de mecanismo envolve as interações entre as moléculas dos corantes têxteis e grupos químicos presentes na superfície bacteriana e, assim, o corante fica adsorvido, sendo facilmente removido da água residual (SRINIVASAN; VIRARAGHAVAN, 2010).

Já em biodegradação utilizando fungos, possuem maior usabilidade na indústria de tratamento de efluente, devido à capacidade de fácil separação sólido-líquido do fungo no efluente após o término do processo (MISHRA; MALIK, 2013). Os fungos podem ser os que não degradam lignina como o *Aspergillus niger*, que em estudos sua biomassa mostrou sua capacidade de atuar como adsorvente (SALEM, et al., 2019). Porém, os fungos que mais apresentam capacidade de degradação de efluente têxtil são os relacionados à decomposição da madeira, como as linhagens mais estudados no quesito descoloração de corantes: *Trametes versicolor*, *Phanerocheate chrysosporium*, *Irpex lacteus* e *Pleurotus ostreatus* (YANG, et al., 2011; BAZANELLA, et al., 2013). Esses fungos necessitam de várias enzimas para degradar moléculas recalcitrantes, a exemplo das moléculas de lignina, e, dessa forma, produzem enzimas, como da lignina peroxidase, da manganês peroxidase e da lacase, que são as principais enzimas relacionadas à degradação de corantes em efluentes têxtil (DESHMUKH; KHARDENAVIS; PUROHIT, 2016). Além disso, a eficiência de degradação depende de diversos fatores, como a temperatura, pH, tipo de fonte de carbono, nitrogênio entre outras, pois esses fatores alteram a produção das enzimas, as estabilidades enzimáticas e as atividades catalíticas (RUTA, et al., 2010; RANGELOV; NICELL, 2015).

Quando se trata de processo de biodegradação em escala industrial, os fungos, usualmente, podem ser imobilizados em matrizes, pois além de facilitar o processo de tratamento de efluentes têxtil pela capacidade de reutilização da biomassa em um novo tratamento, também auxiliam na resistência dos fungos aos estresses ambientais e, conseqüentemente, aumentam a produções de enzimas degradadoras e adsorções (PRZYSTAS; ZABLOCKA-GODLEWSKA; GRABINSKA-SOTA, 2018). No entanto, a grande dificuldade de muitos trabalhos é encontrar materiais que sirvam de suporte para

a imobilização dos fungos, isso porque muitas matrizes devem ser analisadas em relação a capacidade dos fungos descolorir, sua capacidade de aderir a matriz e em qual etapa do processo de descoloração os fungos serão inseridos.

3.5.2.1 *Trametes* como fungo capaz de tratar efluente têxtil

O gênero *Trametes*, pertence a ordem Polyporales, filo Basidiomycota e o reino Fungi. É tido como um fungo de degradação de madeira presente em todo continente, especialmente nas zonas temperadas e regiões boreais, sendo presente nesse gênero o sistema de hifas trimíticas e basidiósporos não amiloides de paredes finas. (GILBERTSON; RYVARDEN 1987; HATTORI; SOTOME 2013). Sua primeira descrição foi por Fries em 1835 que utilizou a espécie *Trametes suaveolens* (L.) Fr. (OLOU, et al., 2020)

Esse fungo possui histórico com a medicina, pois muitas espécies desse gênero já foram utilizadas na medicina tradicional chinesa (WU, et al, 2019). Ademais, há estudos que relacionam *Trametes* e sua capacidade de produzir biocompostos que podem ser aplicados contra o câncer (ZMITROVICH, et al. 2012; CRUZ, et al. 2016). Ademais, biomoléculas desse fungo vêm sendo estudadas contra infecções respiratórias, urinária, hepatite crônica e, além disso, mostraram resultado contra *Candida albicans*, *Bacillus subtilis*, *C. parapsilosis*, *E. coli*, *K. pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Micrococcus luteus*, *P. fluorescens*, *S. aureus*, *Methicillin-resistant S. Aureus* e *S. epidermidis* (GEBREYOHANNES, et al. 2019; HASSAN, et al, 2019). No que tange à biodegradação, *Trametes*, por ser um fungo relacionado à degradação de madeira, seus aparatos enzimáticos e sua capacidade de adsorção favorecem a degradação e remoção de moléculas recalcitrantes, como as dos corantes presentes em efluentes têxtil (EZIKE, et al., 2020).

Dessa forma, são reportadas na literatura várias aplicações de diversas espécies de *Trametes* em relação à biodegradação de corantes utilizados na indústria têxtil. Exemplo do trabalho de Noreen et al. (2021), que utilizaram as enzimas lacases de *Trametes versicolor* imobilizadas em uma matriz de Álcool polivinílico (PVA) e Alginato para a descoloração de vários corantes têxteis, conseguindo uma descoloração de 92% do Corante Reativo T Blue e 77,4% do Ácido Black 172. Já no estudo de Thamrapphaphon

et al., (2022), testaram a capacidade do fungo *Trametes hirsuta* descolorir uma mistura dos corantes Navy EC-R, Ruby S3B e Super Black G em uma real amostra de efluente têxtil, conseguindo, assim, uma ótima descoloração de 95,39 % na presença de nitrato de amônio. A espécie *T. lactinea*, por sua vez, vem sendo reportada, recentemente, para a descoloração de corantes da indústria têxtil (SANTANA et al., 2021). Nesse cenário, a espécie *T. lactinea* mostra-se como uma fonte ao biotratamento de efluente têxtil com a sua capacidade de remover os corantes Índigo-carmim, que é utilizado na indústria têxtil como corante para tingimento, com uma porcentagem de 85,06%. (SANTANA, et al., 2021). No entanto, há poucos artigos na literatura que associem esse microrganismo e sua capacidade de descolorir e biodegradar efluentes têxteis.

4 METODOLOGIA

4.1 MICRORGANISMOS PARA O TRATAMENTO DO EFLUENTE TÊXTIL

Os microrganismos utilizados foram cedidos pelo Laboratório de Biologia de Microrganismos do Departamento de Biologia Molecular localizado no Centro de Ciências Exatas e Naturais (CCEN) da Universidade Federal da Paraíba e pela Coleção de Microrganismos do Departamento de Antibióticos da Universidade Federal de Pernambuco. Dessa forma, 6 microrganismos, previamente identificados, foram utilizados nesse projeto, sendo 4 fungos (F24 = *Aspergillus spp.*; F48 = *Aspergillus spp.*; F98 = *Aspergillus fumigatus*; FTL01 = *Trametes lactinea* e 2 bactérias (T9 = *Bacillus subtilis*, T19 = *Alcaligenes faecalis*). O microrganismo selecionado como modelo foi identificado por meio das análises das regiões do DNA ribossomal ITS e LSU no trabalho de Santana et al., (2021).

4.2 AMOSTRAS DO EFLUENTE TÊXTIL

As amostras do efluente da indústria têxtil foram coletadas da Estação de Tratamento da lavanderia de Jeans localizada no Polo de Confecções do Agreste de Pernambuco, especificamente no polo Têxtil Industrial de Caruaru-Pernambuco. Sendo assim, após a coleta da amostra em um recipiente adequado, uma parte do efluente foi encaminhada para determinação das características físico-químicas e a outra parte mantida sob refrigeração no laboratório para os ensaios de descoloração e toxicidade. Foi utilizado apenas um lote do efluente coletado para a realização dos experimentos do projeto.

4.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO EFLUENTE

4.3.1 Demanda Bioquímica de oxigênio e Demanda química de Oxigênio

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO) foram realizadas em parceria com o Laboratório de Tecnologia Química da UFPE

utilizando os padrões adotados pelos Métodos de Exame da Água e Resíduos da Associação de Saúde Pública Americana *Standard* (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION, 1999).

4.3.2 Compostos fenólicos

Foi utilizado o método de Folin-Ciocalteu para a determinação dos compostos fenólicos do efluente. Uma curva de calibração foi construída adicionando, em uma placa de 10 poços, 20 μ L de uma solução de ácido gálico (1 mg/mL) e o reagente Folin (10 a 100 μ g/mL) em cada poço. Sendo assim, a placa foi incubada por 120 minutos e, por fim, lida à 735 nm (SINGLETON; ORTHOFER; RAVENTÓS, 1999). Para preparo da reação, foram utilizados os reagentes Folin 1:10, água destilada, carbonato de sódio (7,5%) e os efluentes testados, sendo incubadas por 120 min e as absorvâncias lidas em espectrofotômetro à 735 nm. Por fim, a quantidade de compostos fenólicos presente nos efluentes foi determinada por meio da utilização da regressão linear da curva de calibração do ácido gálico (SINGLETON; ORTHOFER; RAVENTÓS, 1999).

4.3.3 Análise dos compostos inorgânicos

Os compostos inorgânicos foram analisados, incluindo metais pesados, em parceria com a Universidade Federal do Ceará (UFC). Foram feitas análises do efluente bruto, do efluente tratado pela Indústria têxtil e do efluente tratado pelo microrganismo selecionado (*T. lactinea*). Sendo assim, foram analisadas a presença dos compostos: alumínio (Al), antimônio (Sb), arsênio (As), boro (B), bário (Ba), bismuto (Bi), cálcio (Ca), cádmio (Cd), cobalto (Co), cobre (Cu), cromo (Cr), chumbo (Pb), escândio (Sc), estanho (Sr), ferro (Fe), fósforo (P), magnésio (Mg), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni), potássio (K), selênio (Se), sódio (Na), vanádio(V) e zinco (Zn). Desse modo, foram realizadas digestões de cada efluente no forno Microondas Milestone – Ethos, acoplado ao *software easycontrol*, utilizando a metodologia *Industrial Wastewater*

disponibilizada pelo fabricante. Com isso, 0,5 g do efluente foi submetida a uma digestão ácida com 8mL de HNO₃ (65%), 2mL de H₂O₂ (30%) e 2 mL de HF (40%). Após a digestão ácida, as soluções coletadas foram submetidas às análises dos compostos inorgânicos, utilizando Espectroscopia de Emissão Atômica.

4.4 TRIAGEM DOS MICRORGANISMOS CAPAZES DE DESCOLORIR O EFLUENTE TÊXTIL

Para o processo de triagem, inicialmente, o efluente bruto foi submetido a uma varredura em espectrofotômetro no espectro UV-Vis (em intervalos de 5 nm) de 400 nm à 700 nm, com a finalidade de verificar o ponto de maior absorbância e, com base nessa linha experimental, foi possível delimitar a região de comprimento de onda para os testes de descolorações com os microrganismos. Para promover a aclimação dos microrganismos no meio, esses foram incubados em meios para pré-inóculos sólidos que foram escolhidos com base nos protocolos de cultivos do grupo de pesquisa do Laboratório de Biologia de Microrganismos. Desse modo, os meios, Agar Dextrose Batata (BDA), para cultivo dos fungos, e Meio de Infusão de Cérebro Coração (BHI), foram preparados com acréscimo de 5% de efluente. Os microrganismos seguiram incubados por 5 dias a 25 °C e, após esse estágio de pré-inóculo, foram retirados 5 blocos de gelose de 9 mm e adicionados, em triplicata, em Erlenmeyers contendo 25 mL do efluente bruto e 5% de glicose (v:m). Sendo assim, posteriormente incubados em temperatura ambiente ($\pm 28^{\circ}\text{C}$) e, no quinto dia, as amostras foram centrifugadas a 8000 xg por 5 min e os sobrenadantes foram submetidos a leituras espectrofotométricas no comprimento de onda entre 600-700, variando a cada 10 nm. Para selecionar o microrganismo com maior capacidade de descoloração, os dados obtidos, em absorbâncias, foram submetidos ao cálculo do índice de descoloração Equação 1, seguindo metodologia de Chen (2002).

Equação 1 - (%) Descoloração

$$\% D = \frac{Abs\ o - Abs\ fi}{Abs\ o} \times 100$$

% D = Porcentagem de descoloração

Abs O = Absorbância inicial

Abs FI = Absorbância final

4.5 PLANEJAMENTO FATORIAL $2^3 + 3$ PONTOS CENTRAIS

Inicialmente foram realizados ensaios preliminares monofatorial para pH (4, 5, 6 e 7), temperatura (25 °C, 30 °C, 40 °C e 45 °C) e blocos de gelose (1, 2, 5). Esses ensaios foram realizados por 5 dias, em triplicata, em Erlenmeyer com capacidade de 100 mL, contendo apenas o microrganismo, obtido da triagem, e 25 mL de efluente. Após esse procedimento, os dados foram analisados em absorbância (660-670 nm) e, conseqüentemente, foram escolhidas as melhores variáveis para o planejamento fatorial e o ponto central. O Planejamento Fatorial, por sua vez, foi realizado em 2^3 com 3 pontos centrais utilizando como variáveis independentes: o efeito da concentração de microrganismo através de blocos de gelose (1, 3 e 5 blocos), tempo de descoloração (5, 10 e 15 dias) e pH (5, 6, 7, 8) com base na matriz disposta na Tabela 1.

Tabela 1 - Variáveis de entrada independentes (Dias, Blocos de gelose e pH) em níveis superiores (+) e inferiores (-).

Variáveis	Nível (-)	Nível (+)
Dias	5	15
Blocos	1	5
pH	5	8

Fonte: A autora (2021).

Sendo assim, os ensaios do planejamento foram realizados em Erlenmeyer com capacidade de 100 mL, no qual foram adicionados, em cada ensaio, 25 mL do efluente bruto com concentração fixa de glicose (0,05%). Por fim, os ensaios foram incubados,

sem agitação, Figura 8, e realizado cálculo da descoloração utilizando a Equação 1 no final de cada protocolo do planejamento.

Tabela 2 - Matriz de planejamento fatorial $2^3 + 3$ pontos centrais.

Variáveis independentes			
Experimentos	Dias	Blocos	pH
1	(-) 5	(-) 1	(-) 5
2	(+) 15	(-) 1	(-) 5
3	(-) 5	(+) 5	(-) 5
4	(+) 15	(+) 5	(-) 5
5	(-) 5	(-) 1	(+) 8
6	(+) 15	(-) 1	(+) 8
7	(-) 5	(+) 5	(+) 8
8	(+) 15	(+) 5	(+) 8
9	(0) 10	(0) 3	(0) 6,5
10	(0) 10	(0) 3	(0) 6,5
11	(0) 10	(0) 3	(0) 6,5

Fonte: A autora (2021).

O programa *Statistica* versão 7.0 foi empregado para desenhar o experimento e foi utilizada a ANOVA para analisar a variância estatísticas dos dados obtidos e, como consequência, validar ou não o modelo experimental.

Figura 8 - Ensaio do planejamento fatorial.



Fonte: A autora (2021).

4.5.1 Otimização da eficiência descoloração por *T. lactinea*

Após a realização do Planejamento Fatorial $2^3 + 3$ pontos centrais, o modelo serviu de base para realização de experimentos de otimização da eficiência na descoloração por *T. lactinea*, utilizando como a base as variáveis de entradas, independentes, que foram significativas no teste de significância, ANOVA, do Planejamento Fatorial. Sendo assim, foi realizado um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), Tabela 3, e, por fim, analisada a eficácia da otimização.

Tabela 3 - Matriz do planejamento DCCR 2².

Experimentos	Tempo (h)	pH
1	59	4,2
2	59	7,8
3	229	4,2
4	229	7,8
5	23	6
6	264	6
7	144	3,45
8	144	8,5
9 (C)	144	6
10 (C)	144	6
11 (C)	144	6

Fonte: A autora (2021).

4.6 TOXICIDADE AGUDA

Os testes de toxicidades agudas foram realizados utilizando como modelo as sementes de *Cucumis sativus* (pepino), fitototoxicidade, e com o microcrustáceo *Artemia salina*. Esses testes foram realizados em dois momentos, o primeiro com o efluente bruto, logo após a coleta no sítio de tratamento, e em um segundo momento com o efluente tratado com o microrganismo da triagem, sendo os resultados plotados e comparados.

4.6.1 Fitotoxicidade

Para verificar a toxicidade dos efluentes, foram realizados os ensaios de fitotoxicidade utilizando sementes comerciais de *Cucumis sativus* (pepino) (índice de germinação 99,99 %) da marca Topeseed Garden com validade até 02/2022, lote 06631, seguindo a metodologia de Tiquia-Arashiro (1994), com adaptações do grupo de

pesquisa. Sendo assim, foram realizadas, em triplicata, os ensaios de germinação de sementes com o efluente bruto, efluente tratado pela indústria têxtil e o efluente tratado pelo microrganismo selecionado da triagem. As amostras dos efluentes foram devidamente filtradas em filtro de seringa, de 0,22 μm , para evitar que partículas e microrganismos afetassem a germinação. As sementes, por sua vez, foram sanitizadas em hipoclorito a 2% e lavadas com água destilada estéril. Posteriormente, 10 sementes da *C. sativus* foram alocadas de maneira equidistantes em placas de Petri contendo papel de filtro qualitativo, previamente esterilizado, e regadas com 3 mL de cada efluente teste Figura 7. O controle positivo foi realizado utilizando apenas água destilada autoclavada. Por fim, as sementes na placa de Petri foram incubadas em incubadora BOD (SL 224) a 25°C na ausência de luz por 4 dias. Também foram realizados ensaios com diferentes diluições dos efluentes testados (20, 40, 60 e 80%).

Figura 9 - Preparo das sementes de *Cucumis sativus*, em placa de Petri, para o teste de fitotoxidade.



As sementes foram regadas com 3 mL efluente tratado e, posteriormente, incubadas em uma incubadora BOD para promover a germinação. Fonte: A autora (2021).

Após o período de incubação, foram submetidas as medições das raízes germinadas utilizando um paquímetro digital. Com isso, foram analisados os índices de

germinações, %G (Percentual de germinação); %CR (Crescimento da Raiz) e IG (Índice de Germinação), por meio das Equações 2, 3 e 4.

Equação 2 - Percentual de Germinação

$$(\%G) = \frac{\text{Média de sementes testes germinadas} \times 100}{\text{média de sementes germinadas no controle}}$$

Equação 3 - Crescimento da Raiz

$$(\%CR) = \frac{\text{Média do crescimento das raízes das sementes teste} \times 100}{\text{média do crescimento das raízes no controle}}$$

Equação 4 - Índice de Germinação

$$(\text{IG}) = \frac{(\% \text{Germinação da semente}) \times (\% \text{Crescimento da raiz})}{100\%}$$

4.6.2 Toxicidade aguda em *Artemia salina*

Os cistos de *Artemia* foram obtidos em uma loja local de aquarismo. Inicialmente, seguindo a metodologia de Meyer et al., (1982) com adaptações do grupo de pesquisa, foi preparada uma solução salina servindo de base para eclodir os cistos. Para o preparo da solução foi utilizado Cloreto de sódio (NaCl 30 g/L) em água destilada autoclavada. O pH foi ajustado entre 8,0 e 9,0, utilizando bicarbonato de sódio (NaHCO₃). Foram adicionados os cistos da *Artemia* em 200 mL da solução salina em um Erlenmeyer de capacidade 1 L e incubados por 48 h com aeração constante utilizando bomba de oxigênio para aquários e fotoperíodo positivo para luz. Após o período de eclosão dos cistos, foram feitas diluições (20, 40, 60, 80) dos efluentes testes associados com NaCl e o pH regulado (8-9). Foram adicionados 3 mL de cada diluição, em triplicata, em placas de 24 poços e adicionadas 10 *Artemias* eclodidas em cada poço. Após 24h de inoculação foi contado o número de naúplios vivos e foi determinada a taxa de mortalidade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DO EFLUENTE BRUTO

Com base na metodologia utilizada foi possível estabelecer parâmetros físico-químicos do efluente bruto, dispostos na Tabela 4. Com os dados obtidos na referida tabela e os valores presentes na Resolução CONAMA n° 430 de 2011, detectou-se que grande parte dos parâmetros inorgânicos presentes no resíduo coletado da indústria têxtil, já se encontravam dentro dos limites estabelecidos na norma do CONAMA, como pH, arsênio, bário, cádmio, cobre, cromo, chumbo, ferro, níquel, selênio e o zinco.

O DBO, com 10 mg/L, apresentou dentro dos padrões do CONAMA (430/2011). A quantidade de DQO, por sua vez, foi de 314,893 mg/L e, embora não seja um parâmetro disposto na Resolução do CONAMA (430/2011), está disposta em Normas Estaduais, como no Conselho Estadual do Meio ambiente do Paraná (CEMA), que o limite de DQO estabelecido é 50 mg/L, mostrando, assim, que a quantidade de DQO encontrado no efluente bruto está elevada. Por outro lado, o Estado de Pernambuco não possui um limite padrão para o DQO de efluentes indústrias. Em relação à literatura, os valores de DBO e DQO encontrados no presente trabalho são inferiores aos dados do estudo de Pizato et al., (2017) que analisaram um efluente de lavanderia de jeans com valores de 629 mg/L (DQO) e 328 mg/L (DBO). Esses padrões (DQO/DBO) correspondem a capacidade do efluente bruto de ser biodegradado e, desse modo, quanto maior a quantidade desses parâmetros, menor será capacidade desse efluente de ser biodegradado (PIZATO, et al., 2017). Geralmente, há presença de altos níveis de DBO e DQO nos efluentes têxteis, principalmente devido à presença de compostos utilizados durante o beneficiamento, como a lavagem com a utilização de detergentes ou outros compostos orgânicos (PIZATO, et al., 2017).

Alguns compostos inorgânicos estavam acima dos níveis de limite da resolução do CONAMA (430/2011), como o boro (9,39mg/L), que é utilizado na indústria têxtil, principalmente na forma de ácido bórico, servindo com auxiliares têxteis e branqueadores (AKARSLAN, 2015). Ademais o estanho, que é considerado um metal pesado, apresentou com 23,49 mg/L, acima do limite estabelecidos pelo CONAMA que é de 4 mg/L. O estanho está presente em diversos corantes utilizados na indústria têxtil, ajudando no processo de tingimento das fibras, por isso é esperado a sua presença nos

efluentes têxteis (SINGHA, et al., 2021). Outro elemento que mostrou presente além dos limites do estabelecidos na Resolução (430/2011) foi o manganês (3,60mg/L), esse pode ser utilizado na indústria têxtil na forma de acetato de manganês tetra-hidratado, muito utilizado como catalisador das reações realizadas na indústria têxtil (SA'ADAN, et al., 2015). Ademais, os compostos fenólicos totais, estavam fora do limite de lançamento e, geralmente, estão presentes nos efluentes têxteis como partes de diversos corantes utilizados na indústria têxtil (PIZATO, et al., 2017). As cargas de compostos fenólicos de efluentes industriais são descritas com potencialidade tóxica para os animais e mutagênicas (ANKU, et al., 2017).

Tabela 4 - Parâmetros físico-químicos do efluente têxtil bruto em comparação com o limite de lançamento estabelecido pelo CONAMA n° 430/2011.

Parâmetros	Unidade	Resultados	Limite de lançamento
pH	-	6,5	5 - 9
DBO	mg/L	10	120
Compostos Fenólicos	mg/L	8,9	0,5
DQO	mg/L	314,893	*
Alumínio (Al)	mg/L	49,52 ± 11,50	*
Antimônio (Sb)	mg/L	-	*
Arsênio (As)	mg/L	-	0,5
Boro (B)	mg/L	9,39 ± 2,77	5
Bário (Ba)	mg/L	-	5
Bismuto (Bi)	mg/L	-	*
Cálcio (Ca)	mg/L	-	*
Cádmio (Cd)	mg/L	-	0,2
Cobalto (Co)	mg/L	-	*

Cobre (Cu)	mg/L	-	1,0
Cromo (Cr)	mg/L	-	0,1
Chumbo (Pb)	mg/L	-	0,5
Escândio (Sc)	mg/L	-	*
Estanho (Sn)	mg/L	23,49 ± 1,34	4
Estrôncio (Sr)	mg/L	-	*
Ferro (Fe)	mg/L	-	15
Fósforo (P)	mg/L	356,06 ± 10,75	*
Magnésio (Mg)	mg/L	-	*
Manganês (Mn)	mg/L	3,60 ± 0,06	1
Molibdênio (Mo)	mg/L	-	*
Níquel (Ni)	mg/L	-	2
Potássio (K)	mg/L	16,26 ± 1,38	*
Selênio (Se)	mg/L	-	0,3
Sódio (Na)	mg/L	968,42 ± 1,67	*
Vanádio (V)	mg/L	-	*
Zinco (Zn)	mg/L	-	5

DBO: Demanda biológica de Oxigênio | DQO: Demanda Química de Oxigênio |
 (-) = não detectada a presença do composto no efluente bruto pela metodologia
 utilizada | (*) = Não citado pela legislação CONAMA (n° 430/2011).

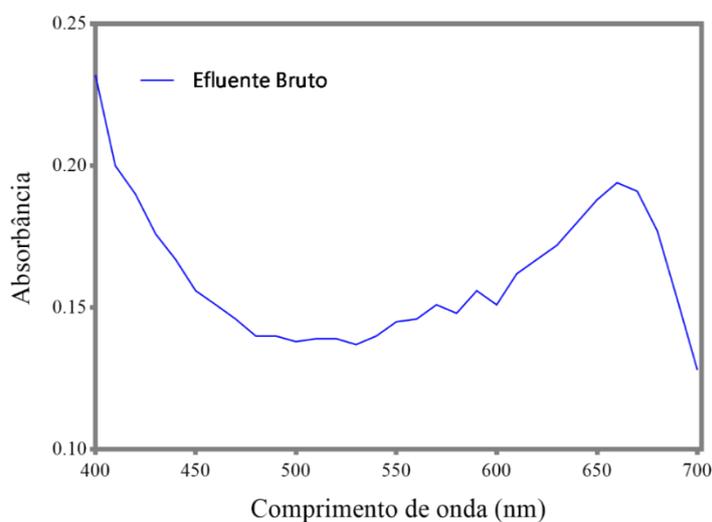
Fonte: A autora (2021).

5.2 VARREDURA DO EFLUENTE EM ESPECTROMETRIA NA LUZ VISÍVEL

Com a varredura do efluente bruto utilizando espectrofotometria no espectro visível no modo absorvância foi possível obter o pico do comprimento de onda de maior

absorção e esse valor passou a ser um comprimento de onda fixo para os demais ensaios. A Figura 10 mostra os dados dessa varredura.

Figura 10 - Varredura do efluente bruto utilizando absorbância obtida por espectrometria no espectro visível de 400 nm a 700 nm variando a cada 10 nm.



Fonte: A autora (2021).

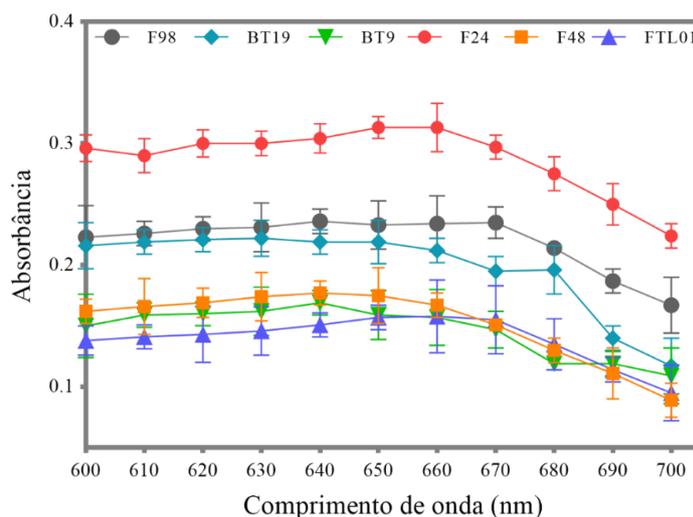
Com base na Figura 10, pode-se analisar o pico de absorbância está entre 600 nm à 700 nm, no qual é compatível como o pico de corantes de coloração azul utilizados nas indústrias têxteis, como mostrado no trabalho de Ara et al., (2009) que realizaram uma varredura do corante Ácido Azul 3 no qual o pico de maior absorção foi de 630nm. Porém, os comprimentos de onda obtidos neste presente trabalho foram da varredura do efluente bruto, que além de corantes, há presença de outros elementos que podem alterar o valor de absorbância, diferentemente, dos valores dos comprimentos de onda mostrados na literatura que utilizam apenas os corantes puros.

5.3 TRIAGEM DOS MICRORGANISMOS PARA A DESCOLORAÇÃO DO EFLUENTE

Para a triagem, os microrganismos foram inoculados com o efluente bruto e, após o processo de descoloração, foram feitas análises de absorbância do efluente após o

tratamento, utilizando como base o pico de absorvância do efluente bruto (600-700nm). A Figura 11 relaciona as absorvâncias obtidas em cada efluente após o tratamento com os microrganismos.

Figura 11 - Absorvância do efluente após a descoloração pelos microrganismos F24 = *Aspergillus spp.*, F48 = *Aspergillus spp.*, F98 = *Aspergillus fumigatus*, FTL01 = *Trametes lactinea*, T9 = *Bacillus subtilis*, T19 = *Alcaligenes faecalis*.



Fonte: A autora (2021).

Com base na absorvância e utilizando a Equação 1, foi possível estabelecer a porcentagem de descoloração de cada microrganismo teste e, dessa forma, escolher a melhor linhagem para prosseguir para os demais experimentos. A Tabela 5 mostra as porcentagens de descoloração de cada microrganismo testados. Assim, quanto maior o nível de descoloração menor será a absorvância e, de acordo com a Figura 10, as menores absorvâncias estavam presentes nos organismos F48, FTL01 e BT9 o que está apresentado na Tabela 5, com as porcentagens de descoloração de 42, 56, 51, 35 e 44,93%, respectivamente.

Tabela 5 - Percentual de descoloração do efluente bruto pelos microrganismos: F24 = *Aspergillus spp.*, F48 = *Aspergillus spp.*, F98 = *Aspergillus fumigatus*, FTL01 = *Trametes lactinea*, T9 = *Bacillus subtilis*, BT19 = *Alcaligenes faecalis*.

Microrganismo	Descoloração (%)
F24	41,89
F48	42,56
F98	22,29
FTL01	51,35
BT9	44,93
BT19	20,27

Fonte: A autora (2021).

As bactérias, no quesito biodegradação de efluente têxtil, especialmente no quesito descoloração, são utilizadas na biodegradação de corantes. Embora, no presente estudo a *Alcaligenes faecalis* (BT19) não demonstrou descoloração satisfatória (20,27 %), essa bactéria já foi reportada na literatura com a capacidade de remover com eficiência corantes têxteis, como demonstrado no estudo de Hossen et al., (2019) que utilizaram *A. faecalis* e obtiveram 90% de descoloração do corante azo Novacron Super Black (200 mg/L), após 96 h de cultivo.

O microrganismo BT9, que é *Bacillus subtilis*, foi um dos microrganismos com maiores capacidades de biodescoloração (44,93 %). *B. subtilis* já é descrito na literatura como uma bactéria capaz de remover corantes utilizados na indústria têxtil, como mostrado no trabalho de Upendar et al., (2016), que utilizaram *B. subtilis* imobilizado em uma matriz de alginato de cálcio para remover o corante azul de metileno, que é um corante muito utilizado na indústria têxtil principalmente no tingimento de algodão, e chegou a uma remoção de 90%. Ademais, na pesquisa de Sarim et al., (2019) estudaram a capacidade de *B. subtilis* de remover o corante vermelho Congo, no final do experimento obtiveram uma remoção de 92,8% na temperatura de 35 °C e pH 7.0, sendo o mecanismo de ação associada ao processo de adsorção.

Quanto aos fungos, o gênero *Aspergillus* que foi o gênero mais testado nessa triagem de microrganismos, já são reportados na literatura com sua capacidade de

remover corantes, incluindo *Aspergillus tubingensis*, *Aspergillus niger* e *Aspergillus fumigatus* (GHANY, et al., 2019; HAMAD; SAIED, 2021; KARATAY, et al., 2021). Porém, os fungos do gênero *Aspergillus* (F24, F48, F98), não apresentaram uma descoloração maior que o fungo FTL01. O fungo FTL01, embora a capacidade de descoloração próxima da bactéria BT9, foi selecionado como microrganismo (modelo) para os demais ensaios, pois, além maior capacidade de descoloração, é um fungo o que facilita o processo de remoção das fases sólidos-líquidas nas estações de tratamento (MISHRA; MALIK, 2013).

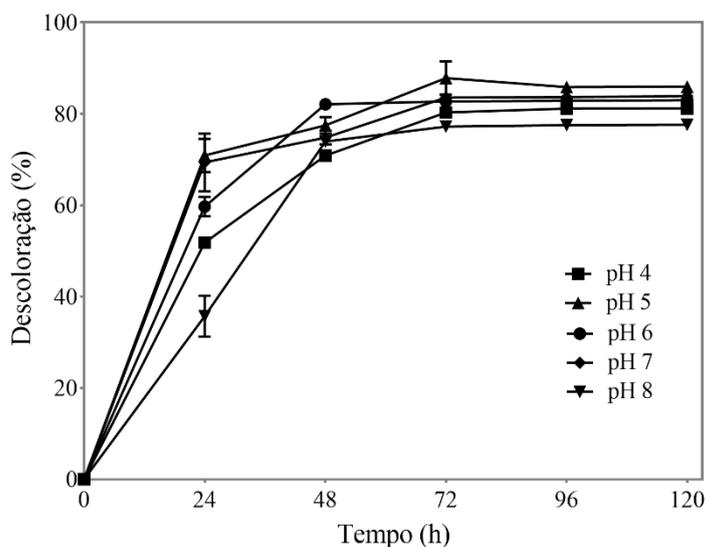
A região ITS do gene do Rna ribossômico é utilizada como marcador universal de fungos e é considerada uma região importante para ser analisada em banco de dados e, associada com os LSU, mostram-se marcadores apropriados para fungos (BROWN; JUMPPONEN, 2019). Esses marcadores são bastante utilizados em conjunto, exemplo do trabalho de Kanchana et al., (2021) que utilizaram o combinando ITS e LSU para avaliar *Trametes versicolor* produtor de biocompostos e, dessa forma, utilizaram esses marcadores genéticos para obter a filogenética e comparar outras espécies de *Trametes*. Ademais, o trabalho de Wahab et al., (2021) também utilizaram esses marcadores para identificar uma espécie do gênero *Trametes* isolado de uma floresta do Paquistão, mostrando que esses marcadores (ITS e LSU) conseguiram chegar a 100% de identidade com a espécie de *Trametes elegans*. Dessa forma, por meio desses marcadores, o fungo FTL01 selecionado na triagem foi submetido à análise da sua espécie por meio da sequência gênicas ITS e LSU que pelo alinhamento BLAST no NCBI o que resultou similaridade para a espécie *Trametes lactinea* (Berk.) Sacc.

5.4 VARIÁVEIS QUE INFLUENCIAM A DESCOLORAÇÃO POR *T. lactinea*.

5.4.1 Influência do pH

Foram realizados ensaios variando o pH inicial em 4, 5, 6 e 7. Alíquotas foram retiradas a cada 24 h por 120 h que foram analisadas por espectrofotometria e com a equação de descoloração (Equação 1), foi possível obter o gráfico exibido na Figura 12.

Figura 12 - Percentual de descoloração do efluente bruto por *T. lactinea* com a influência de diferentes pH (4, 5, 6, 7 e 8).



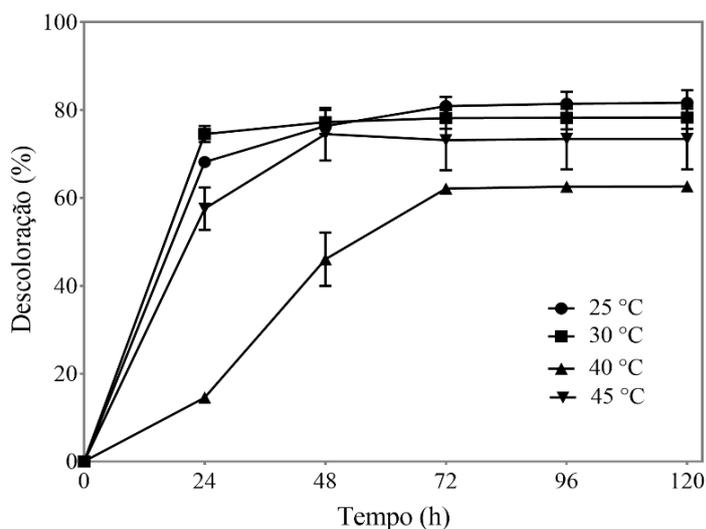
Fonte: A autora (2021).

Nas primeiras 24 h, os ensaios com os pH 5, 6, 7 apresentam maiores porcentagens de descoloração, já os pH extremos que foram o 8 e o 4 mostraram menores eficiências na descoloração inicial. Em relação ao pH 5, esse mostrou-se como um dos melhores pH para a descoloração neste experimento, tendo em vista que foi o pH de melhor resposta no tempo inicial e no tempo final de ensaio como apresentando na Figura 12. Analogamente, a faixa do pH 5 como melhor resposta de descoloração nesse experimento, corrobora com dados reportados na literatura, principalmente quando o mecanismo de ação do microrganismo, *Trametes*, para a descoloração foi pelo método de biodegradação utilizando enzimas, especialmente a enzima lacase (AZIKE, et al., 2020; RANGELOV; NICELL, 2015; BACCAR, et al., 2011). Desse modo, no trabalho de Ezike et al., (2020), que trabalharam na purificação e caracterização de uma nova lacase de *Trametes polyzona*, analisaram que a enzima, lacase, mostrou estabilidade em um pH 5,5 – 6,5. Ademais, a lacase foi relatada com melhor atividade e estabilidade no pH 5, no trabalho de Rangelov e Nicell (2015). Dessa forma, pode-se levantar a hipótese que a produção e atividade de enzimas podem ser um dos mecanismos de ação da descoloração por *T. lactinea* e, por esse motivo, a melhor faixa de pH para a descoloração pode coincidir com a faixa de pH de maior estabilidade e atividade dessas enzimas (BACCAR, et al., 2011).

5.4.2 Influência da temperatura

Para verificar a influência da temperatura na descoloração por *T. lactinea* foram feitas análise das temperaturas de 25°C, 30°C, 40°C e 45°C em função dos dias de descoloração. Os resultados em porcentagem de descoloração são exibidos na Figura 13. Com base nesse gráfico, pode-se inferir que inicialmente, nas primeiras 24 h, a temperatura de 30°C foi temperatura que gerou maior eficiência na descoloração, seguido pelas temperaturas de 25°C e 40°C. Por outro lado, a temperatura de 45°C desviou significativamente das demais temperaturas nas primeiras 24 h, atingindo a uma descoloração de apenas 13%. Nas 72 h, a descoloração começou a estabilizar em aproximadamente 80 %, exceto para a temperatura de 45 °C. Sendo assim, a melhores temperaturas foram de 25°C, 30°C, 40°C, sendo estatisticamente semelhantes.

Figura 13 - Percentual de descoloração do efluente bruto por *T. lactinea* com a influência de diferentes temperaturas.



Fonte: A autora (2021).

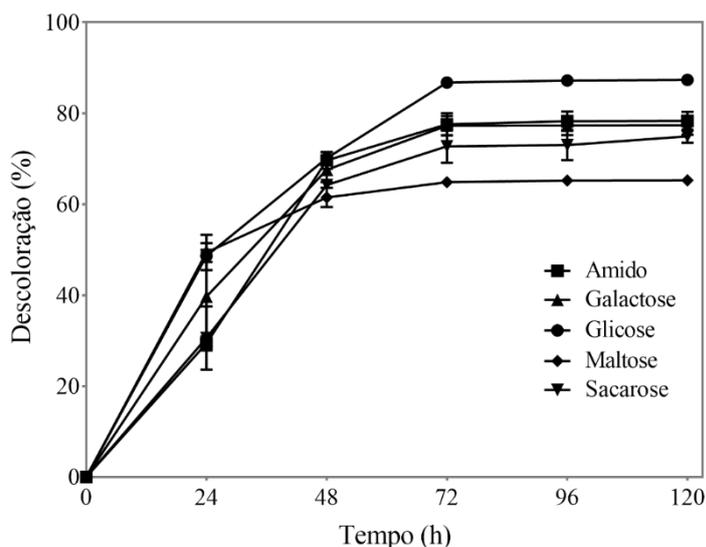
Nos estudos de biodegradação, as temperaturas atribuídas a biodegradação de moléculas recalcitrantes por *Trametes*, foram entre os espectros de 20°C, 30°C e 40°C e quando houveram aumentos das temperaturas dos espectros, ocorreu a redução da biodegradação (ZDARTA, et al., 2018). Dessa forma, os resultados mostrados neste presente trabalho, corroboram aos dados da literatura, principalmente no que tange às temperaturas das enzimas envolvidas na degradação de corantes, como a lacase, que em

trabalhos anteriores mostraram melhor atividade das enzimas na faixa de temperaturas entre 20 - 60°C (EZIKE, et al., 2020).

5.4.3 Influência da fonte de carbono para a descoloração

No quesito influência fonte de carbono na descoloração, foram testadas, em função do tempo, as fontes de carbono (0,05 g/L): amido, galactose, glicose, maltose e sacarose, Figura 13. Nas primeiras 24 h, as fontes de carbono testadas já apresentavam, estatisticamente, diferenças. No final do experimento, foi exibido que a melhor fonte de carbono foi a glicose, também demonstrado em outros trabalhos, principalmente para a produção de enzimas lignocelulíticas, como em uma pesquisa que utilizaram a espécie *Trametes versicolor* (MUHAMMAD, et al., 2011). Ademais, no trabalho de Ado et al., (2019) a glicose mostrou-se como uma das melhores fontes para produção e atividade da enzima lacase por *Trametes sp.* Muito embora a maltose também apresentou uma boa produção das enzimas, mas atividade enzimática foi reduzida. No tempo final, 120 h, a galactose, amido e sacarose mostraram-se estatisticamente semelhantes, possuindo uma descoloração na faixa dos 70%. Por outro lado, a maltose, embora tenha atingido uma das melhores descoloração nas primeiras 24h, foi a que menor apresentou descoloração no final do processo, ficando na faixa dos 60% apenas, Figura 14.

Figura 14 - Percentual de descoloração do efluente bruto por *T. lactinea* com a influência de diferentes fontes de carbono.



Fonte: A autora (2021).

5.5 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Para melhorar o processo de descoloração, foram realizados experimentos por meio de um Planejamento Experimental Fatorial, na qual avaliou-se a influência de alguns fatores na descoloração do efluente têxtil. Desse modo, foram analisadas três variáveis independentes: dias de descoloração, pH e blocos de gelose. Sendo essa etapa de planejamento crucial para abranger a melhor otimização e aplicação futura em escala industrial. A matriz do planejamento com os fatores analisados e os resultados obtidos está disposta na Tabela 6. Sendo assim, foi possível detectar, em primeira instância, que algumas variáveis podem alterar a capacidade de descoloração, chegando à descoloração de 80,7% no pH 5, 5 dias de descoloração e 5 blocos de gelose, sendo 29,35% maior do que o resultado de descoloração inicial por *T. lactinea* que era 51,35 %, disposto na Tabela 5, mostrando, assim, uma possibilidade de escalabilidade da eficiência da descoloração a partir de alteração de fatores.

Tabela 6 - Dados das variáveis independentes (dias, blocos de gelose e pH) e resultados em % de descoloração obtidos por meio do Planejamento Fatorial.

Experimentos	Dias	Blocos	pH	Descoloração
1	(-) 5	(-) 1	(-) 5	78,78 %
2	(+) 15	(-) 1	(-) 5	74,34 %
3	(-) 5	(+) 5	(-) 5	80,70 %
4	(+) 15	(+) 5	(-) 5	61,55 %
5	(-) 5	(-) 1	(+) 8	46,64 %
6	(+) 15	(-) 1	(+) 8	25,36 %
7	(-) 5	(+) 5	(+) 8	34,64 %
8	(+) 15	(+) 5	(+) 8	0,92 %
9 (C)	(0) 10	(0) 3	(0) 6,5	62,39 %
10 (C)	(0) 10	(0) 3	(0) 6,5	49,84 %
11 (C)	(0) 10	(0) 3	(0) 6,5	61,87 %

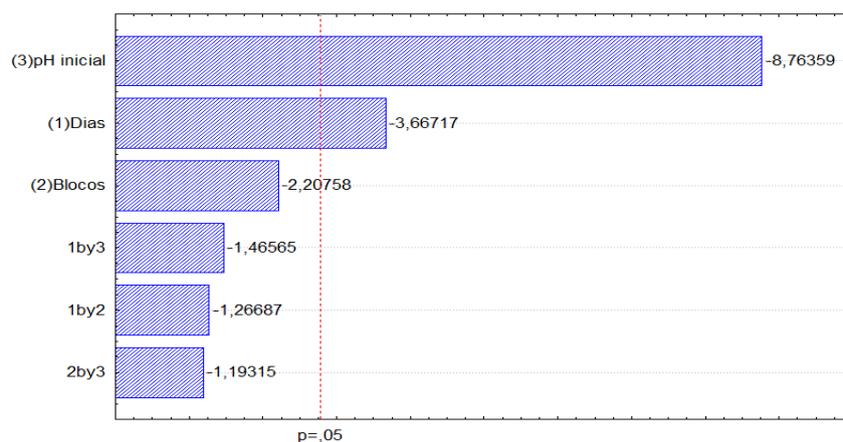
(C) : Ponto central | Descoloração (%) : Foi obtida por meio da leitura da absorbância no comprimento de onda 660 e utilizado o cálculo da descoloração Equação 1.

Fonte: A autora (2021).

Os valores obtidos no planejamento foram submetidos ao gráfico de Pareto apresentado na Figura 15. Conforme a Figura 15, os fatores significativos são aqueles que ultrapassam a linha de significância, isso é, estão abaixo do valor p de 0,05, nível de confiança de 95%. Desse modo, o fator da quantidade de blocos de gelose, consequentemente, microrganismos, estatisticamente não mostraram significância ($p > 0,05$). Esse dado pode ser interessante do ponto de vista industrial por otimizar o processo de descoloração, utilizando menos microrganismos, o que produz baixa quantidade de sedimentos na etapa de separação sólido-líquido que é desejado industrialmente (MISHRA; MALIK, 2013). Ademais, nenhuma das interações entre as variáveis testadas mostraram significância. Por outro lado, as variáveis pH e tempo apresentaram significâncias estatísticas ($p < 0,5$), no qual o pH foi a variável de maior significância para a descoloração do efluente. A presença do sinal negativo nos valores de pH e tempo, que foram as variáveis com significância para esse processo, significa que há um processo

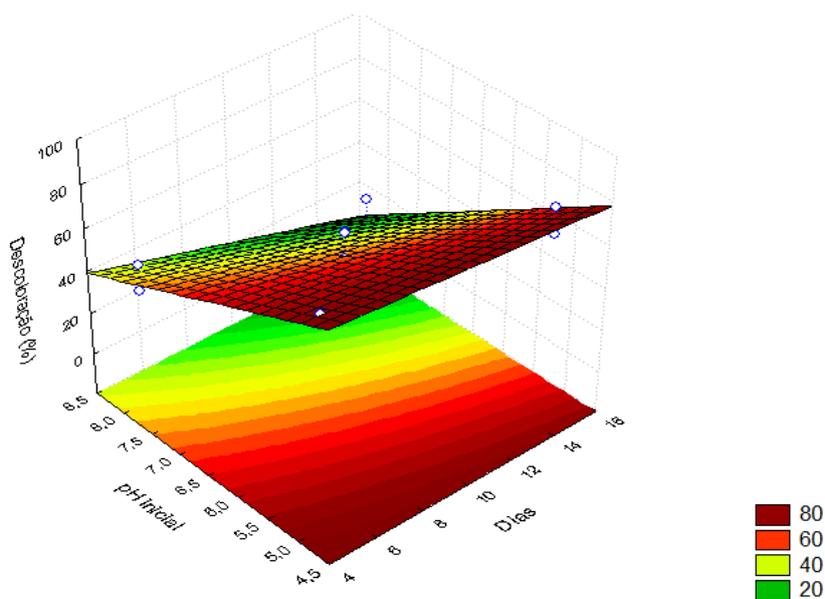
de favorecimento quando sai do nível superior (+) para nível inferior (-). Sendo assim, há um favorecimento na capacidade de descoloração pelo fungo *T. lactinea* quando os ensaios forem realizados com pH menores e redução do tempo de incubação, tendência essa ilustrada no Gráfico de Superfície de Resposta Figura 16.

Figura 15 - Diagrama de Pareto do planejamento fatorial 2^3 com triplicata do ponto central para as variáveis estudadas: 1 (Dias de descoloração), 2 (Blocos de gelose), 3 (pH inicial).



Fonte: A autora (2021).

Figura 16 - Gráfico de Superfície que mostra a alteração na eficiência de descoloração por *T. lactinea* quando os fatores independentes de entrada, Tempo e pH, são alterados.



Fonte: A autora (2021).

Com base na Figura 16, pode-se perceber a influência dos fatores pH e os dias, sendo esses dados inversamente proporcionais aos resultados de descoloração, que é exibido pela coloração vermelha no Gráfico de Superfície. De acordo com o trabalho de Lopes et al. (2014), no qual estudaram a descoloração do corante FD&C azul n° 2 Indigotina, utilizando *Trametes versicolor*, mostraram que os melhores dias para a descoloração foi entre os dias 2 - 3, o que corresponde o ápice de produção de enzimas biodegradantes, como a Lacase. Dessa forma, possivelmente, os dados obtidos pelo Planejamento Fatorial da eficiência da descoloração por *T. lactinea*, que mostram que menos dias de incubação são melhores para descoloração, pode ser explicado pelo fato da presença das enzimas de *T. lactinea* promovendo o efeito biodegradação do efluente. No entanto, para essa hipótese ser confirmada é necessária a realização futura da comprovação das enzimas associadas à biodegradação.

Por meio da ANOVA, disposta na Tabela 7, foi possível obter o Coeficiente de Determinação (R^2), que o máximo é de $R^2 = 1$. O R^2 deste trabalho de Planejamento Experimental foi de 0,9616, o que indica que há uma boa correlação entre os modelos preditos pelo modelo com os valores calculados. Ademais, o quociente da Média Quadrática da Regressão pelo Média Quadrática do Resíduo (MQR/MQr) foi de 16,71 que, quando comparado com o teste F tabelado $F(6, 4) = 4,0$, mostra que a regressão é significativa, pois o quociente MQR/MQr foi maior que o F tabelado. Além disso, o quociente da Média Quadrática da Falta de ajuste pela Média Quadrática do Erro puro (MQaj/MQer) foi de 1,27, que é menor que o teste F tabelado $F(2,2) = 19$, indicando que os erros não são significativos, e, conseqüentemente, o modelo está ajustado.

Tabela 7 - Análise da variância (ANOVA) para a eficiência da descoloração.

	SQ	GL	MQ
Regressão (R)	5758,094	6	959,6824125
Resíduos (r)	229,638	4	57,40940966
Falta de ajuste (aj)	128,845	2	64,422
Erro puro (er)	100,793	2	50,396
Total	5987,732	10	

SQ – Soma dos quadrados | GL – Grau de liberdade | MQ – Média quadrática | F – Teste F calculado | R^2 (%) = 0,9616 | MQR/MQr = 16,71 | MQaj/MQer = 1,27. Fonte: A autora (2021).

Com o objetivo de construir um modelo matemático para saber se o modelo é adequado para o comportamento experimental, foram utilizados os dados da Tabela 8. Sendo assim, foi possível construir um modelo empírico, que estima a eficiência (E) na descoloração em porcentagem em função das variáveis que foram significativas, Dias (T) e pH, disposto na Equação 5.

Tabela 8 - ANOVA Para a estimativa dos efeitos, seus Coeficientes de Regressão e Erro Padrão.

Parâmetros	Efeitos	Fator p	CR	EP
Média	71,57	0,000009	117,7210	33,03956
(1) Dias	-21,7225	0,021316	2,4561	2,51456
(2) Blocos	-14,2525	0,073508	7,3621	6,53134
(3) pH	-49,0275	0,001155	-7,2196	4,80866
1 por 2	-8,8625	0,208258	-0,3394	0,26788
1 por 3	-10,2775	0,157155	-0,5235	0,35718
2 por 3	-8,4675	0,225371	-1,0654	0,89295

CR – Coeficiente de Regressão | EP – Erro Padrão. Fonte: A autora (2021).

Equação 5 - Estimativa da eficiência da descoloração por *T. lactinea*.

$$E = 117,82 - 7,21 \cdot (\text{pH}) + 2,45 \cdot (\text{T})$$

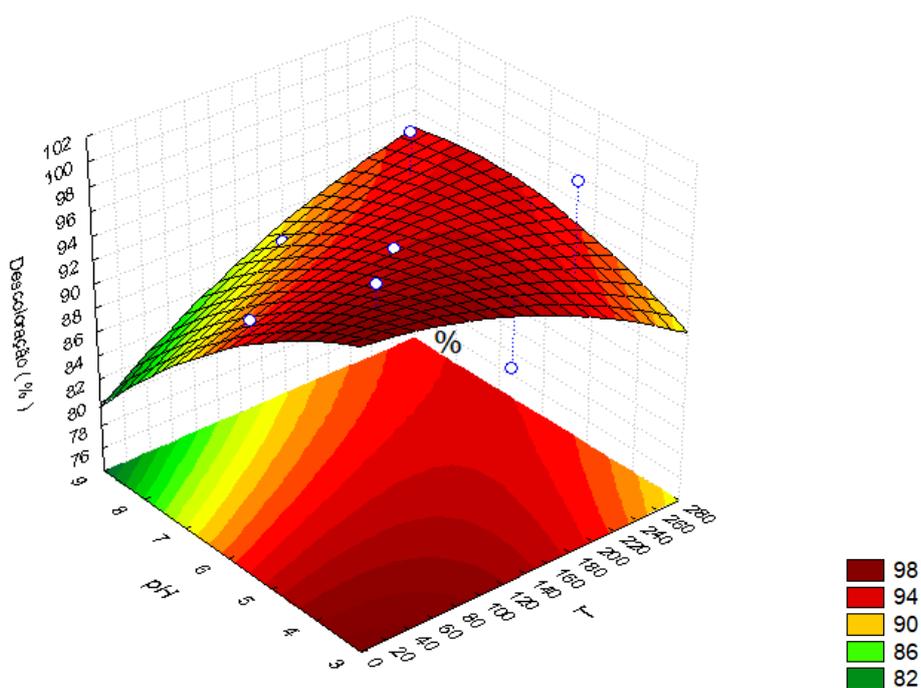
5.5.1 Otimização da descoloração

Para validar o modelo, foram realizados experimentos com as ótimas condições das variáveis de entrada preditas e, assim, foi realizado um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) do tipo 2², utilizado como as variáveis de entrada: pH e os dias de incubação, que foram as variáveis significativas, com base no Planejamento Fatorial 2³ + 3 pontos centrais e preditas pelo modelo matemático, Equação 5. A matriz com as variáveis de entrada e os resultados obtidos do DCCR 2² está disposta na Tabela 9. Com base nos experimentos, foi possível obter uma descoloração de 99,8 %, no experimento 3. Embora o tempo foi maior, a variável que mais apresentou significância no modelo foi o pH, fator predominante na otimização do processo de descoloração deste trabalho. O gráfico de superfície da otimização do processo encontra-se na Figura 17, no qual a zona em vermelho significa a região de maiores eficácias na descoloração pelo fungo *T. lactinea* com a alteração dos fatores pH e dias, mostrando, assim, a otimização do processo por meio do DCCR.

Tabela 9 - Matriz do planejamento DCCR 2² com o resultado em descoloração.

Experimentos	Tempo (h)	pH	Descoloração
1	59	4,2	98,492 %
2	59	7,8	86,432 %
3	229	4,2	99,8%
4	229	7,8	96,482 %
5	23	6	92,965 %
6	264	6	86,432 %
7	144	3,45	89,95 %
8	144	8,5	88,94 %
9 (C)	144	6	93,9 %
10 (C)	144	6	93,83 %
11 (C)	144	6	93,87 %

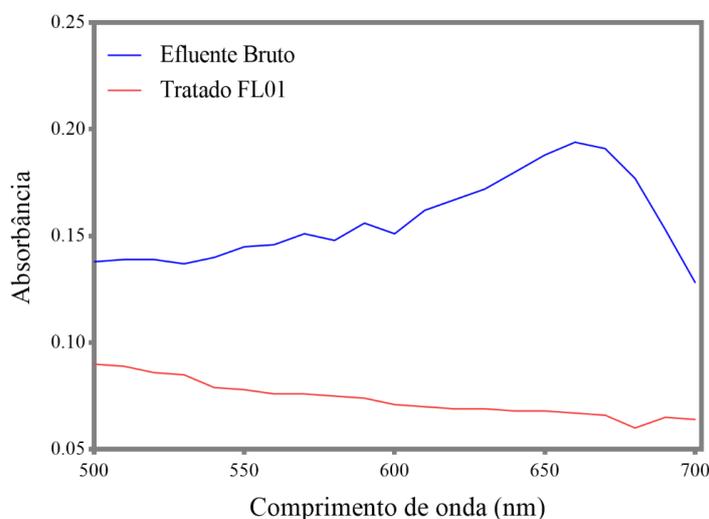
Fonte: A autora (2021).

Figura 17 - Gráfico de Superfície para a otimização do experimento utilizando DCCR 2².

Fonte: A autora (2021).

Após o processo de descoloração ser otimizado, foi realizada uma varredura do efluente tratado por *T. lactinea* e foi comparado com o efluente Bruto Figura 18. Com base nessa figura, é possível observar que o efluente tratado por *T. lactinea* na condição ótima não apresentava mais um pico de absorbância a 660nm, o que indica a degradação dos corantes pela ausência de grupos de maiores absorbâncias presentes nos corantes.

Figura 18 - Absorbâncias do efluente tratado por *T. lactinea* (FL01) após o processo de otimização da descoloração em comparação com as absorbâncias do efluente bruto.



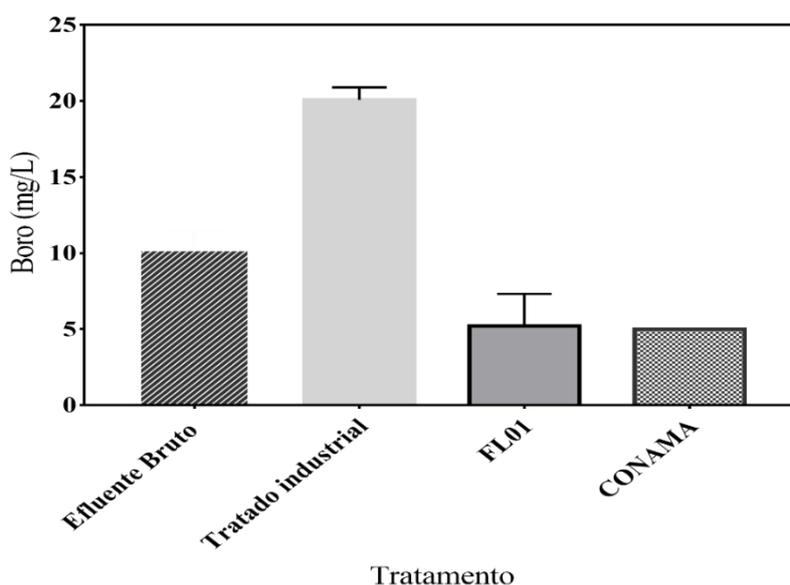
Fonte: A autora (2021).

5.6 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS APÓS O TRATAMENTO

Foram comparados os parâmetros físico-químicos após a descoloração em comparação com o efluente bruto e em comparação com o efluente tratado pela indústria. Desse modo, foram feitas análises dos compostos inorgânicos que não estavam no padrão do CONAMA resolução n° 430/2011, sendo mostradas nas Figuras 19, 20 e 21. Assim, houve aumento na quantidade de boro, estanho e manganês no tratamento industrial quando comparados com o efluente bruto, provavelmente devido ao uso de compostos químicos nas etapas de tratamento químico utilizado pelas indústrias têxteis. Por outro lado, o tratamento do efluente utilizando *T. lactinea* (LT01) reduziu a quantidade do estanho e do manganês, porém essa redução não foi suficiente para adequar aos padrões do CONAMA (430/2011) para o estanho e o manganês. No entanto, o fungo, *T. lactinea*,

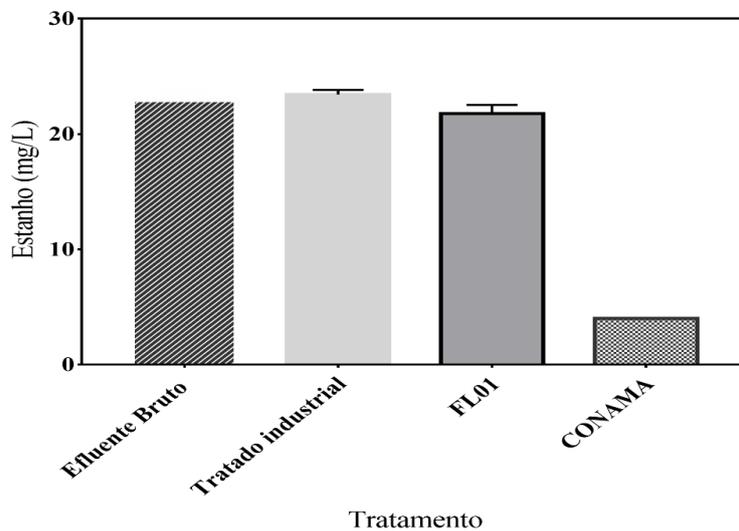
conseguiu remover com eficiência o boro que estava fora dos padrões no efluente bruto e, após o tratamento com o fungo, a quantidade em mg/L ficou estatisticamente perto do aconselhável pela legislação. Bhatt et al., (2016) mostraram que o aumento da concentração de ácido bórico auxilia a resistência à degradação da madeira por meio de *Trametes versicolor* e, dessa forma, o boro pode servir como um inibidor do crescimento de *Trametes* e, até mesmo, reduzir a produção das enzimas que degradam a madeira. Desse modo, como estudos reportam uma inibição de crescimento dos fungos desse gênero na presença do boro (na forma de ácido bórico), é possível levantar a hipótese que *Trametes* possa desenvolver mecanismos para reduzir os efeitos do boro em seu sistema e isso explicaria o fato da remoção do boro que foi a necessidade de adaptação em um ambiente tóxico, como a capacidade de bioabsorção extracelular ou intracelular (bioacumulação), pois esses são mecanismos descritos na literatura para redução de compostos inorgânicos (ZHANG, et al., 2016).

Figura 19 - Quantidade de boro (mg/L) presente no efluente bruto, no efluente tratado pela indústria têxtil, no efluente tratado por *T. Lactinea* e o padrão do CONAMA (n° 430/2011) para o boro.



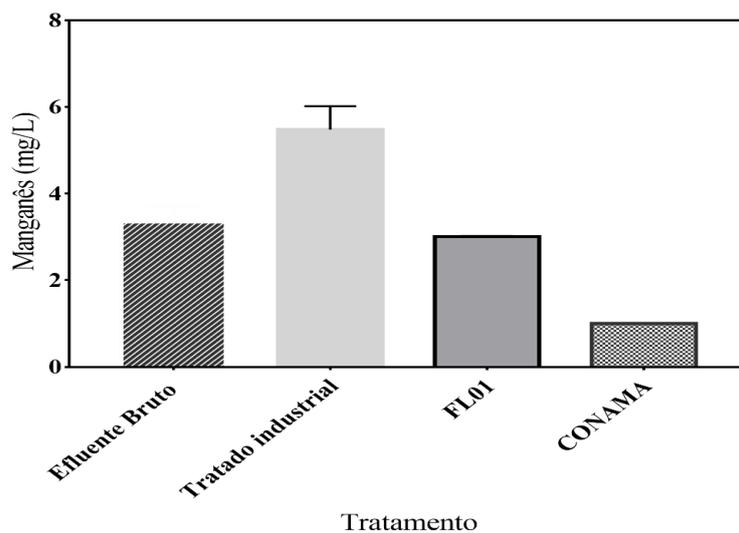
Fonte: A autora (2021).

Figura 20 - Quantidade de estanho (mg/L) presente no efluente bruto, no efluente tratado pela indústria têxtil, no efluente tratado por *T. Lactinea* e o padrão do CONAMA (n° 430/2011) para o estanho.



Fonte: A autora (2021).

Figura 21 - Quantidade de manganês (mg/L) presente no efluente bruto, no efluente tratado pela indústria têxtil, no efluente tratado por *T. Lactinea* e o padrão do CONAMA (n° 430/2011) para o manganês.

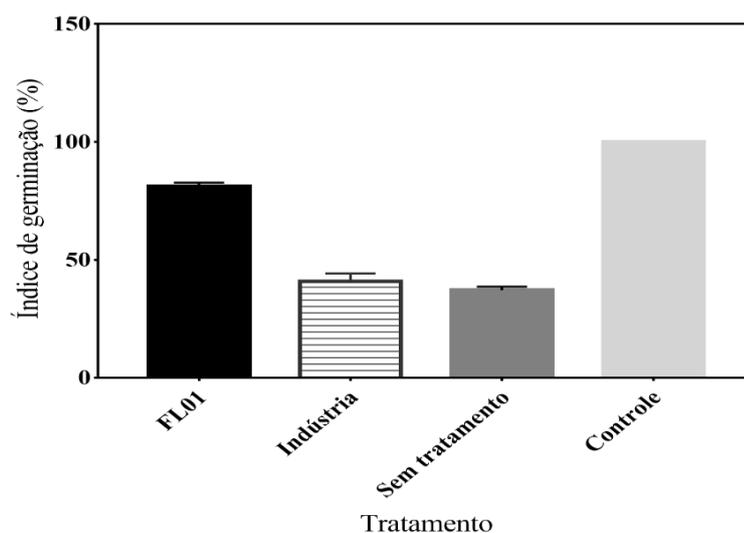


Fonte: A autora (2021).

5.7 FITOTOXICIDADE

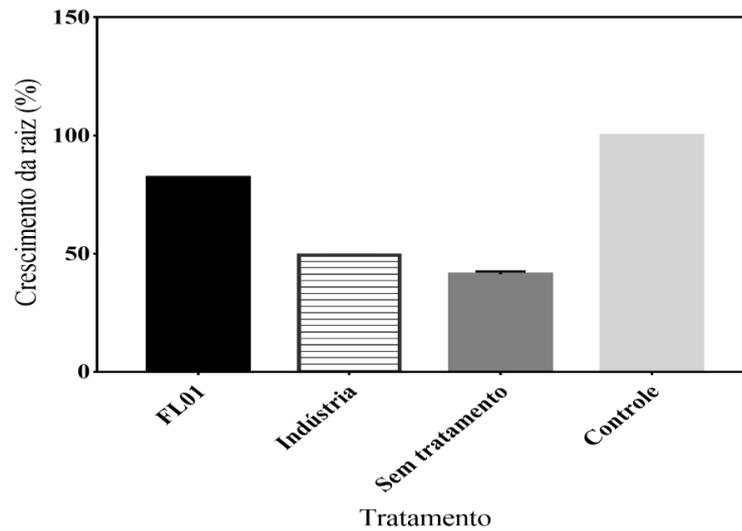
A utilização das *C. sativus* já foi validada como um modelo de avaliação da toxicidade de efluente, como no trabalho de Moraes e Bidoia (2015) que utilizaram esse modelo para avaliar a toxicidade do efluente têxtil após o tratamento eletrolítico. Ademais, a germinação de *C. sativus*, foi utilizada para avaliar a toxicidade do efluente após o tratamento de fotodegradação (DA SILVA, et al., 2021). Outrossim, esse modelo de avaliação de toxicidade também é empregado quando o tratamento do efluente ocorre por fonte biológica (ANASTASI, et al., 2011. CHUKOWRY; MUDHOO; SANTCHURN, 2017). Com base na germinação das sementes de *C. sativus* (pepino), foi possível estabelecer a toxicidade aguda dos efluentes por meio da taxa de germinação e da taxa de crescimento das raízes na presença do efluentes bruto, do efluente tratado pela indústria e do efluente tratado pela *T. lactinea*. Foi utilizada a equação do Índice de Germinação (Equação 4) e Crescimento da Raiz (Equação 3) e os dados estão exibidos na Figura 22 e Figura 23, respectivamente. Por fim, a imagem das germinações de cada experimento está presente na Figura 24.

Figura 22 - Índice de germinação das sementes de *Cucumis sativus* na presença efluente Bruto; efluente tratado pela indústria têxtil; efluente tratado por *T. Lactinea* e o controle negativo com apenas água destilada.



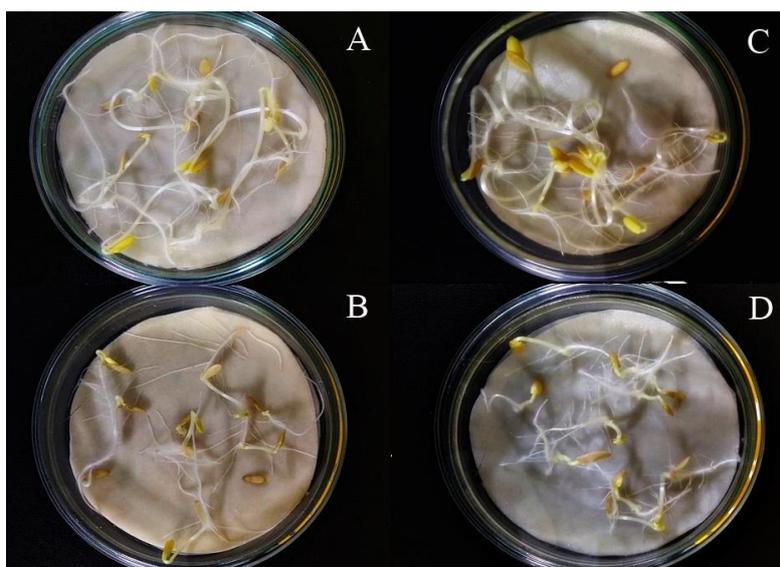
Fonte: A autora (2021).

Figura 23 - Crescimento da raiz (%) de *Cucumis sativus* na presença efluente Bruto; efluente tratado pela indústria têxtil; efluente tratado por *T. Lactinea* e o controle negativo com apenas água destilada.



Fonte: A autora (2021).

Figura 24 - Germinação das sementes de *Cucumis sativus* na presença efluente Bruto; efluente tratado pela indústria têxtil; efluente tratado por *T. Lactinea* e o controle negativo com apenas água destilada.



A = Efluente tratado por *Trametes*. B= Efluente tratado pela indústria. D= Efluente sem tratamento. C = Controle (água). Fonte: A autora (2021).

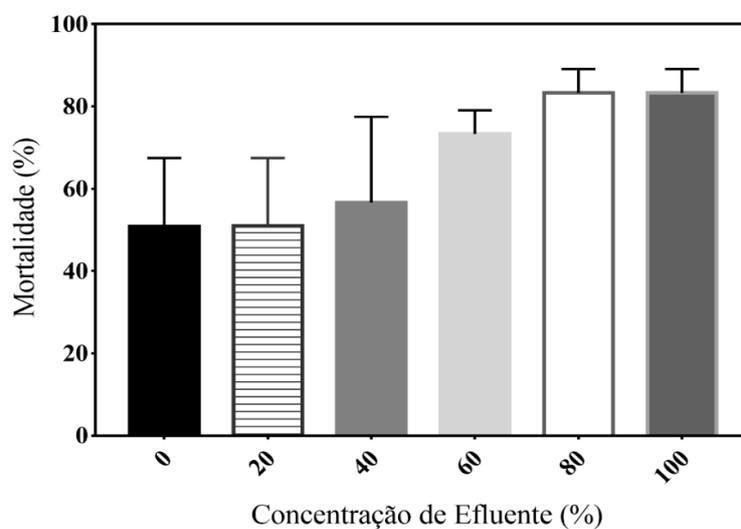
Quando comparado os gráficos, foi possível perceber que o efluente sem tratamento apresentava baixa germinação e baixos crescimentos de raízes como um indicativo de toxicidade. Isso pode ser explicado com base nos compostos físico-químicos dispostos na Tabela 4, pois de acordo com essa tabela, no efluente bruto há grande concentração de sódio (968,42 mg/L) e, desse modo, o sódio é reportado na literatura como inibidores da germinação de sementes (MORAES; BIDOIA, 2015). Por outro lado, o fungo *T. lactinea* conseguiu reduzir a toxicidade em comparação com efluente bruto, Figura 23. A redução da toxicidade do efluente tratado por *Trametes* pode ser relacionado à capacidade de fungos de reduzir compostos considerados tóxicos, como o boro, e, principalmente, devido a sua capacidade de descoloração do efluente bruto tendo em vista que os corantes, muitas vezes, são tóxicos para plantas (SINGHA, et al., 2021).

5.8 TOXICIDADE EM *Artemia salina*

A *Artemia salina* é utilizada como modelo para testes de toxicidade aguda em tratamentos de efluentes têxteis de diversos tipos, como nos tratamentos físicos de eletrocoagulação, de eletro-oxidação e de adsorção em carvão, no trabalho de Gilpavas, Dobrosz-Gómez e Gómez-García (2020). Ademais, o trabalho de Kalivel et al (2020) também utilizaram esse teste para inferir a influência dos produtos intermediários do tratamento da eletrocoagulação.

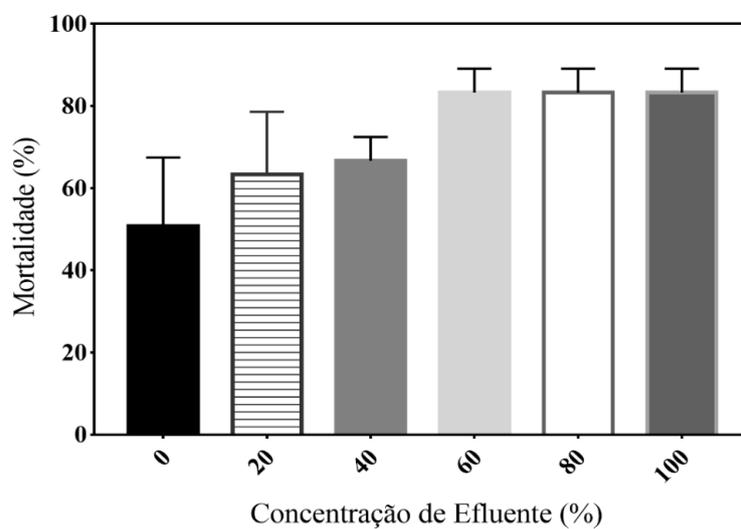
De acordo com a metodologia utilizada neste trabalho, foi possível obter o gráfico que relaciona a mortalidade e a diferentes concentração dos efluentes (20, 40, 60, 80 e 100%), após o tratamento biológico com *T. lactinea*, Figura 25. De acordo com o gráfico, é possível inferir que o biotratamento reduziu a toxicidade do efluente em *A. salina* em comparação com o efluente bruto, disposto na Figura 26. No efluente tratado, a diluição de 20% mostrou-se estatisticamente semelhante ao controle (apenas solução salina), e houve redução na toxicidade quando comparada com a mesma diluição no efluente bruto. Além disso, no efluente bruto a maior mortalidade ficou em 60% de diluição, já no efluente tratado, esse a mortalidade máxima apenas ocorreu na diluição de 80%, indicando que houve redução da toxidade do efluente quando comparado com o efluente bruto, por esse modelo testado.

Figura 25 - Mortalidade (%) dos náuplios de *Artemia salina* na presença de diferentes concentrações do efluente tratado por *T. lactinea*.



Fonte: A autora (2021).

Figura 26 - Mortalidade (%) dos náuplios de *Artemia salina* na presença de diferentes concentrações do efluente bruto.



Fonte: A autora (2021).

6 CONCLUSÃO

Com base nos resultados alcançados nesse trabalho, foi possível fazer uma triagem dos microrganismos capazes descolorir efluentes têxteis, e, como consequência, foi possível obter, como modelo, o fungo *Trametes lactinea*. Também houve a otimização da descoloração por esse fungo com utilizando o modelo do Planejamento Fatorial $2^3 + 3$ pontos centrais e com um Delineamento Composto Central Rotacional, obtendo, assim, uma otimização na eficiência da descoloração de 99,8%. Além da descoloração, por meio das análises dos compostos inorgânicos presentes no efluente bruto, alguns compostos mostraram-se fora dos limites de padrões de lançamentos do CONAMA (nº 430/2011). No entanto, a análise dos compostos inorgânicos do efluente tratado por *T. lactinea*, mostrou que o microrganismo foi capaz de reduzir as quantidades de estanho, manganês e boro do efluente bruto. Por fim, o biotratamento do efluente têxtil utilizando o fungo *T. lactinea*, foi capaz de reduzir a toxicidade do efluente bruto por meio dos testes de toxicidade aguda na *A. salina* e nas sementes de pepino (*C. sativus*) e, dessa forma, o fungo não apenas foi capaz de descolorir com eficiência, como também foi capaz de remover alguns compostos inorgânicos e reduzir a toxicidade do efluente bruto, o que acentua a possibilidade de utilização de *T. lactinea* como uma fonte promissora de modelo de biotratamento do efluente têxtil.

REFERÊNCIAS

ABIT - Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção. São Paulo. Disponível em: <https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acesso em: 15 de set. de 2019.

ADO, B. V.; ONILUDE, A. A.; AMANDE, T. J. Optimization of total soluble protein production by *Trametes sp.* isolate b7 and enzymatic degradation of synthetic dyes. **Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences**, v.9, n.1, p. 99–103, 2019.

AKARSLAN, F. Investigation on fire retardancy properties of boric acid doped textile materials. **Acta Physica Polonica A. Anais**, v.128, n.2, 2015.

AKPOMIE, K. G.; CONRADIE, J. Advances in application of cotton-based adsorbents for heavy metals trapping, surface modifications and future perspectives. **Ecotoxicol. Environ. Saf**, v.201, 2020.

ANKU, W. W.; MAMO, M. A.; GOVENDER, P. P. Phenolic Compounds in Water: Sources, Reactivity, Toxicity and Treatment Methods. Phenolic Compounds - Natural Sources, Importance and Applications. **IntechOpen**, v.17, 2017.

ALCÂNTARA, M. R.; DALCIN, DECIO. A Química do Processamento Têxtil. **Química nova**, 1996.

ALI, H. Biodegradation of synthetic dyes-a review. **Water. Soil. Pollut**, v.213, p.251-273, 2010.

ALMEIDA, D. G.; SILVA, M. G. C.; MENDONÇA, R.C.; MACIEL, C. C. S.; GUSMÃO, N. B. Descoloração do corante Índigo Carmim e produção de Lacase por fungos filamentosos. **Scientia Plena**, v.8, n.5, 2012.

ALVES, I. Caracterização de grânulos de reator UASB empregado no processamento de vinhaça. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo. 2013.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. Standard methods for the examination of water and wastewater, p.541, 1999.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. In: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. **Analysis**. n.6, p.335-398, 2007.

ANASTASI, A. et al. Decolourisation and detoxification in the fungal treatment of textile wastewaters from dyeing processes. **New Biotechnology**, v. 29, n. 1, p. 38–45, 2011.

ARA, M. H. M.; MEHRABANI, S.; MALEKFAR, R. Phase Conjugation Using Four-Wave Mixing in Fast Green FCF Dye-Doped Gelatin Film. **Hindawi Publishing Corporation Advances in Nonlinear Optics**, p.4. 2009.

ARAÚJO, M; CASTRO, E. M. M. Manual de Engenharia têxtil. Lisboa: Gráfico de Coimbra, v.2, 1987.

ASGHAR, A.; RAMAN, A.A.A.; DAUD, W.M.A.W. Advanced oxidation processes for in-situ production of hydrogen peroxide/hydroxyl radical for textile wastewater AWASTHI, M.K., PANDEY, A.K., BUNDELA, P.S., WONG, J.W., SELVAM, A. Evaluation of thermophilic fungal consortium for organic municipal solid waste composting. *Bioresour. Tech-nol*, v.168, p.214-221, 2014.

BACCAR, R.; BLÁNQUEZ, P.; BOUZID, J.; FEKI, M.; ATTIYA, H.; SARRÀ, M. Decolorization of a tannery dye: from fungal screening to bioreactor application. **Biochem. Eng. J**, v.56, p.184–189, 2011.

BARKA, N.; ASSABBANE, A.; NOUNAH, A.; ICHOU, Y. A., Photocatalytic degradation of indigo carmine in aqueous solution by TiO₂-coated non-woven fibres. **J. Hazard. Mater**, v.152, n.3, p.1054–1059, 2008.

BASTIAN, Elza Y. O. Guia técnico ambiental da indústria têxtil. **SINDITÊXTIL**. CETESB: São Paulo, 2009.

BAZANELLA, G.C., ARAUJO, A.V., CASTOLDI, R., MACIEL, G.M., INACIO, F.D., DE SOUZA, C. G.M, BRACHT, A., PERALTA, R.M. Ligninolytic enzymes from white-rot fungi and application in the removal of synthetic dyes. In: Polizeli TM, Rai M, DeLourdes M (eds) *Fungal enzymes*. **CRC Press**, p. 258–279, 2013.

BEHERA, M.; NAYAK, J.; BANERJEE, S.; CHAKRABORTTY, S.; TRIPATHY, S. K. A review on the treatment of textile industry waste effluents towards the development of efficient mitigation strategy: An integrated system design approach. **J. Environ. Chem. Eng**, v.9, n.4, 2021.

BENAISSA, A. Etude de la faisabilité d'élimination de certains colorants textiles par certains matériaux déchets d'origine naturelle, 2012.

BHATT, S.; TRIPATHY, S.; KHALI, P. D. Study of Silicic-boric acid combination against wood decaying fungi in plywood. *Pro Ligno*, v.12, p.12-18, 2016. **Biochem. Eng. J**, v.156, 2020.

BNDES. Panorama da cadeia produtiva têxtil e de confecção e a questão da inovação. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/Set2905.pdf>. Acesso em: 20 agosto de 2020.

BRASIL. Ministério da Economia. Estatística de comércio exterior. Comex Stat Exportação e Importação Geral, 2021. Disponível em: <http://comexsrar.mdic.goc.br/pt/geral> Acesso em: 05 jun 2021.

BROWN, S.P., JUMPPONEN, A. Microbial Ecology of Snow Reveals Taxa-Specific Biogeographical Structure. **Environmental microbiology**, v.77, p.946–958, 2019.

BURAKOV, A. E.; GALUNIN, E.V.; BURAKOVA, I. V.; KUCHEROVA, A. E.; AGARWAL, S.; TKACHEV, A. G.; GUPTA, V. K. Adsorption of heavy metals on conventional and nanostructured materials for wastewater treatment purposes: A review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.148, p.702-712, 2018.

CAO, G.; WANG, R.; JU, Y.; JING, B.; DUAN, X.; AO, Z.; JIANG, J.; LI, F.; HO, S. H. Synchronous removal of emulsions and soluble organic contaminants via a microalgae-based membrane system: performance and mechanisms. **Water Res**, v.206, 2021.

CHANDANSHIVE, V.; KADAM, S.; RANE, N.; JEON, B. H.; JADHAV, J. Govindwar, S., In situ textile wastewater treatment in high rate transpiration system furrows planted with aquatic macrophytes and floating phytobeds. **Chemosphere**, v.252, 2020.

CHATTOPADHYAY, D.P. 4 - Chemistry of dyeing, in: M. Clark (Ed.), *Handb, Woodhead Publishing, Text. Ind. Dye*, p.150–183, 2011.

CHEN, B.Y. Understanding decolorization characteristics of reactive azo dye by *Pseudomonas luteola*: toxicity and kinetics. **Process Biochemistry**, v.38, p.437-446, 2002.

CHUKOWRY, P. K., MUDHOO, A., SANTCHURN, S. J. *Bacillus algicola* decolourises more than 95% of some textile azo dyes. **Environmental Chemistry Letters**, v.15, n. 3, p.531–536, 2017.

CLARK, M. *Fundamental principles of dyeing*, *Handb. Text. Ind. Dye. Princ. Process.Types Dyes 1*, 2011.

CONAMA, 2011. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução CONAMA N°430, de 13de maio de 2011. Disponível em:<<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: janeiro de 2022.

CRUZ, A.; PIMENTEL, L.; RODRÍGUEZ-ALCALÁ, L.M.; FERNANDES, T., PINTADO M. Health benefits of edible mushrooms focused on *Coriolus versicolor*: a review. **Journal of Food and Nutrition Research**, v.4, n.12, p.773–781. 2016.

DA SILVA, M. P. et al. Photodegradation of Reactive Black 5 and raw textile wastewater by heterogeneous photo-Fenton reaction using amino-Fe₃O₄-functionalized graphene oxide as nanocatalyst. **Environmental Advances**, v.4, 2021.

DASGUPTA, J.; SINGH, M.; SIKDER, J.; PADARTHI, V.; CHAKRABORTY, S.; CURCIO, S. Response surface-optimized removal of Reactive Red 120 dye from its

- aqueous solutions using polyethyleneimine enhanced ultrafiltration. **Ecotoxicol. Environ. Saf**, v.121, p.271-278, 2015.
- DESHMUKH, R.; KHARDENAVIS, A. A.; PUROHIT, H. J. Diverse Metabolic Capacities of Fungi for Bioremediation. **Indian Journal of Microbiology**, v.56, n.3, p.247-64, 2016.
- DUTTA, S.; BHATTACHARJEE, J. A comparative study between physicochemical and biological methods for effective removal of textile dye from wastewater. **Development in Wastewater Treatment Research and Processes**, p.1-2, 2022.
- ELGARAHY, A. M.; ELWAKEEL, K. Z.; MOHAMMAD, S. H.; ELSHOUBAKY, G.A. A critical review of biosorption of dyes, heavy metals and metalloids from wastewater as an efficient and green process. **Clean. Eng. Technol**, v.4, 2021.
- EL-KASSAS, H. Y.; MOHAMED, L.A. Bioremediation of the textile waste effluent by *Chlorellavulgaris*. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, v.40, p.301-308, 2014.
- ESCRITÓRIO TÉCNICO DE ESTUDO ECONÔMICOS DO NORDESTE – ETENE. Banco do Nordeste. Caderno Setorial ETENE, n.209, 2021.
- EZIKE, T. C. et al. Purification and characterisation of new laccase from *Trametes polyzona* WRF03. **Biotechnology Reports**, v.28, 2020.
- FARIAS, R. S.; BUARQUE, H. L. B.; CRUZ, M. R.; CARDOSO, L. M. F.; GONDIM, T. A.; Paulo, V. R. Adsorption of congo red dye from aqueous solution onto amino-functionalized silica gel. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v.23, n.6, p.1053–1060, 2018.
- GEBREYOHANNES, G. et al. Determination of Antimicrobial Activity of Extracts of Indigenous Wild Mushrooms against Pathogenic Organisms. 2019.
- GEBREYOHANNES, G.; NYERERE, A.; BII, C.; SBHATU, D.B. Determination of Antimicrobial Activity of Extracts of Indigenous Wild Mushrooms against Pathogenic Organisms, **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, 2019.
- GHALY, A. E.; ANANTHASHANKAR, R.; ALHATTAB, M. V. V. R.; RAMAKRISHNAN, V. V. Production, characterization and treatment of textile effluents: a critical review. *J.Chem. Eng. Process. Tech*, v.5, p.1, 2014.
- GHANY, T. et al. Dead biomass of thermophilic *Aspergillus fumigatus* for Congo red biosorption. **The Egyptian Journal of Experimental Biology (Botany)**, v.15, n.1, p.1, 2019.
- GILBERTSON, R. L.; RYVARDEN, L. North American polypores: *Megasporoporia* – *Wrightoporia*, *Journal of Basic Microbiology*, v.27, n.5, p.434–885, 1987.

GILPAVAS, E.; DOBROSZ-GÓMEZ, I.; GÓMEZ-GARCÍA, M. Á. Efficient treatment for textile wastewater through sequential electrocoagulation, electrochemical oxidation and adsorption processes: Optimization and toxicity assessment. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, v.878, 2020.

GOMES-SILVA, A. C.; GIBERTONI, T. B.; RYVARDEN, L. NOTES ON TRAMETES FROM THE BRAZILIAN AMAZONIA. **Mycotaxon**, v.113, p.61–71, 2010.

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

GUELLI, S. M. A.; SOUZA, U.; BRANDÃO, H. L.; SOUZA, A. A. U. Modeling of liquid pollutant biodegradation process in a fluidized bed Reactor with Biofilm. **Separation and Purification Technology**, v.60, p.162–173, 2008.

GUPTA, M. K.; KUMARI, K.; SRIVASTAVA, A.; SHIKHA, G. Bioremediation of heavy metal polluted environment using resistant bacteria. **Journal of Environmental Research and Development**, v.8, n.4, p.883–889, 2014.

GÜRSES, A. et al. Dyes and pigments. **Springer**, 2016.

HAMAD, M. T. M. H.; SAIED, M. S. S. Kinetic studies of Congo red dye adsorption by immobilized *Aspergillus niger* on alginate. **Applied Water Science**, v. 11, n. 2, fev. 2021.

HASSAN, F.; NI, S.; BECKER, T. L.; KINSTEDT, C. M.; ABDUL-SAMAD, J. L.; ACTIS, L. A.; KENNEDY, M.A., **Int. J. Med. Mushrooms**, v.21, p.131-14, 2019.

HASSEMER, Maria Eliza Nagel; SENS, Maurício Luiz. Tratamento do Efluente de uma indústria têxtil. Processo físico-químico com ozônio e coagulação/floculação. Engenharia sanitária e ambiental. Rio de Janeiro, v. 7, n.1 e 2, p. 30-36, abr./jun. 2002

HATTORI, T.; SOTOME, K. Type studies of the polypores described by E.J.H. Corner from Asia and West Pacific areas VIII. Species described in *Trametes* (2). **Mycoscience**, v.54, p-297–308, 2013.

HESPANHOL, I.; MIERZWA, J. C.; RODRIGUES, L. D. B.; DA SILVA, M. C. C. Manual de conservação e reúso de água na indústria. Rio de Janeiro: DIM, p.29, 2006.

HEWSON, M. J. C. The requirements for waste water treatment in the textile industry. Ecotextile'98: Sustainable development. Proceedings of the Conference. Bolton, n.7-8, p. 43-49, 1998.

HOLKAR, C. R.; JADHAV, A. J.; PINJARI, D. V.; MAHAMUNI, N. M.; PANDIT, A. B. A critical review on textile wastewater treatments: possible approaches. **J. Environ. Manage**, v.182, p.351-366, 2016.

HORROCKS, A. R.; ANAND, S. C. Handbook of technical textiles. Cambridge: CRC Press. **Woodhead Publishing**, 2000.

HOSSEN, M. Z. et al. Biodegradation of reactive textile dye Novacron Super Black G by free cells of newly isolated *Alcaligenes faecalis* AZ26 and *Bacillus* spp obtained from textile effluents. **Heliyon**, v. 5, n. 7, 1 jul. 2019.

HUSAIN, Q. Peroxidase mediated decolorization and remediation of wastewater containing industrial dyes: a review. **Rev. Environ. Sci. Biotechnol**, v.9, p.117-140, 2010.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRADIA E ESTATÍSTICA, Pesquisa Industrial Anual (PIA): Valor burto da produção industrial (mil reais), Fabricação de produtos têxteis, 2018. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br?tabela/1849>. Acesso em: 05 jun 2022.

JADHAV, A. C.; JADHAV, N. C. Treatment of textile wastewater using adsorption and adsorbents. **Sustainable Technologies for Textile Wastewater Treatments**. Woodhead Publishing, p. 235–273, 2021.

JADHAV, A.J.; SRIVASTAVA, V.C. Adsorbed solution theory based modeling of binary adsorption of nitrobenzene, aniline and phenol onto granulated activated carbon. **Chem. Eng. J**, v.229, p.450-459, 2013.

KADAM, S. K.; CHANDANSHIVE, V. V.; RANE, N. R.; PATIL, S. M.; GHOLAVE, A. R.; KHANDARE, R. V.; BHOSALE, A. R.; JEON, B. H.; GOVINDWAR, S. P. Phytobeds with *Fimbristylis dichotoma* and *Ammannia baccifera* for treatment of real textile effluent: an in situ treatment, anatomical studies and toxicity evaluation. **Environ. Res**, v.160, n.1. p.1–11, 2018.

KALIVEL, P. et al. Elucidation of electrocoagulation mechanism in the removal of Blue SI dye from aqueous solution using Al-Al, Cu-Cu electrodes - A comparative study. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.201, 2020.

KANCHANA, H. K. et al. A Review on Bioactive Compounds, Beneficial Properties and Biotechnological Approaches of *Trametes* (Polyporaceae, Polyporales) and a New Record from Laos. **Chiang Mai J. Sci**, v.48, n.3, p.674-698, 2021. Disponível em: <http://epg.science.cmu.ac.th/ejournal/ReviewArticles>. Acesso em: 20 abril de 2021.

KANT, R. Textile dyeing industry an environmental hazard. **Natural Science**, v.4, n.1, p.22-26, 2012.

KARATAY, S. E. et al. Potentiality of newly isolated *Aspergillus tubingensis* in biosorption of textile dyes: equilibrium and kinetic modeling. **Biomass Conversion and Biorefinery**, 2021.

KARATAY, S. E. et al. Potentiality of newly isolated *Aspergillus tubingensis* in biosorption of textile dyes: equilibrium and kinetic modeling. **Biomass Conversion and Biorefinery**, 2021.

KARCI, A. Degradation of chlorophenols and alkylphenol ethoxylates, two representative textile chemicals, in water by advanced oxidation processes: The state of the art on transformation products and toxicity, **Chemosphere**, v.99, p.1-18, 2014.

KHAN, S.; MALIK, A. Toxicity evaluation of textile effluents and role of native soil bacterium in biodegradation of a textile dye. **Environmental Science and Pollution Research**, v.25, p 4446-4458. 2018.

KHATRI, A.; PEERZADA, M. H.; MOHSIN, M.; WHITE, M. A review on developments in dyeing cotton fabrics with reactive dyes for reducing effluent pollution. **J. Clean. Prod.**, v.87, p.50-57, 2015.

KISHOR, R.; PURCHASE, D.; SARATALE, G.D.; SARATALE, R.G.; FERREIRA, L. F. R.; BILAL, M.; CHANDRA, R.; BHARAGAVA, R. N. Ecotoxicological and health concerns of persistent coloring pollutants of textile industry wastewater and treatment approaches for environmental safety. **J. Environ. Chem.** n.9, 2021.

KUMAR, G. N. P.; BHAT, S. K. Decolourization of azo dye Red 3BN by bacteria. **Int. Res. J. Biol. Sci.**, v.1, p.46-52, 2012.

KUMARAN, N.S.; DHARANI, G. Decolorization of textile dyes by white rot fungi *Phanerocheate chrysosporium* and *Pleurotus sajor-caju*. **Journal of Applied Technology in Environmental Sanitation**, v.1, n.4, p.361-370, 2011.

LANG, W.; SIRISANSANEEYAKUL, S.; NGIWSARA, L.; MENDES, S.; MARTINS, L. O.; OKUYAMA, M.; KIMURA, A. Characterization of a new oxygen-insensitive azo reductase from *Brevibacillus laterosporus* TISTR1911: toward dye decolorization using a packed-bed metal affinity reactor. **Bioresour. Technol.**, v.150, p.298, 2013.

LI, H.; XU, B.; TANG, L.; ZHANG, J.; MAO, Z. Reductive decolorization of indigo carmine dye with *Bacillus* sp. MZS10. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v.103, p.30-7, 2015.

LIANG, C. Z.; SUN, S. P.; LI, F.Y. Treatment of highly concentrated wastewater containing multiple synthetic dyes by a combined process of coagulation/flocculation and nanofiltration. **J. Membr. Sci.**, v.469, p.306-315, 2014.

LOPES, M. M. G. et al. Study of decolorization of FD&C blue # 2 indigotine by fungus *trametes versicolor* combined with slow sand filtration. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 113–120, 2014.

MAHMOOD, S. et al. Detoxification of azo dyes by bacterial oxidoreductase enzymes. **Crit Rev Biotechnol**, v.36, n.4, p.639-51, 2016.

MAHMUDABADI, T. Z.; EBRAHIMI, A. A.; ESLAMI, H.; MOKHTARI, M.; SALMANI, M. H.; GHANEIAN, M. T.; MOHAMADZADEH, M.; PAKDAMAN, M.

Optimization and economic evaluation of modified coagulation–flocculation process for enhanced treatment of ceramic-tile industry wastewater. **AMB Express**, v.8, n.1, p.1–12, 2018.

MATHURAM, M.; MEERA, R.; VIJAYARAGHAVAN, G.; Application of locally sourced plants as natural coagulants for dye removal from wastewater: a review. **J. Mater. Environ. Sci.**, v.9, n.7, p.2058–2070, 2018.

MENDES, R. C.; DILARRI, G.; PELEGRINI, R. T. Aplicação da biomassa *Saccharomyces cerevisiae* como agente adsorvente do corante Direct Orange 2GL e os possíveis mecanismos de interações adsorbato/adsorvente. **Revista Matéria**, v.20, n.4, p.898-908, 2015.

MEYER, B. N.; FERRIGNI, N. R.; PUTNAM, J. E.; JACOBSEN, L. B.; NICHOLS, D. E.; MCLAUGHLIN, J. L. Brine shrimp: a convenient general bioassay for active plant constituents, **Planta Med**, v.45, p.3534, 1982.

MISHRA, A.; MALIK, A. Recent advances in microbial metalbioaccumulation. **Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.**, v.43, p.1162-1222, 2013.

MÓDENES, A. N.; ESPINOZA-QUIÑONES, F. R.; MANENTI, D. R.; BORBA, F. H.; PALÁCIO, S. M.; COLOMBO, A. Performance evaluation of a photo-Fenton process applied to pollutant removal from textile effluents in a batch system. *Journal of Environmental Management*, v.104, p.1-8, 2012.

MOGAMI, S. Reúso nas Têxteis. p.4. **Hydro Aranda Editora**, n.2, 2012.

MORAES, J. R.; BIDOIA, E. D. Colour Degradation of Simulated Textile Effluent by Electrolytic Treatment and Ecotoxicological Evaluation. **Water, Air, and Soil Pollution**, v.226, n.12, 2015.

MUDHOO, A.; RAMASAMY, D. L.; BHATNAGAR, A.; USMAN, M.; SILLANPAA, M. An analysis of the versatility and effectiveness of composts for sequestering heavy metal ions, dyes and xenobiotics from soils and aqueous milieus. **Ecotoxicol. Environ.** v.197, 2020.

MUHAMMAD, H. et al. Optimization of Physical and Nutritional Factors for Synthesis of Lignin Degrading Enzymes by a Novel Strain of *Trametes versicolor*. **BioResources**, v.6, n.2, p.1273-1287, 2011.

NIKFAR, S.; M. JABERIDOOST. Dyes and Colorants in P. Wexler (Ed.). **Encycl. of Toxicology**, n.3, p.252-26, 2014.

NOREEN, S.; ASGHER, M.; QAMAR, S. A.; BILAL, M.; IQBAL, H. M. N. Poly(vinyl Alcohol)-Alginate Immobilized *Trametes versicolor* IBL-04 Laccase as Eco-friendly Biocatalyst for Dyes Degradation. **Catalysis Letters**, 2021.

NÚCLEO GESTOR DA CADEIA TÊXTIL E DE CONFECÇÕES EM PERNAMBUCO – NTCPE. Estudo da competitividade dos Setores Têxtil e Confeccionista no Estado de Pernambuco. Recife: IEMI – Inteligência de Mercado, 2017.

OLIVEIRA, M. T.; GARCIA, L. F.; SIQUEIRA, A. C. R.; SOMERSET, V.; GIL, E. S. Electrocoagulation of the indigo carmine dye using electrodes produced from the compression of metallurgical filing wastes. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v.17, p. 1657–1662, 2020.

OLOU, B. A. et al. Diversity of *Trametes* (Polyporales, Basidiomycota) in tropical Benin and description of new species *Trametes parvispora*. **MycoKeys**, v.65, 2020.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÓMICO – OECD. Test no. 236: Fish Embryo Acute Toxicity Test (FET). **Paris: OECD**, p.22, 2013.

MONSALVE, O. S.; DORNELLES, J.; POLL, E.; RAMIREZ-CASTRILLON, M.; VALENTE, P.; GUTTERRES, M. Biodescolourisation and biodegradation of leather dyes by native isolate of *Trametes villosa*. **Process Saf Environ**, p.437–5, 2017.

OTHMAN, I.; MOHAMEND, R. M.; IBRAHEM, F. M.; Study of photocatalytic oxidation of indigo carmine dye on mn-supported TiO₂. **J. Photochem. Photobiol**, v.189, p.80–85, 2007.

OZTURK, E.; KOSEOGLU, H.; KARABOYACI, M.; YIGIT, N. O.; YETIS, U.; KITIS, M. Minimization of Water and Chemical Use in a Cotton/Polyester Fabric Dyeing Textile Mill. **Journal of Cleaner Production**, v.130, p.92-102, p.140-3, 2016.

OLISAH, C.; ADAMS, J. B.; RUBIDGE, G. The state of persistent organic pollutants in South African estuaries: A review of environmental exposure and sources **Ecotoxicol. Environ**, v.219, 2021.

PARANÁ. CEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente. (2009) Resolução n.º 070/2009.

PAVANELLI, S. P. Degradação de corantes da indústria alimentícia por processos oxidativos e redutivos: monitoramento por espectrometria de massas com ionização electrospray (ESI-MS). Dissertação (Mestrado em Química Analítica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Química, Belo Horizonte, 2010.

PAZARBASI, M. B.; KOCYING, A.; OZDEMIR, G.; KARABOZ, I. Decolorization of various leather dyes and leather industry effluent by *Trametes trogii* TEM H2. **Frasenius Environmental Bulletin**, v.21, ed.6, p.1410-1416, 2012.

PEREIRA, G. S. Introdução a tecnologia têxtil. Apostila da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Araranguá, 2009.

PERES, C.S.; ABRAHÃO, A.J. Características e sistemas de tratamento de águas residuais das indústrias têxteis. **Revista Química Têxtil**, v.21, p. 22–39, 1998.

PIZATO, E.; LOPES, A. C.; ROCHA, R. D. C.; BARBOSA, A. M.; CUNHA, M. A. A.;
Caracterização de efluente têxtil e avaliação da capacidade de remoção de cor utilizando ofungo *Lasiodiplodia theobromae* MMPI. **Eng. Sanit. Ambient**, v.22, n.5, p 1027-1035, 2017.

PRZYSTAS, W.; ZABLOCKA-GODLEWSKA, E.; GRABIŃSKA-SOTA, E.
Efficiency of decolorization of different dyes using fungal biomass immobilized on different solid supports. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 49, n. 2, p. 285–295, 1 abr. 2018.

QUINTERO, L.; CARDONA, S. Tecnologías para la decoloración de tintes índigo e índigo carmín. **Revista de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia**, v.77, n.162, p.371-386, 2010.

RÅBERG, U.; HAFRÉN, J. Gravimetric screening method for fungal decay of paper: Inoculation with *Trametes versicolor*. **Biotechnology Letters**, v.31, n.10, p.1519–1524, 2009.

RANGELOV, S.; NICELL, J. A. A model of the transient kinetics of laccase-catalyzed oxidation of phenol at micromolar concentrations. **Biochem. Eng. J.**, v.99, p.1-15, 2015.

REIS, C. Z. dos. Bioalveamento enzimático de tecidos de malha de algodão. 2016. Tese. Doutorado em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

ROY, U.; MANNA, S.; SENGUPTA, S.; DAS, P.; DATTA, S.; MUKHOPADHYAY, A.; BHOWAL, A. Dye removal using microbial biosorbents. Green adsorbents for pollutant removal. **Cham: Springer**, p.253-280, 2018.

RUTA, L.; PARASCHIVESCU, C.; MATAACHE, M.; AVRAMESCU, S.; FARCASANU, I.C.; Removing heavy metals from synthetic effluents using “kamikaze” *Saccharomyces cerevisiae* cells. **Appl. Microbiol. Biotechnol**, v.85, p.763-771, 2010.

SA’ADAN, N. S. M.; BAKAR, W. A. W. A; MOKHTAR, W. N. A. W.
Demetallization of toxic and heavy metals in clam, *Paphia* textile utilizing catalytic chelation technique. Chemistry Undergraduate Final Year Project Symposium. Dept. of Chemistry, Fac. of Science, Universiti Teknologi Malaysia, 2015.

SALEM, S. S. et al. Biological decolorization and degradation of azo dyes from textile wastewater effluent by *Aspergillus niger*. **Egyptian Journal of Chemistry**, v. 62, n. 10, p. 1799–1813, 2019.

SALEM, Vidal. Tingimento têxtil: fibras, conceitos e tecnologias. São Paulo: Blucher, 2010.

SAMCHETSHABAM, G.; HUSSAN, A.; CHOUDHURY, T. G. Impact of textile dyes waste on aquatic environments and its treatment. **Environ Ecology**, v.35, p. 2349-2353, 2017.

SAMSAMI, S.; MOHAMADIZANIANI, M.; SARRAFZADEH, M. H.; RENE, E. R., FIROOZBAHR, M. Recent advances in the treatment of dye-containing wastewater from textile industries: overview and perspectives. **Process Saf. Environ. Prot.**, v.143, p.138–163, 2020.

SANTANA, V. F. S. C.; GUSMÃO, N. B.; GIBERTONI, T. B.; SILVA, L. A. O. Discoloration of dyes by *Trametes* spp. **Research Square**, v.1, p. 2-20, 2021.

SARIM, K. M. et al. Biosorption of direct textile dye Congo red by *Bacillus subtilis* HAU-KK01. **Bioremediation Journal**, v. 23, n. 3, p. 185–195, 3 jul. 2019.

SEGURA, E. G.; RÍOS, M. S.; CRUZ, A. C. Sorption of indigo carmine by a Fe-zeolitic tuff and carbonaceous material from pyrolyzed sewage sludge. **J. Hazardous Materials**, v.70, p. 1227–1235, 2009.

SENAI. CETIQT. Denim; história, moda e tecnologia. Estudo 01-A. Rio de Janeiro: SENAI-CETIQT, 1994. 63 p. il. (Série Tecnologia Têxtil).

SEOW, T. W.; LIM, C. K. Removal of Dye by Adsorption: A Review. **Int. J. Appl. Eng. Res.**, v.11, p.2675-2679, 2016.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO A MICRO E PEQUENAS EMPRESAS - SEBRAE. Estudo econômico do arranjo produtivo local de confecção do agreste pernambucano, 2012, Recife, 2013.

SHINDE, S.; SEKAR, N. Synthesis, spectroscopic characteristics, dyeing performance and TD-DFT study of quinolone based red emitting acid azo dyes. **Dyes Pigments**, v.168 p.12–27, 2019.

SINGHA, K.; PANDIT, P.; MAITY, S.; SHARMA, S.R. Harmful environmental effects for textile chemical dyeing practice. **Green Chemistry for Sustainable Textiles. Woodhead Publishing**, p.153–164, 2021.

SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; RAVENTÓS, R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. **Ocid. Antioxid**, 1999.

SINHA, A. et al., Degradation of reactive green dye and textile effluent by *Candida sp* VITJASS isolated from wetland paddy rhizosphere soil. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, n.4, p.5150-5159, 2018

SKOOG, D.; HOLLER, F.; CROUCH, J. R. SOLIS, M.; SOLIS, A.; PÉREZ, H. I.; MANJARREZ, N.; FLORES, M. Microbial decolouration of azo dyes: A review. **Process Biochemistry**, v.47., n.12, p.1723-174, 2012.

SRINIVASAN, A.; VIRARAGHAVAN, T. Decolorization of dyewastewaters by biosorbents: A review. **Journal of Environmental Management**, v.91, n.10, p.1915-1929, 2010.

SUNITHA, M.; SOWMYASREE, M.; MASTAN, R. K.; RAMA, K. R. C.; VENKATA, M. S.; HIMA, B. G.; PAUL, D. S. Visible Light Photocatalytic Degradation of Methylene Blue and Malachite Green Dyes with CuWO₄-GO Nano Composite. **Modern Research in Catalysis**, v.7, p.17-34, 2018.

BRUSCHWEILER, B. J.; MERLOT, C. Azo dyes in clothing textiles can be cleaved into a series of mutagenic aromatic amines which are not regulated yet. **Regul. Toxicol. Surf. Interfaces**, v.12, p.151–159, 2018.

TEH, C. Y.; BUDIMAN; P. M.; SHAK, K. P. Y.; WU, T. Y. Recent Advancement of Coagulation–Flocculation and Its Application in Wastewater Treatment. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v.55, n. 16, p.4363–4389, 2016.

TEHRANI-BAGHA, A. R.; MAHMOODI, N. M.; MENGER, F. M. Degradation of a persistent organic dye from colored textile wastewater by ozonation. **Desalination**, v.260, p.34-38, 2010.

TELKE, A. A.; KADAM, A. A.; GOVINDWAR, S. P. Bacterialenzymes and their role in decolorization of azo dyes. **Microbial degradation of synthetic dyes in wastewaters**, p.149-168, 2015.

TEMESGEN, F.; GABBIYE, N; SAHU, O. Biosorption of reactive red dye (RRD) on activated surface of banana and orange peels: Economical alternative for textile effluent. **Surfaces and Interfaces**, v.12, p.151-159, 2018.

THAMPGRAPHAPHON, B.; PHOSR, C.; PISUTPAISAL, N.; THAMVITHAYAKORN, P.; CHOTELERSAK, K.; SARP, S.; SUWANNASAI, N. High Potential Decolourisation of Textile Dyes from Wastewater by Manganese Peroxidase Production of Newly Immobilised *Trametes hirsuta* PW17-41 and FTIR Analysis. **Microorganisms**, v.10, p.992, 2022.

TIQUIA-ARASHIRO, S. M. Assessing toxicity of spent pig litter using a seed germination technique. **Resources Conservation and Recycling**, v.11, p.1-4, 1994.

UPENDAR, G. et al. **Removal of methylene blue dye using immobilized bacillus subtilis in batch & column reactor**. Materials Today: Proceedings. Anais...Elsevier Ltd, 2016.

VAZQUEZ-ORTEGA, F.; LAGUNES, I.; TRIGOS, A. Cosmetic dyes as potential photosensitizers of singlet oxygen generation. **Dyes Pigments**, v.176, p.108-248, 2020.

VERMA, R.K.; ASAIYA, A. J. K.; KUMAR, S. Diversity of macro-fungi in central india-xi: trametelactinea on terminalia arjuna, a new host record. **Tropical forest research institute**, v.5, n.2, p.40-43, 2018.

WAHAB, A. et al. Some New Records of Trametes (Polyporales, Basidiomycota); from Pakistan. **Jour Clin Med Res**, v. 2, n. 2, p. 1–17, 2021.

WELHAM, A. The theory of dyeing (and the secret of life). **J Soc Dyers Colour**, v.116, p.140-143, 2000.

WU, F.; ZHOU, L. W.; YANG, Z. L.; BAU, T.; Li T. H.; Dai Y.C., **Fungal Divers.**, v.98, 2019.

YANG, X.; WANG, J.; ZHAO, X.; WANG, Q.; XUE, R. Increasing manganese peroxidase production and biodecolorization of triphenylmethane dyes by novel fungal consortium. **Bio-resour. Technol**, v.102, p.0535-10541, 2011.

YENIKAYA, C.; ATAR, E.; ALGUN, A.; ILHAN, S.; ÇOLAK, F. Biosorption study of anionic dyes from aqueous solutions using *Bacillus amyloliquefaciens*. **Engineering in Life Sciences**, v.10, n.3, p.233-241, 2010.

YUAN, H. et al., Enhanced decolorization efficiency of textile dye Reactive Blue 19 in a horizontal rotating reactor using strips of BNC-immobilized laccase: Optimization of conditions and comparison of decolorization efficiency. **Biochemical Engineering Journal**, v. 156, 2020.

ZDARTA, J. et al. The effect of operational parameters on the biodegradation of bisphenols by *Trametes versicolor* laccase immobilized on *Hippospongia communis* spongin scaffolds. **Science of the Total Environment**, v.615, p.784–795, 2018.

ZHANG, X.; ZHANG, C.; CHANG, Z.; YUAN, T.; WANG, Y.; ZHAO, X.; YANG, Y.; ZHANG, G.; LA, K.; WU, Z. Improvement of tolerance to lead by filamentous fungus *Pleurotus ostreatus* HAU-2 and its oxidative responses, **Chemosphere**, v.150, p. 33–39, 2016.

ZMITROVICH IV., EZHOV ON, WASSER SP. A survey of species of genus *Trametes* Fr. (Higher Basidiomycetes) with estimation of their medicinal source potential. **International Journal of Medicinal Mushrooms**, v.14, p.307–319, 2012.

ZOLLINGER, H. **Color Chemistry**. V.C.H. Publishers, 2^a ed, 1991.