

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ANA ISABELA ZAVILENSKI

**BIOSSORÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS UTILIZANDO BIOMASSA FÚNGICA
RESIDUAL**

APUCARANA

2022

ANA ISABELA ZAVILENSKI

**BIOSSORÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS UTILIZANDO BIOMASSA FÚNGICA
RESIDUAL**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química/Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química – Apucarana Linha de Pesquisa: Engenharia de Bioprocessos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus.

Orientador(a): Prof.^a Dr.^a Milena Martins Andrade

Coorientador(a): Prof.^a Dr.^a Fernanda Lini Seixas

APUCARANA



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Apucarana



ANA ISABELA ZAVILENSKI

BIOSSORÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS UTILIZANDO BIOMASSA FÚNGICA RESIDUAL

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Desenvolvimento De Processos.

Data de aprovação: 16 de Dezembro de 2022

Dra. Milena Martins Andrade, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Fernanda Lini Seixas, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Marcio Eduardo Berezuk, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Tais Larissa Da Silva, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 16/12/2022.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Prof.^a Dr.^a Milena Martins Andrade, por me acolher novamente como sua aluna e por plantar em mim a semente da vida acadêmica. Por mais uma vez me dar a oportunidade de estudar uma área que era desconhecida para mim. Obrigada por todos os conselhos, pelos ensinamentos, pela paciência e dedicação, serei eternamente grata.

À minha co-orientadora Prof.^a Dr.^a Fernanda Lini Seixas, por aceitar fazer parte deste trabalho, pelos ensinamentos e todas as contribuições.

À banca examinadora, Prof.^a Dr.^a Tais Larissa da Silva e Prof. Dr. Márcio Eduardo Berezuk pelas contribuições valiosas que foram de suma importância para a realização deste trabalho.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Apucarana e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química por proporcionar essa oportunidade.

Ao Laboratório Multiusuário da UTFPR Campus Londrina (LABMulti-LD), pela análise de Microscopia Eletrônica de Varredura. Ao Laboratório Multiusuário da UTFPR Campus Apucarana (LAMAP-AP), pelas análises de Fisissorção de Nitrogênio, análises termogravimétricas e pelo uso do espectrofotômetro. Ao Laboratório de Química Probiótica (LQP) da Universidade Estadual de Londrina (UEL), pela análise de espectroscopia no infravermelho.

Um agradecimento especial ao Prof. Dr. André Luiz Tessaro e aos demais professores do comitê de gestão do LAMAP-AP, por me acolherem como bolsista técnica do laboratório multiusuário e por todos os ensinamentos valiosos que me transmitiram.

Aos meus pais, Isabel e Paulo, que mais uma vez não mediram esforços e apoiaram incondicionalmente na realização de mais uma etapa.

Aos meus irmãos, Antônio e Paulo, pelos momentos de descontração, sem vocês a vida seria menos divertida.

Aos amigos, novos e velhos, da vida e daqueles que vieram do laboratório para vida, que me apoiaram e torceram por mim.

Muito obrigada!

RESUMO

A biomassa fúngica produzida durante o processo de fermentação para obtenção de enzimas ou outros metabólitos, muitas vezes, não é reaproveitada, sendo descartada. Dependendo do meio de cultivo e de suas condições grande volume é gerado, necessitando de um descarte adequado. Essa biomassa pode ser utilizada como bioissorvente no tratamento de efluentes. As indústrias têxteis são as maiores consumidoras de corantes e água em seus processos de beneficiamento, principalmente na lavanderia e tingimento. O descarte deste efluente gerado se torna um problema ambiental, pois muitos são tóxicos e mutagênicos. Atualmente, utiliza-se processos físico-químicos para remoção desses efluentes que muitas vezes são dispendiosos e ineficientes. Desta forma, torna-se necessário estudar maneiras alternativas para o tratamento desses efluentes mais viáveis. A biomassa utilizada neste projeto é produzida pelo fungo *Botryosphaeria ribis* EC-01 em meio otimizado para se produzir lipases. A biomassa utilizada para o tratamento da solução sintética de corante reativo foi preparada de duas maneiras distintas, a primeira liofilizada e a segunda autoclavada e seca em estufa. Ambas foram caracterizadas pelas técnicas de Análise Termogravimétrica (TGA), Fisissorção de Nitrogênio, Ponto de Carga Zero (pH_{PCZ}), Caracterização por Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). O tratamento da solução sintética de corante foi realizado a partir de um planejamento fatorial 2³, sendo que para a biomassa liofilizada obteve-se descoloração de até 80,32 % em 165 minutos com a concentração de corante de 55 mg L⁻¹ e 125 mg de biomassa. Enquanto que com a biomassa autoclavada obteve descoloração de até 47,06 % em 165 minutos com a concentração de corante de 55 mg L⁻¹ e 200 mg de biomassa. A partir das condições ótimas, variou-se pH e temperatura no efluente real, no qual a temperatura não foi um fator determinante para contribuir com a descoloração pois com seu aumento há uma diminuição na capacidade adsorvida, no entanto a variação de pH proporcionou um aumento no percentual de descoloração. Por meio desse trabalho foi possível realizar descoloração da solução sintética de corante reativo com biomassa fúngica residual, no qual o bioissorvente mostrou-se eficiente no tratamento.

Palavras-chave: Bioissorvente; *Botryosphaeria ribis* EC-01; Adsorção; Efluente têxtil.

ABSTRACT

Fungal biomass produced during fermentation to obtain enzymes or other metabolites is often unused and discarded. Depending on the culture medium and conditions, a large volume is generated, requiring proper disposal. This biomass can be used as a biosorbent in effluent treatment. Textile industries are the biggest consumers of water and energy in their processing processes, mainly in laundry and dyeing. Disposing this generated effluent becomes an environmental problem, as many are toxic and mutagenic. Currently, physicochemical processes are used to remove those that are often expensive and inefficient. Thus, studying alternative ways of treating these more viable effluents becomes necessary. The biomass used in this project is produced by *Botryosphaeria ribis* EC-01 fungus in an optimized medium for the production of lipases. The biomass used for the treatment of the synthetic reactive dye solution was prepared in two different ways, the first lyophilized and the second autoclaved and dried in an oven. Both were characterized by the techniques of Thermogravimetric Analysis (TGA), Nitrogen Physisorption, Charge Point Zero (pHPCZ), Characterization by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and Scanning Electron Microscopy (SEM). The treatment of the synthetic dye solution was carried out based on a 2³-factorial design for the lyophilized biomass obtained discoloration of up to 80.32% in 165 minutes with a dye concentration of 55 mg L⁻¹ and 125 mg of biomass. While with autoclaved biomass obtained discoloration of up to 47.06% in 165 minutes with a dye concentration of 55 mg L⁻¹ and 200 mg of biomass. From the optimal conditions, pH and temperature were varied, in which the temperature was not a determining factor to contribute to the discoloration because, with its increase, there is a decrease in the adsorbed capacity. However, the pH variation provided an increase in the percentage of discoloration. Through this work, it was possible to decolorize the synthetic solution of reactive dye with residual fungal biomass, in which the biosorbent proved to be efficient in the treatment.

Keywords: Biosorbent; *Botryosphaeria ribis* EC-01; Adsorption; Textile effluent.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Isotermas de adsorção.....	21
Figura 2 - Esquema de preparação da biomassa liofilizada e da autoclavada e seca em estufa.....	26
Figura 3 - Esquema do preparo da solução estoque e das diluições para determinação do comprimento de onda e leitura das absorbâncias	29
Figura 4 - Esquema da aplicação da biomassa no tratamento da solução sintética de corante	31
Figura 5 - Biomassa <i>in natura</i> (A), liofilizada (B) e autoclavada com secagem em estufa (C).....	32
Figura 6: Curva TGA e DTG da biomassa liofilizada	33
Figura 7 - Curva TGA e DTG da biomassa autoclavada e seca em estufa	34
Figura 8 - Isoterma de adsorção/dessorção da Biomassa Liofilizada	36
Figura 9 - Isoterma de adsorção/dessorção da Biomassa Autoclavada e seca em estufa	36
Figura 10 - MEV biomassa liofilizada	37
Figura 11 - Micrografias para a biomassa autoclavada e seca em estufa.....	38
Figura 12 – Aspectos morfológicos da superfície da biomassa liofilizada (A) e da biomassa autoclavada e seca em estufa (B).....	39
Figura 13 - Análise FTIR biomassa liofilizada e autoclavada e seca em estufa	40
Figura 14 - Determinação do comprimento de onda do corante reativo azul BG 2G	42
Figura 15 - Soluções de corante utilizadas para a curva de calibração	42
Figura 16 - Curva de calibração corante reativo BG 2G.....	43
Figura 17 - Aplicação do planejamento fatorial 2^3 com biomassa fúngica liofilizada	43
Figura 18 - Aplicação do planejamento fatorial 2^3 com biomassa fúngica autoclavada e seca em estufa	43
Figura 19 - Superfícies de resposta para a descoloração de soluções com corante pela biomassa liofilizada de <i>Botryosphaeria ribis</i> EC-01	46
Figura 20 - Perfil de desejabilidade para a descoloração de soluções contendo corante utilizando a biomassa liofilizada de <i>Botryosphaeria ribis</i> EC-01.....	47
Figura 21 - Superfícies de resposta para a descoloração de soluções com corante pela biomassa autoclavada de <i>Botryosphaeria ribis</i> EC-01	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais aplicações da biomassa fúngica	15
Quadro 2 - Grupos químicos e aplicações dos principais corantes têxteis.	17
Quadro 3 - Biossorventes aplicados no tratamento de corantes têxteis.....	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais metais apresentados em efluentes têxteis a partir das classes de corantes.....	20
Tabela 2 - Planejamento fatorial 2 ³ utilizado para o tratamento do corante reativo BG 2G	29
Tabela 3 - Resultado das análises de Fisissorção de N ₂	35
Tabela 4 - Atribuições das bandas presentes no espectro FTIR para as biomassas de acordo com a literatura.....	40
Tabela 5 - Planejamento fatorial 2 ³ composto central rotacional para a avaliação da biossorção de corante pela biomassa de <i>Botryosphaeria ribis</i> EC-01	44
Tabela 6 - Análise de variância (ANOVA) para a biossorção de corante utilizando a biomassa de <i>Botryosphaeria ribis</i> EC-01 liofilizada.....	45
Tabela 7 - Análise de variância (ANOVA) para a biossorção de corante utilizando a biomassa de <i>Botryosphaeria ribis</i> EC-01 autoclavada.....	48
Tabela 8 - Biossorção de soluções contendo corante e efluente nas condições ótimas apontadas pelo modelo.....	50
Tabela 9 - Variação de temperatura e pH para as condições ótimas do modelo	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C	Antes de Cristo
ATR	Reflectância Total Atenuada
<i>B. ribis</i>	<i>Botryosphaeria ribis</i>
DTG	Derivada termogravimétrica
FS	Fermentação submersa
FTIR	Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
PCZ	Ponto de Carga Zero
UEL	Universidade Estadual de Londrina
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
rpm	Rotação por minuto
TGA	Análise Termogravimétrica

LISTA DE SÍMBOLOS

Cr	Cromo
mg	Miligramo
L	Litro
g	Gramo
Kg	Quilogramo
T	Temperatura
nm	Nanómetros

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1.	O uso de micro-organismos na indústria	13
2.1.1	A fermentação submersa e a geração de biomassa fúngica	14
2.1.2	A aplicação de biomassa como adsorvente	15
2.2.	A indústria têxtil e o processo de beneficiamento	16
2.2.1.	Corante Reativo.....	18
2.2.2.	Legislação ambiental	19
2.3.	Adsorção	20
2.4.	Biossorção de corante no tratamento de efluente têxtil	22
3.	OBJETIVOS	24
3.1.	Objetivo geral.....	24
3.2.	Objetivos específicos.....	24
4.	METODOLOGIA	25
4.1.	Preparação da biomassa fúngica.....	25
4.2.	Caracterização da biomassa	26
4.3.	Preparação das soluções de corante e coleta do efluente	28
5.3.	Aplicação da biomassa no tratamento de corante	29
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
6.1.	Biossorvente <i>B. ribis</i> EC-01	32
6.1.1.	Caracterização da Biomassa.....	32
6.1.2.	Determinação do comprimento de onda e curva de calibração.....	41
6.1.3.	Avaliação dos efeitos concentração de corante, quantidade de biomassa e tempo no processo de adsorção- Planejamento fatorial e superfície de resposta ..	43
7.	CONCLUSÃO	52
	REFERÊNCIAS	53

1. INTRODUÇÃO

O processo de fermentação, de maneira geral, pode ser entendido como uma técnica capaz de realizar transformações da matéria orgânica em outros produtos a partir da utilização de micro-organismos. Nas indústrias ele pode ser observado durante a fabricação de produtos lácteos como queijos e iogurtes, metabólicos como enzimas e ácidos, na produção de vinhos, cervejas, medicamentos, entre outros (WARD, 1989). Durante esse processo, uma grande quantidade de biomassa é formada, entretanto, apesar de existir várias possibilidades de aplicação de acordo com o substrato e o tipo de micro-organismo utilizado, muitas vezes essa matéria orgânica residual não é aproveitada.

A biomassa fúngica é produzida a partir do cultivo do micro-organismo fungo (MOREIRA; FURLONG, 2007) e atualmente visando diminuir os custos com tratamentos de efluente, processos biotecnológicos eficientes apresentaram grande interesse no mercado. Com isso a biomassa vem sendo estudada por diversos autores e se mostra promissora no tratamento de diversos tipos de efluentes por meio do processo de biossorção (BURATTO; COSTA; FERREIRA, 2012).

Durante o processo de beneficiamento têxtil emprega-se o uso de corantes na etapa de tingimento, que possuem em sua composição uma infinidade de compostos tóxicos. A biomassa fúngica utilizada como material biossorvente se apresenta como uma alternativa com grande potencial para o tratamento de efluente proveniente dos processos de tingimento têxtil.

As indústrias têxteis se destacam pela grande participação econômica no mercado, pela alta geração de empregos e faturamento. Em contrapartida, apesar de sua grande relevância econômica também ficaram popularmente conhecidas pelo alto consumo de água, corantes sintéticos e outros insumos auxiliares que conseqüentemente acarretam em efluentes com elevados índices de coloração, alta carga orgânica e compostos químicos extremamente tóxicos, que necessitam de tratamento prévio para remoção desses agentes contaminantes antes de serem descartados (SILVA *et al.*, 2015). Sendo assim, o emprego da biomassa fúngica torna-se uma alternativa abundante e de baixo custo que possibilita a remoção de concentrações residuais de metais pesados, corante e outros componentes contidos em efluentes industriais têxteis.

Existem diversos métodos convencionais para o tratamento de efluentes têxteis, visto que há uma grande diversidade de estruturas químicas e compostos complexos, entre eles, para a remoção de corantes do efluente pode-se citar a floculação, eletroflotação, processos oxidativos avançados, filtração por membrana, processo de adsorção por meio de biossorventes, entre outros (KHALED *et al.*, 2009; CUNHA *et al.*, 2019). O processo de adsorção é um dos mais comumente utilizados para a remoção de contaminantes presentes nos efluentes em aplicações industriais, isso devido ao seu baixo custo de execução, simplicidade de operação e sua elevada taxa de eficiência na remoção das substâncias poluidoras (CARVALHO *et al.*, 2015).

Portanto, o objetivo deste trabalho consiste em utilizar a biomassa fúngica proveniente do processo de fermentação submersa para a produção de lipase e aplicá-la no tratamento de solução de corante reativo, bem como avaliar as caracterizações da biomassa a fim de compreender seu uso como adsorvente.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O uso de micro-organismos na indústria

Os micro-organismos são definidos como seres pequenos que não podem ser vistos a olho nu e para enxergá-los é necessário o auxílio de um microscópio (SALVATIERRA, 2014). Entre eles estão as bactérias, fungos, vírus, protozoários e algumas espécies de algas, que podem ser classificados de acordo com sua morfologia, faixa de temperatura e pH, em relação ao que produzem, entre outros. A maioria dos micro-organismos auxiliam na manutenção do equilíbrio da vida, e é de suma importância ter o conhecimento de que apesar de existirem micro-organismos patogênicos, que são responsáveis pelas doenças e infecções, existem também os micro-organismos deterioradores, que apenas provocam mudanças no odor, na cor, sabor ou textura e que na maioria dos casos são inofensivos apresentando apenas um resultado natural da sua atividade metabólica (RIBEIRO *et al.*, 2018).

A obtenção de bioprodutos a partir de técnicas utilizando micro-organismos acompanham a história da humanidade ao longo do tempo. Relatos históricos apontam a fabricação de cerveja, pelos babilônios, por meio das leveduras por volta de 6000 a.C. A Bíblia em seu Antigo Testamento menciona a produção do vinho. Assim como o procedimento para a preparação de produtos como o vinagre, iogurte e queijo, que por meio dos processos de fermentação também aconteceram muito antes de se conhecer a manipulação consciente desses seres (ACEVEDO-DÍAZ; GARCÍA-CARMONA, 2016; RIBEIRO *et al.*, 2018).

Atualmente as indústrias fazem o uso da aplicação de micro-organismos em diferentes processos, como na síntese de diversos produtos químicos. Na indústria alimentícia, eles são utilizados para a produção de vinagre, molho de soja, pão, iogurte, bebidas alcoólicas. Na indústria têxtil, por meio das enzimas, é possível agregar valor as peças e na qualidade dos tecidos, como a estonagem de peças *jeans*, ou a desengomagem dos tecidos. Na produção de fármacos, por meio da manipulação de enzimas, são usados para auxiliar substâncias que normalmente não sintetizam (TORTORA *et al.*, 2017). Durante o processo de fermentação para atender o objetivo comercial de cada tipo de indústria ocorre a formação de um resíduo denominado biomassa.

2.1.1 A fermentação submersa e a geração de biomassa fúngica

A fermentação microbiana se trata de um método comumente utilizado em indústrias para a produção de diversos bens de consumo. Devido sua alta capacidade de se desenvolver em substratos simples e gerar materiais interessantes para indústria de bioprocessos, seu uso tem se intensificado nos últimos tempos (PEREZ; PAULO, 2001). Os processos fermentativos podem ser realizados no estado líquido ou no estado sólido. Quando conduzidos no estado líquido, são denominados de fermentação submersa (FS). A técnica de obtenção de enzimas proveniente do processo de FS, é constituído basicamente de água e de nutrientes nela dissolvidos, que de acordo com o micro-organismo e o produto de interesse são aplicadas as condições de cultivo que visam oferecer os maiores rendimentos (NAIME *et al.*, 2014).

A lipase, enzima de alto custo muito utilizada na indústria de alimentos, farmacêutica, agroquímicas entre outras, pode ser obtida por meio do fungo *Botryosphaeria ribis EC-01* por fermentação submersa. No entanto, para alcançar o produto de interesse, durante o processo ocorre uma grande formação de micélios que culminam em uma elevada quantidade de biomassa (BUENO, 2016). Esse material residual proveniente do processo fermentativo apresenta compostos com propriedades específicas de grande valia para o campo biotecnológico e se uma vez reutilizados diminuem a quantidade de descarte desses rejeitos destinando-os para uma finalidade adequada (BORGES; COSTA; DRUZIAN, 2014).

A biomassa gerada durante o processo é um resíduo proveniente do crescimento celular, no caso da biomassa fúngica utilizada no presente trabalho, sua principal composição é o resíduo de torta de soja (carboidrato, lipídeos, proteínas) utilizada como substrato na produção de lipase, assim como a própria enzima. A biomassa residual do processo pode ser aplicada em produção de ração animal, fertilizantes e tratamentos envolvendo o processo de biossorção.

2.1.2 A aplicação de biomassa como adsorvente

O crescimento mundial da população juntamente com a globalização e a constante busca das indústrias para atender as necessidades da sociedade, faz com que ocorra o aumento gradativo da contaminação dos ecossistemas, que foram potencializados com o advento da Revolução Industrial, causando sequelas ambientais até mesmo para as gerações que estão por vir. Com o decorrer dos anos e da grande necessidade, normas e leis foram criadas para minimizar a grave crise ambiental causada principalmente pelo despejo incorreto de efluentes. (LEITE *et al.*, 2017).

A biomassa fúngica residual gerada durante o processo de fermentação submersa, tem sido estudada por diversos autores devido à facilidade de obtenção e não patogenicidade. A importância de se desenvolver um bioprocesso derivado do crescimento celular visa não só a diminuição de custo, mas também uma destinação ambientalmente correta (SOBRINHO *et al.*, 2015). As aplicações para a biomassa fúngica residual são encontradas na literatura em grande parte no tratamento de efluentes como biossorventes para a remoção moléculas/ íons metálicos (LEITE *et al.*, 2017). O Quadro 1, apresenta os principais usos da biomassa fúngica no tratamento de efluentes de acordo com pesquisas relacionadas ao método de biossorção.

Quadro 1 - Principais aplicações da biomassa fúngica

Micro-organismo	Aplicação	Condições de Aplicação	Referências
<i>Lasiodiplodia theobromae</i>	Efluentes de galvanoplastia	28 °C por 3 dias a 150 rpm	(HAUPENTHAL, 2018)
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Sol. Sintética de cobre (II)	Temp. amb., por 14 dias a 100 rpm	(BURATTO; COSTA; FERREIRA, 2012)
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Sol. Sintética de cromo (VI)	28 °C por 15 dias a 150 rpm	(FERREIRA, 2016)
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Sol. Sintética de cromo (VI)	25 °C por 2 dias a 100 rpm	(RIGON, 2013)
<i>Aspergillus sp.</i>	Sol. sintética Cádmio	28 °C por 12 horas a 150 rpm	(PALLU, 2006)

Fonte: Autoria própria (2021)

Hauptenthal (2018) ao aplicar biomassa do micro-organismo fúngico, *Lasiodiplodia theobromae*, em efluente proveniente do processo de galvanoplastia, para biossorção do íon metálico Cr (VI), obteve resultado de 95,41 e 97,49 % para efluente previamente tratado e de 36,55 e 37,58 % para o efluente bruto.

Buratto; Costa; Ferreira (2012) ao avaliar a remoção de íons de cobre III de uma solução sintética com biomassa seca em estufa, proveniente do micro-organismo fúngico *Pleurotus ostreatus* a partir de um planejamento fatorial 2^3 , obteve remoção de 86,01 % e a partir da cinética foi possível verificar que o tempo máximo de biossorção foi de 5 min para a saturação da biomassa.

Ferreira (2016) ao aplicar biomassa fúngica proveniente do fungo *Pleurotus ostreatus* em soluções aquosas sintéticas de íons Cromo (VI) em diferentes concentrações e com biossorbentes ativos e inativos obteve após 336 horas de experimento, 100% da capacidade de saturação para a biomassa ativa alcançando uma remoção total de Cr (VI) para as amostras de 10 e 25 mg L⁻¹.

Rigon (2013) ao aplicar biomassa fúngica autoclavada e liofilizada em uma solução sintética de Cromo VI, obteve após 48 h de agitação a capacidade de adsorção máxima de 9,59 mg g⁻¹ para a biomassa com tratamento térmico e 8,45 mg g⁻¹ para a biomassa sem tratamento.

Pallu (2006) ao realizar o tratamento de uma solução de sal de cádmio com biomassa liofilizada e autoclavada de duas linhagens diferentes obteve melhor resultado em 4 h de agitação para a linhagem do tipo MSE e 12 h para a linhagem do CadG1, não havendo diferença estatística para os diferentes tipos de biomassa.

2.2. A indústria têxtil e o processo de beneficiamento

A indústria têxtil é uma das mais significativas consumidoras de produtos químicos, isso se deve pela aplicação desses componentes durante vários processos importantes, como na fiação de fibras sintéticas e auxiliares no beneficiamento. No setor de beneficiamento os insumos desejados (peças prontas, rolo de tecido ou fio) são transformados em artigos com características de enobrecimento, por meio da tinturaria, estamparia e/ou acabamento, como o intuito de melhorar as características físico-químicas desses materiais. Na etapa do tingimento, além do alto consumo de água, o uso dos corantes para obtenção da

cor, é muito preocupante pois esses compostos apresentam alto nível de poluição (ALMEIDA; DILARRI; CORSO, 2017; FORGIARINI, 2006).

O material a ser tinto é o determinante de todo o processo, pois ainda não há fibra conhecida que possa ser tingida por todos os corantes. A escolha do corante ideal para o processo depende de características como: afinidade, que se trata do corante ser parte integrante da fibra após o processo, igualização, para que a cor obtida no final do processo seja uniforme, solidez, para que não haja desbotamento do artigo e economia, a fim de que não haja desperdícios em relação a tempo, corante e produtos auxiliares (GUARATINI; ZANONI, 2000). O Quadro 2 apresenta os principais corantes utilizados na indústria têxtil e seus respectivos grupos químicos.

Quadro 2 - Grupos químicos e aplicações dos principais corantes têxteis.

Corantes	Grupo Químico	Aplicação
Ácido	Sulfônico (-SO ₃ ⁻)	Couro, nylon, lã
Azóico	Azo (-N=N-)	Algodão e poliéster
Direto	Mais de um grupo azo	Algodão, viscose, couro
Disperso	Não apresentam grupo azo	Poliéster, nylon, acetato
Reativo	Grupos eletrofilicos reativos	Algodão, lã, viscose
Sulforoso	Anéis aromáticos na presença de enxofre, aminas	Algodão
À cuba	Mais de um anel aromático	Algodão
Pré-metalizado	Íons metálicos	Couro

Fonte: Guaratini; Zanoni, (2000); Zanoni; Yamanaka, (2016)

Corantes sintéticos utilizados na indústria têxtil possuem alta complexidade em sua estrutura molecular, dificultando a degradação desses compostos presentes nos efluentes. Esses efluentes ao serem emitidos no ambiente podem poluir corpos hídricos e alterar o ecossistema próximo do local de descarte (LIMA; AMADOR; MORAIS, 2017). Em consequência disso o tratamento de efluentes tem apresentado grande interesse, principalmente pelas regras ambientais que estão cada vez mais rigorosas e pelo apelo à conscientização ambiental (GUARATINI; ZANONI, 2000).

2.2.1. Corante Reativo

O corante do tipo reativo é muito utilizado na etapa de tingimento devido sua alta solubilidade em água, sua grande variedade de cores até mesmo as mais brilhantes e principalmente por sua capacidade de conferir ao material uma solidez à lavagem elevada, consequência de uma forte ligação corante-fibra. Aplicado em fibras celulósicas em meio alcalino e em fibras proteicas ou poliamidas em meio ácido, esse tipo de corante pode realizar o processo de tingimento em temperatura ambiente ou com aplicação de temperatura dependendo da sua afinidade com a fibra a ser tinta (SENAI, 2016). Empregado no tingimento das fibras de algodão, lã e viscose, o corante reativo, é responsável por tingir mais de 50 % do volume de produção dos produtos obtidos a partir da fibra de algodão (BABU *et al.*, 2007).

Para a realização da etapa de tingimento, além do corante e da água, alguns insumos como eletrólitos, para contribuir no rendimento do processo, barrilha ou hidróxido de sódio, também fazem parte dessa etapa, a fim de conferir o pH ideal para a fixação do corante. É de suma importância ressaltar que para uma boa solidez, o corante hidrolisado, ou seja, o corante que reagiu com a água e não com a fibra, seja eficazmente eliminado da superfície do material tinto, por meio de lavagens e ensaboamento, a fim de que não haja nenhum problema de manchamento quando a peça for submetida a lavagem doméstica (SENAI, 2016; DURAES, 2020).

Os corantes reativos em geral apresentam em sua estrutura pelo menos um grupo cromóforo, que é responsável pela cor e um grupo reativo, que garante a fixação, por ligação covalente. Esses cromóforos, normalmente são azo-compostos ou antraquinonas ligados com grupos reativos como o vinil sulfona, clorotiazina ou tricloropirimidina. Os cromóforos do tipo azo-compostos ao serem reduzidos formam aminas tóxicas no efluente, enquanto que os grupos antraquinonas, por terem estruturas aromáticas, são mais resistentes a degradação, tornando o efluente tinto por mais tempo (AKSU; TEZER, 2005). O corante reativo azul BG 2G produzido pela indústria *Golden Technology*, é um exemplo de corante reativo empregado na indústria têxtil.

Devido à grande carga poluente de efluente depositado pelas indústrias têxteis oriundas principalmente na etapa de tingimento, existe a necessidade da

fiscalização para que esses processos não prejudiquem a fauna e a flora que cercam a região na qual essas empresas encontram-se instaladas.

2.2.2. Legislação ambiental

A água é um dos principais insumos utilizados nos diversos processos presentes na cadeia têxtil, segundo Resende (2012), estima-se que para a produção de 1 kg de tecido sejam necessários cerca de 80 L de água e tendo em vista que essa quantidade de água utilizada no processo não se incorpora ao produto final, aproximadamente 80 % retorna ao corpo hídrico em forma de efluente, muitas vezes de maneira heterogênea e poluente, por isso a etapa de tratamento é muito importante. Os efluentes provenientes da indústria de tingimento podem ter diversas variações que dependem do tipo de fibra, dos insumos utilizados, equipamentos e técnicas empregadas.

Além de todos os auxiliares presentes no efluente têxtil, tais como detergentes, eletrólitos, ácidos, álcalis, surfactantes, gomas, ceras, graxas, existem também a presença de metais pesados que podem ser originários da molécula do corante ou proveniente dos insumos utilizados. A Tabela 1 apresenta as concentrações de metais que podem ser encontrados em efluentes de tingimento de acordo com as classes de corantes (ZANONI, YAMANAKA, 2016).

Tabela 1 - Principais metais apresentados em efluentes têxteis a partir das classes de corantes

Classe de corante	Fibra	Metais (mg L ⁻¹)					
		Cádmio	Cromo	Cobre	Chumbo	Mercúrio	Zinco
Ácidos	Poliamida	0,02	0,08	1,43	0,21	0,38	1,39
	Lã	0,04	0,11	0,07	0,22	0,48	3,43
Ácidos Pré-metalizados	Poliamida	0,02	0,85	0,48	0,12	1,23	1,78
	Lã	7,5	0,21	0,05	0,10	1,53	3,10
Básicos	Acrílico	0,03	0,03	0,09	0,12	0,39	1,06
	Poliéster	0,05	0,05	0,05	0,26	0,43	0,46
Diretos	Algodão	0,16	0,07	12,05	0,42	1,39	0,87
	Viscose	0,18	2,71	8,52	1,95	0,50	1,32
Reativos	Algodão	0,20	0,12	0,23	0,54	0,62	0,65
Azóicos	Algodão	0,02	0,05	0,06	0,16	1,12	2,02
Ao Enxofre	Algodão	0,01	0,08	0,08	0,28	1,15	0,54
À tina	Algodão	0,05	0,07	0,37	0,42	2,20	0,83
Disperso	Poliéster	0,02	0,04	3,93	0,15	0,50	0,66
	Poliamida	0,05	0,10	0,16	0,18	0,99	1,53
	Triacetato	0,02	0,14	0,08	0,15	0,58	1,00

Fonte: Peres e Abrahão (1998) apud. Beltrame (2000).

Para conter o despejo inadequado de cargas poluentes nos corpos hídricos foram criadas leis e resoluções que determinam quantidades mínimas nas quais esses efluente deve estar enquadrado. A resolução 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, estabelece condições, parâmetros, padrões e diretrizes para a gestão de lançamentos de efluentes em corpos de água receptores. E a Lei Nº 9.065/98 dispõe de sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente.

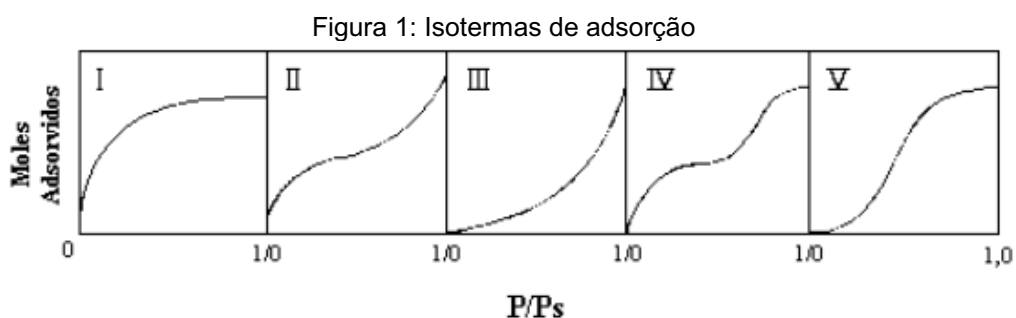
2.3. Adsorção

O processo de adsorção consiste em uma operação de transferência de massa que ocorre entre sólido e fluido, no qual o material sólido é capaz de concentrar em sua superfície determinadas substâncias existentes no fluido, separando-as, dessa forma, quanto maior a superfície externa do material mais favorável será adsorção. A substância adsorvida na superfície do material é

denominada adsorbato e a superfície sólida capaz de acumular o adsorbato é chamada de adsorvente (RUTHVEN, 1984).

A força das ligações que ocorrem entre as moléculas é um fator importante no processo de adsorção, por isso, a adsorção pode ser do tipo química ou física. Na adsorção química os átomos se ligam a superfície do material adsorvente por ligações químicas, nesse tipo de adsorção, a separação do adsorbato ligado ao adsorvente é difícil, sendo na maioria das vezes um processo irreversível. Na adsorção física não há uma reação química, apenas a atuação das forças de *Van der Waals*, que apesar de serem de longo alcance, são fracas e de caráter reversível (CIOLA, 1981; DABROWSKI, 2001; MOREIRA, 2008).

As isotermas de adsorção podem ser apresentadas de diversas formas, uma delas diz respeito a quantidade de moles adsorvida versus a pressão relativa, nesse modelo é possível observar a classificação BET (Brunauer-Emmer-Teller). A Figura 1 apresenta o modelo de isotermas de adsorção proposto por Brunauer *et al.*; (1936).



Fonte: Brunauer *et al.*; (1938).

As isotermas do tipo I se caracterizam por possuir o diâmetro da molécula do adsorbato não é muito menor do que o tamanho de poro, nesses casos ocorrem uma saturação limite, fazendo com que os microporos fiquem preenchidos por completo. Isotermas dos tipos II e IV são observadas em sistemas não poroso ou com poros no intervalo de mesoporos ou macroporos. Nas isotermas do tipo III e V estão descritas as interações muito fracas em sistemas contendo macro ou mesoporos (MEZZARI, 2002; RUTHVEN, 1984).

2.4. Bioissorção de corante no tratamento de efluente têxtil

A preocupação com a diminuição da carga de poluição despejada por efluentes, conciliada com a minimização e o reaproveitamento de resíduos sólidos como os de biomassa gerados pelas indústrias, atrelados à diminuição de custos favorecem o cenário para aplicação desse material como tratamento alternativo por adsorção. O Quadro 3 apresenta alguns materiais bioissorventes provenientes de resíduos industriais que se mostraram promissores quando aplicados no tratamento de efluentes têxteis.

Quadro 3 - Bioissorventes aplicados no tratamento de corantes têxteis.

Bioissorvente	Aplicação	Condições de Aplicação	Referências
Biomassa fúngica	Efluente têxtil de índigo	28 °C por 2 dias a 180 rpm	(PIZATO <i>et al.</i> , 2017)
Biomassa de casca de soja e serragem	Sol. corante reativo	30 °C por 1 dia a 200 rpm	(GOEDERT, 2017)
Biomassa fúngica	Efluente têxtil bruto	Temp. ambiente por 2 dias a 120 rpm	(SANTOS <i>et al.</i> , 2020)
Biomassa fúngica	Sol. corante reativo	25 °C por 120 minutos	(MENDES; DILARRI; PELEGRINI, 2015)
Biomassa Fúngica	Sol. sintética de índigo	28 °C por 3 dias a 200 rpm	(CHAVES <i>et al.</i> , 2008)

Fonte: Autoria própria (2021).

Pizato *et al.*, (2017) ao realizar o tratamento com biomassa fúngica proveniente do micro-organismo *Lasiodiplodia theobromae* em efluente têxtil gerado a partir de um beneficiamento com corante índigo, obteve a eficiência máxima de descoloração do efluente em 91,26 % em 168 h.

Goedert (2017) ao realizar um estudo comparativo no tratamento de efluente sintético de corante azul reativo 5G com casca de soja, serragem e carvão ativado comercial granular obteve em 100 min de processo o tempo de equilíbrio e eficiências máximas de 96, 97 e 88 % para casca de soja, serragem e carvão ativado comercial granular respectivamente.

Santos *et al.*, (2020) ao aplicar biomassa fúngica proveniente do fungo *Aspergillus sp.* no biotratamento de efluente têxtil bruto obteve descoloração de 81 % e 92 % do efluente em 1 g e 4 g respectivamente em apenas 24 h de tratamento.

Mendes, Dilarri e Pelegrini (2015) ao avaliar a eficiência de remoção de corante por meio da biomassa fúngica proveniente do fungo *Saccharomyces cerevisiae* obteve valor de absorvância aceitável para o descarte do material.

Chaves *et al.*, (2008) ao aplicar biomassa fúngica autoclavada, com o fungo *Aspergillus niger* em uma solução sintética de corante índigo, retratou uma remoção de 95 % do corante da solução aquosa.

Diante de algumas aplicações referentes a outros trabalhos, os fungos apresentam resultados promissores para o tratamento de efluentes têxteis e remoção de metais pesados. Esses micro-organismos que apresentam um ciclo de vida curto e possuem grande utilidade no mercado, possuem um alto rendimento de biomassa possibilitando um tratamento eficiente, de matéria-prima abundante e de baixo custo operacional (KUNZ; PERALTA-ZAMORA; MORAES; DURÁN, 2002). Por apresentar características de não-patogenicidade pode ainda ser utilizado como matéria-prima para a produção de carvão ativo.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

Utilizar a biomassa fúngica gerada por fermentação submersa como material bioissorvente no tratamento de solução de corante reativo no processo de adsorção.

3.2. Objetivos específicos

- Preparar e caracterizar a biomassa fúngica proveniente de fermentação antes e após o uso como bioissorvente (FTIR, MEV, fisissorção de nitrogênio, ponto de carga zero (PCZ));
- Aplicar a biomassa ativa (liofilizada) e inativa (autoclavada) como bioissorvente no tratamento de soluções contendo corante utilizando planejamentos fatoriais;
- Estudar a influência do pH da solução e temperatura na melhor condição encontrada;
- Testar o melhor resultado encontrado no tratamento de efluente têxtil.

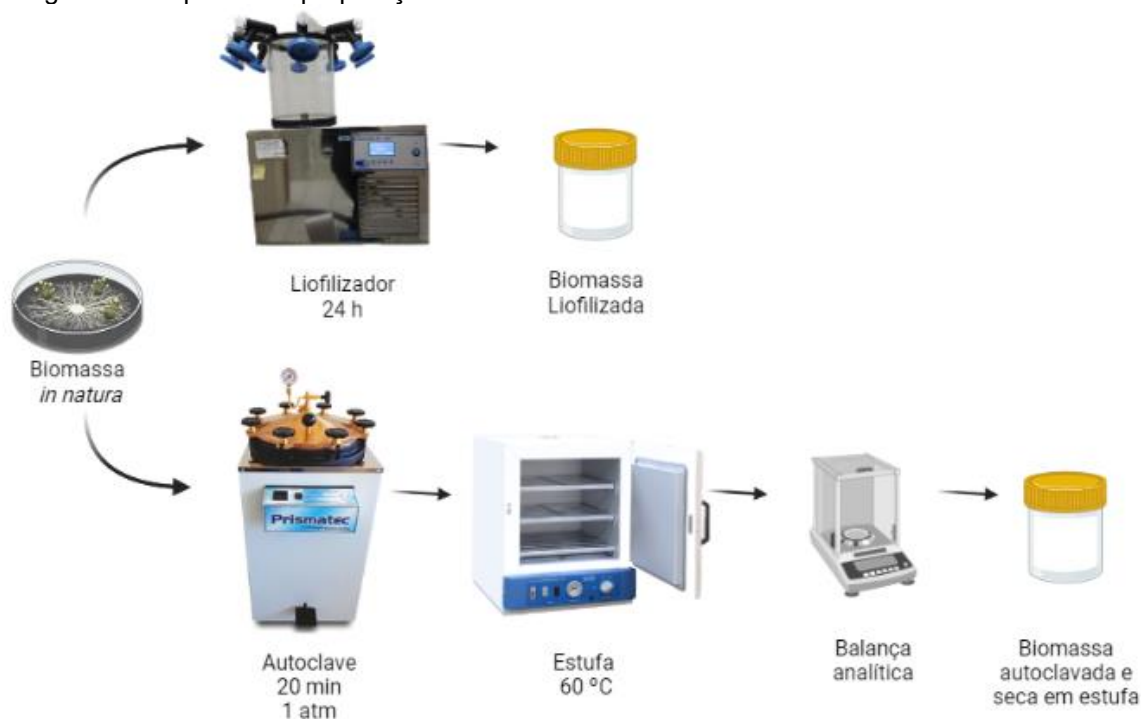
4. METODOLOGIA

Nesse tópico é apresentada a metodologia realizada para o desenvolvimento de todas as atividades experimentais do presente trabalho, bem como a preparação do material adsorvente, juntamente com as técnicas utilizadas em sua caracterização e a descrição da metodologia utilizada. O fluxograma do processo experimental pode ser observado no APÊNDICE A.

4.1. Preparação da biomassa fúngica

A biomassa fúngica escolhida para o presente trabalho foi selecionada devido sua disponibilidade na UTFPR Câmpus Apucarana, o bioissorvente é proveniente do processo de FS para produção de lipases pelo fungo *B. ribis* EC-01 que utiliza resíduos agroindustriais como torta de soja, melão, malte, levedura e glicerol. Após cada fermentação, a biomassa foi separada do sobrenadante por centrifugação a 3000 rpm durante 15 min. Após a centrifugação, metade da biomassa produzida foi inativada em autoclave (CS, Primatec) a 1 atm durante 20 min. e em seguida seca em estufa (NL 82-150, New Lab) a 60 °C até a estabilidade. A outra metade foi mantida ativa, para isso foi utilizado o liofilizador (SL-404, Solab) por um período de 24 h para desidratar o material bioissorvente mantendo suas propriedades. Ambas as biomassas foram armazenadas em seus respectivos recipientes devidamente fechados em temperatura ambiente até a utilização. A Figura 2 apresenta o esquema para o preparo da biomassa liofilizada e para a biomassa autoclavada e seca em estufa.

Figura 2 - Esquema de preparação da biomassa liofilizada e da autoclavada e seca em estufa



Fonte: Autoria própria (2021).

4.2. Caracterização da biomassa

A caracterização do material adsorvente visa compreender suas propriedades físico-químicas a fim de possibilitar a elucidação do presente trabalho. Para isso utilizou-se as técnicas de Análise Termogravimétrica (TGA), Fisissorção de Nitrogênio para obtenção dos tamanhos, volumes de poros, superfície específica bem como as isotermas de adsorção/dessorção, Ponto de Carga Zero (pH_{PCZ}) para determinação da carga superficial do material adsorvente, Caracterização por Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) para a identificação dos grupos funcionais do adsorvente e por fim, Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) a fim de investigar as características microporosas da superfície do material por meio de imagens em alta resolução.

4.2.1. Análise Termogravimétrica (TGA) e Termogravimetria Derivada (DTG)

A análise TGA foi realizada no equipamento termogravimétrico (TA-50, Shimadzu) disponibilizado pelo Laboratório Multiusuário de Apoio à Pesquisa da UTFPR Campus Apucarana (LAMAP), as análises foram aplicadas na biomassa

liofilizada e na autoclavada antes do processo de biossorção. É realizada em panelinha de alumínio com cerca de 5 a 8 mg para cada amostra em atmosfera de argônio, com fluxo de 50 mL min⁻¹, temperatura de 20 °C até 700 °C em uma taxa de 10 °C min⁻¹.

4.2.2. Análise de Fisissorção de Nitrogênio

O método de Fisissorção de Nitrogênio foi realizado pelo equipamento Novatouch LX2/Quanta Chrome, disponibilizado no Laboratório Multiusuário de Apoio à Pesquisa da UTFPR Campus Apucarana (LAMAP), nas amostras de biomassa liofilizada e autoclavada, a fim de verificar a superfície específica dos materiais por meio do método de BET, tamanho de poros por meio do método BJH, volume de poros por meio do método *t-plot* e as isotermas de adsorção e dessorção dos materiais. Para a eliminação de possíveis contaminantes antes de realizar a análise propriamente dita, realizou-se um processo de degaseificação, no qual a amostra foi submetida a um sistema a vácuo durante um período de tempo e temperatura. No caso da biomassa liofilizada e da biomassa fúngica, a temperatura foi determinada a partir da análise TGA, a fim de que não ocorra a degradação das amostras e o tempo foi fixado em 3 horas à 120 °C.

4.2.3. Ponto de carga zero (pH_{PCZ})

O ponto de carga zero define em qual pH a superfície do material possui carga neutra. Essa análise é importante pois permite prever a ionização de grupos funcionais. O método foi adaptado de Uehara, (1979) no qual consistiu em adicionar em 2 erlenmeyers 2g da amostra de biomassa liofilizada e em um dos erlenmeyers foram adicionados 5 mL de solução de KCl 1,0 mol. L⁻¹ e no outro 5 mL de água ultra pura. Ambos os foram agitados e por 30 min e após 24 h o pH foi mensurado. Em seguida, repetiu-se o experimento para a biomassa autoclavada e seca em estufa. Os ensaios foram realizados em triplicata para cada uma das biomassas. Para o cálculo de pH_{PCZ} foi utilizada a Equação 1.

$$\text{pH}_{\text{PCZ}} = 2 \cdot \text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$$

Equação 1

4.2.4. Caracterização por Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

Os espectros de infravermelho da biomassa foram obtidos através do espectrômetro Perkin-Elmer (R) modelo Vertex 70 acoplado ao acessório de Reflectância Total Atenuada (ATR), utilizando 32 scans, resolução de espectro de 2 cm^{-1} e janela de trabalho entre 4000 cm^{-1} e 400 cm^{-1} . As análises foram realizadas em parceria com o Laboratório de Química Probiótica (LQP), da Universidade Estadual de Londrina (UEL).

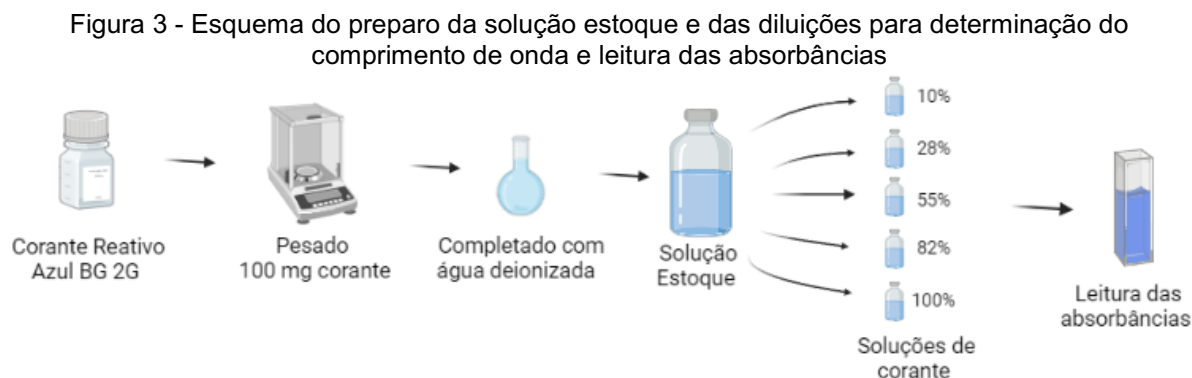
4.2.5. Análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) da biomassa liofilizada e da biomassa autoclavada e seca em estufa foram obtidas por microscópio, eletrônico TESCAN VEGA. As análises foram realizadas no Laboratório Multiusuário de Apoio à Pesquisa da UTFPR Campus Londrina.

4.3. Preparação das soluções de corante e coleta do efluente

O corante selecionado para esse trabalho foi o corante reativo azul BG 2G-Golden Technology, fornecido pela UTFPR Câmpus Apucarana, a solução estoque foi preparada com concentração de 100 mg L^{-1} e a partir desta foram feitas as soluções de corante com concentrações de 100 %, 82 %, 55 %, 28 % e 10 % (v/v) definidos previamente pelo planejamento fatorial. A partir da solução estoque de corante, a partir do espectrofotômetro UV-Vis (Cary 60, Agilent) realizou-se uma varredura espectral de 450 a 800 nm para a determinação do comprimento de onda ideal no qual ocorre a absorbância máxima. Em seguida, realizou-se as leituras de absorbância para as demais concentrações no comprimento de onda fixado. Com isso foi possível determinar uma curva de calibração a partir de cada uma das concentrações para auxiliar na determinação das concentrações pós-tratamento. O efluente utilizado para aplicação na melhor condição testada foi recolhido do Laboratório de Lavanderia e Tingimento da UTFPR – Câmpus Apucarana e armazenado em temperatura ambiente até o momento do uso. A Figura 3 apresenta

o esquema de preparo da solução estoque e da diluição das demais soluções de corante.



Fonte: Autoria própria (2021).

5.3. Aplicação da biomassa no tratamento de corante

A bioadsorção de corante utilizando biomassa do fungo *Botryosphaeria ribis* EC-01 liofilizada e autoclavada foi realizada de acordo com planejamentos fatoriais 2^3 composto central rotacional ($\pm\alpha$, com $\alpha = (2^k)^{1/4}$, sendo k igual ao número de fatores) com triplicata no ponto central, totalizando 17 experimentos.

Em frascos de 50 mL, soluções contendo corante (10 mL) em diferentes concentrações (10 a 100 mg L⁻¹) foram misturados a diferentes quantidades de biomassa fúngica (50 – 200 mg). Os frascos foram incubados a 25 °C e 150 rpm, e em tempos determinados (30 – 300 min) foram retirados e seus conteúdos centrifugados (3000 rpm/15 min). Os níveis de variação codificados e reais de tempo (X_1), concentração de corante (X_2) e quantidade de biomassa (X_3) estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Planejamento fatorial 2^3 utilizado para o tratamento do corante reativo BG 2G

Variáveis	Níveis reais e codificados				
	- 1,68	- 1	0	+ 1	+ 1,68
X_1 , Tempo (min)	30	85	165	245	300
X_2 , Concentração corante (mg L ⁻¹)	10	28	55	82	100
X_3 , Biomassa (mg)	50	80	125	170	200

Fonte: Autoria própria (2021).

As porcentagens de descoloração foram determinadas espectroscopicamente, utilizando a Equação 2:

$$\% \text{ Descoloração} = \frac{A_{\text{inicial}} - A_{\text{final}}}{A_{\text{inicial}}} \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

Sendo,

A_{inicial} : absorvância inicial, antes da adsorção.

A_{final} : absorvância final, após adsorção.

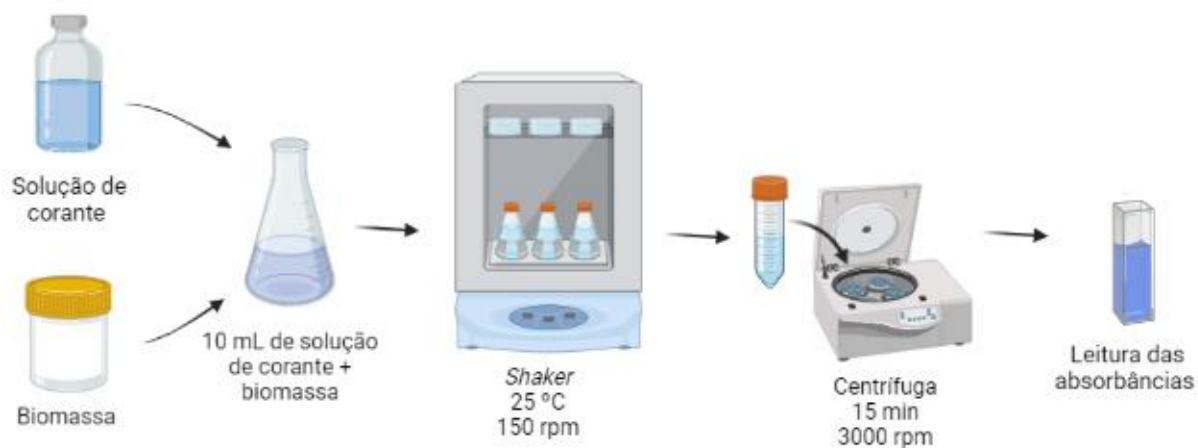
Os resultados experimentais dos planejamentos fatoriais desenvolvidos foram ajustados em uma equação polinomial (Equação 3), pela técnica de regressão múltipla, onde Y é a resposta preditiva de descoloração da solução contendo corante e é uma variável dependente, x_i e x_j são variáveis independentes codificadas e β_0 , β_i , β_{ii} , β_{ij} são coeficientes constantes (BARROS NETO; SCARMINIO, BRUNS, 2010).

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=j}^k \beta_{ii} x_i x_j + \sum_{i<j} \beta_{ij} x_i x_j \quad \text{Equação 3}$$

As equações polinomiais quadráticas (Equação 4 e 5) correlacionam os parâmetros estudados. Os coeficientes de regressão (R^2) foram utilizados para expressar a qualidade do ajuste dos modelos e a significância estatística foi determinada pelo teste-F.

Análises de variância (ANOVA) e de regressão múltipla foram realizadas ao nível de 10 % de significância, utilizando o programa STATISTICA *Version 8.0*[®]. A Figura 4 apresenta o esquema da aplicação da biomassa no tratamento da solução sintética do corante reativo azul BG 2G para o planejamento fatorial 2^3 com triplicata no ponto central.

Figura 4 - Esquema da aplicação da biomassa no tratamento da solução sintética de corante



Fonte: Autoria própria (2021).

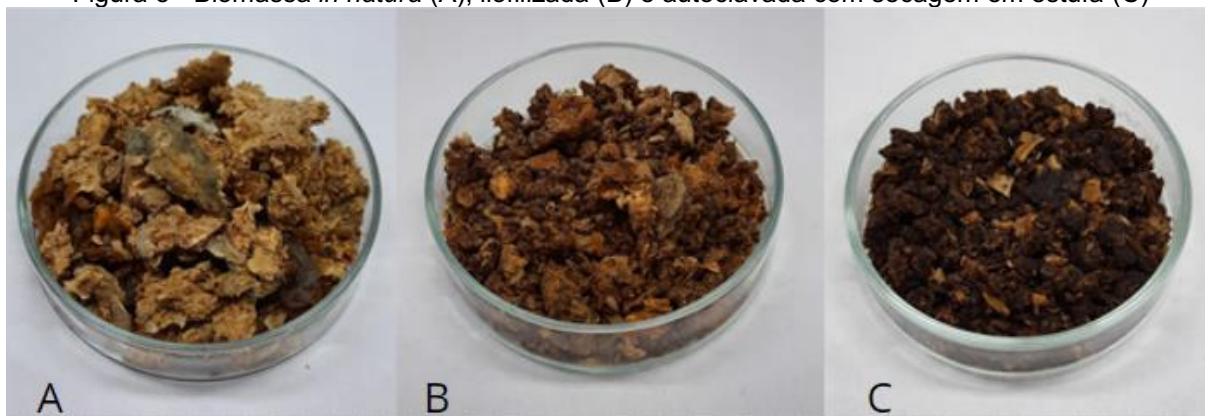
Após a determinação da melhor concentração do adsorbato, do melhor tempo e temperatura, testes envolvendo o controle de pH (2 – 10) foram efetuados.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Bioissorvente *B. ribis* EC-01

A biomassa fúngica proveniente do processo de fermentação para obtenção da enzima lipase, a partir do fungo *B. ribis* EC-01, resíduo de torta de soja e água, pode ser observada na Figura 5 *in natura* (A), bem como após o processo de liofilização (B) ou autoclavada e seca em estufa (C).

Figura 5 - Biomassa *in natura* (A), liofilizada (B) e autoclavada com secagem em estufa (C)



Fonte: Autoria própria (2021).

A necessidade de um tratamento da biomassa *in natura* antes de aplicá-la como bioissorvente na solução sintética do corante reativo, é realizada para a remoção total ou parcial da umidade do material possibilitando uma maior eficiência de adsorção.

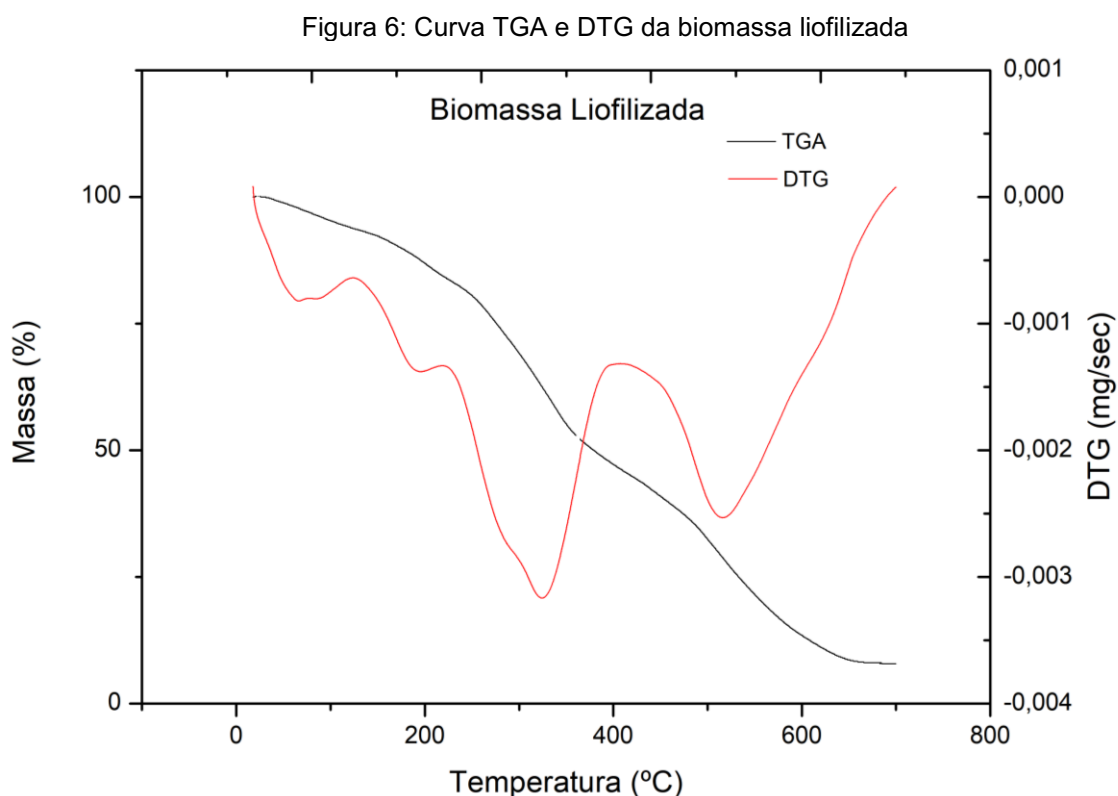
6.1.1. Caracterização da Biomassa

A técnica analítica TGA acompanha a variação de massa de uma determinada amostra em função do tempo ou de uma temperatura programada. Quando aplicada a derivada primeira da TGA, tem-se a DTG, com esses dados é possível verificar a temperatura de degradação da amostra, assim como outros eventos importantes do material (DENARI; CAVALHEIRO, 2012).

A termogravimetria (TGA) e a análise termogravimétrica derivada (DTG) são estudadas de acordo com as curvas resultantes da degradação térmica do material

durante a pirólise que fornecem uma correlação entre a perda de massa do material e a temperatura. A biomassa fúngica residual resultante do processo de obtenção de lipase, é composta principalmente de torta de soja, utilizada como nutriente para o cultivo do micro-organismo e produção enzima, os principais constituintes da biomassa, portanto são a lignina, celulose e hemicelulose e devido suas estruturas químicas é possível observar a degradação térmica de cada composto bem definida (CHEN; KUO, 2010; PADILLA, 2018).

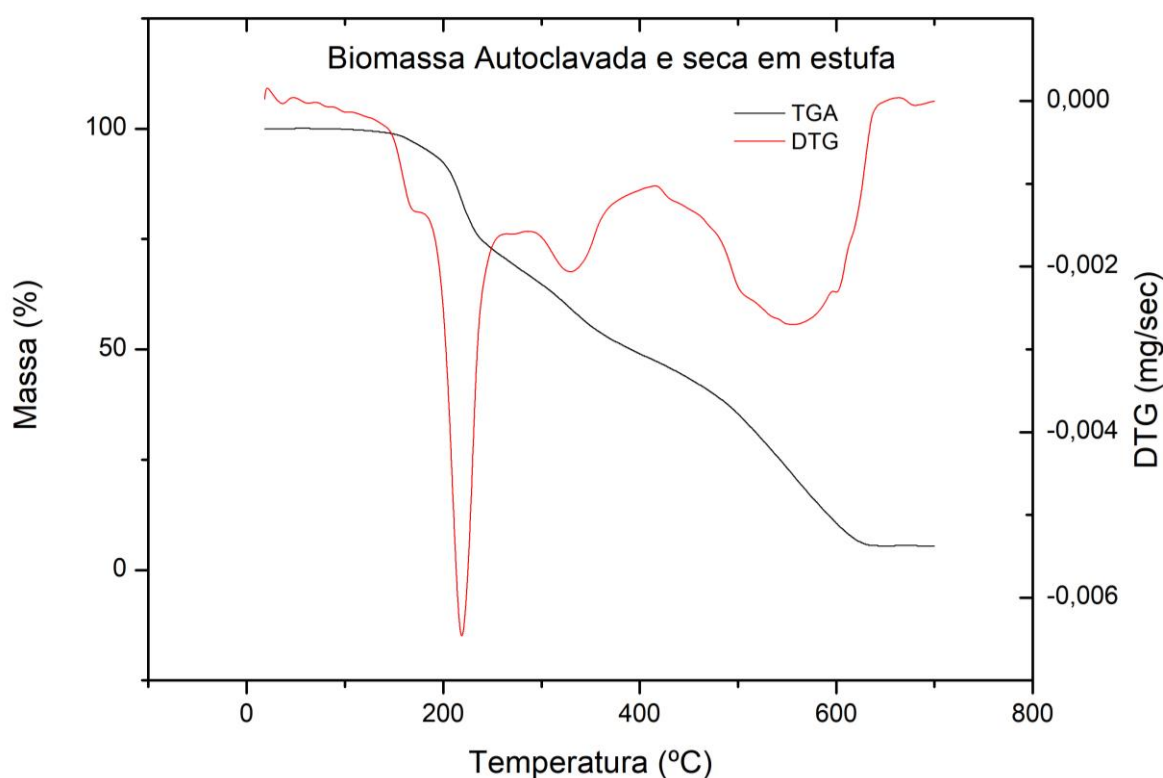
A análise termogravimétrica da biomassa liofilizada, ou seja, da biomassa ativa, pode ser observada na Figura 6 e apresenta uma perda de massa inicial até aproximadamente 100 °C, devido à perda de água do material. Por volta de 200 a 400 °C é possível verificar alguns comportamentos de macrocomponentes, na qual grande perda de massa pode ser observada, sugerindo a decomposição da celulose e hemicelulose presente na biomassa, possivelmente proveniente da torta de soja e da parede celular do fungo. E por fim é possível verificar um terceiro estágio por volta de 450 a 550 °C que pode ser algum traço de lignina e subprodutos presentes na biomassa, seguida de uma degradação completa (DEGERMENCIA *et al.*, 2019). O percentual de cinzas obtido para a biomassa liofilizada foi de 7,9%.



Fonte: Autoria própria (2021).

O resultado termogravimétrico da biomassa autoclavada, ou seja, a biomassa inativa, pode ser observado na Figura 7, é possível perceber uma diferença inicial que condiz com o tratamento aplicado, ao ser comparada com a biomassa liofilizada. O evento de perda de água do material aqui já não é tão acentuado, tendo em vista que depois de autoclavada a biomassa foi seca em estufa durante 24 h e teve mais água retirada do meio do que durante a liofilização. Outro evento para ser observado é o de decomposição da celulose presente na biomassa, que ocorre próximo aos 200 °C. O percentual de cinzas obtido para a biomassa autoclavada foi de 5,4%.

Figura 7 - Curva TGA e DTG da biomassa autoclavada e seca em estufa



Fonte: Autoria própria (2021).

A biomassa autoclavada por ter uma maior perda de massa em menor temperatura e ter seu último evento em uma temperatura mais elevada se comparada a biomassa ativa, exige um maior tempo de processo para uma pirólise completa.

A análise de Fisissorção de nitrogênio para a biomassa liofilizada e autoclavada foram realizadas pelo método BET, método t-plot e BJH e os resultados do ensaio de adsorção/dessorção podem ser verificados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultado das análises de Fisissorção de N₂

Amostra	Superfície específica (m².g⁻¹)	Volume Microporo (cm³.g⁻¹)	Volume Total (cm³.g⁻¹)
Biomassa Liofilizada	1	0	1,37e ⁻³
Biomassa Autoclavada	2	0,0001	2,98e ⁻⁴

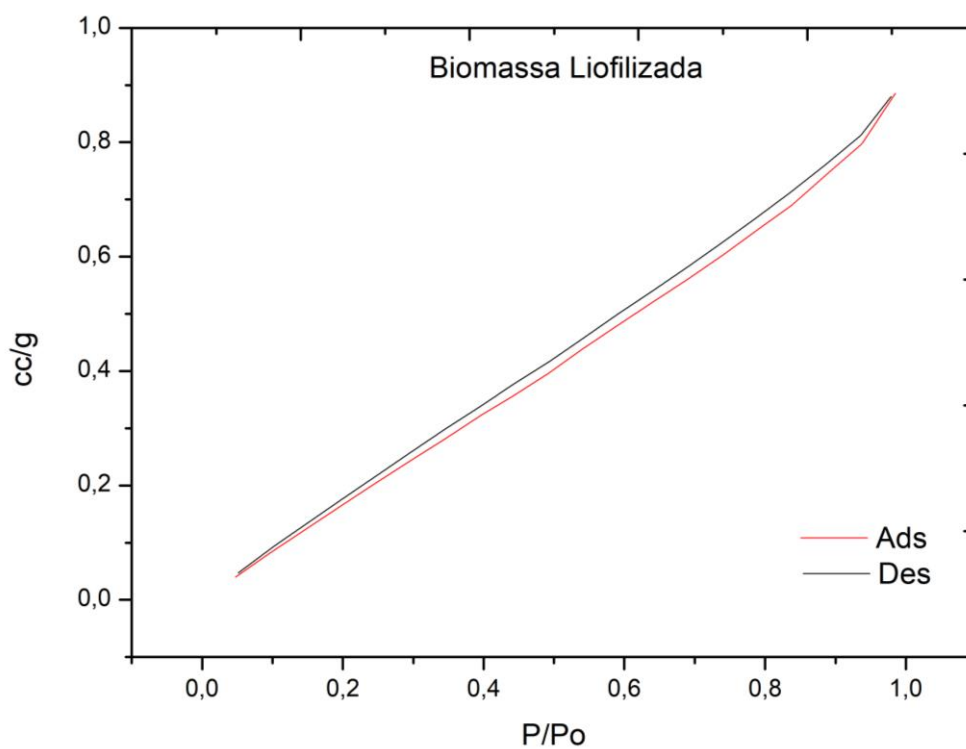
Fonte: Autoria própria (2021).

Rabelo (2018), ao estudar um material lignocelulósico como biossorvente na remoção de espécies metálicas, obteve uma superfície específica inferior a 1 m². g⁻¹, ou seja, menor que o limite de detecção do equipamento, caracterizando o material como não poroso.

Silva (2018), ao realizar um estudo da modificação de resíduo de casca de acácia e seu uso como adsorvente para corantes catiônicos obteve superfície específica de 4,87 m². g⁻¹ e volume de poro 0 cm³.g⁻¹.

Além disso, a análise microporosimétrica também foi utilizada para obter as isotermas de adsorção e dessorção de nitrogênio com variação da pressão relativa (P/P₀) de 0,1 a 0,99 para ambas as biomassas estudadas. A isoterma de adsorção/dessorção da Biomassa Liofilizada pode ser observada na Figura 8.

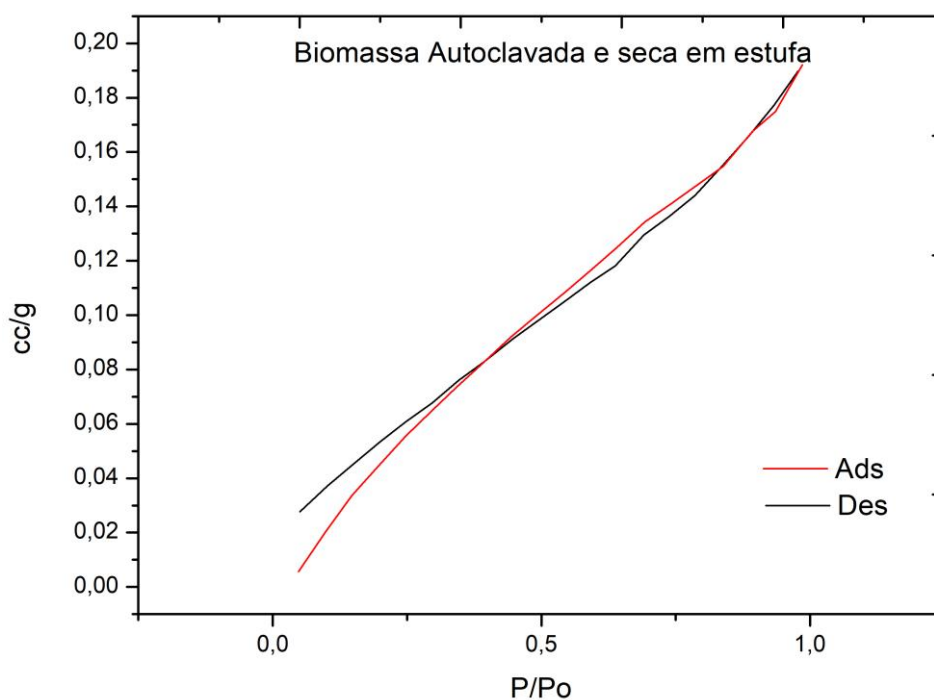
Figura 8 - Isoterma de adsorção/dessorção da Biomassa Liofilizada



Fonte: Autoria própria (2022).

A isoterma de adsorção/dessorção da Biomassa Autoclavada e seca em estufa pode ser observada na Figura 9.

Figura 9 - Isoterma de adsorção/dessorção da Biomassa Autoclavada e seca em estufa

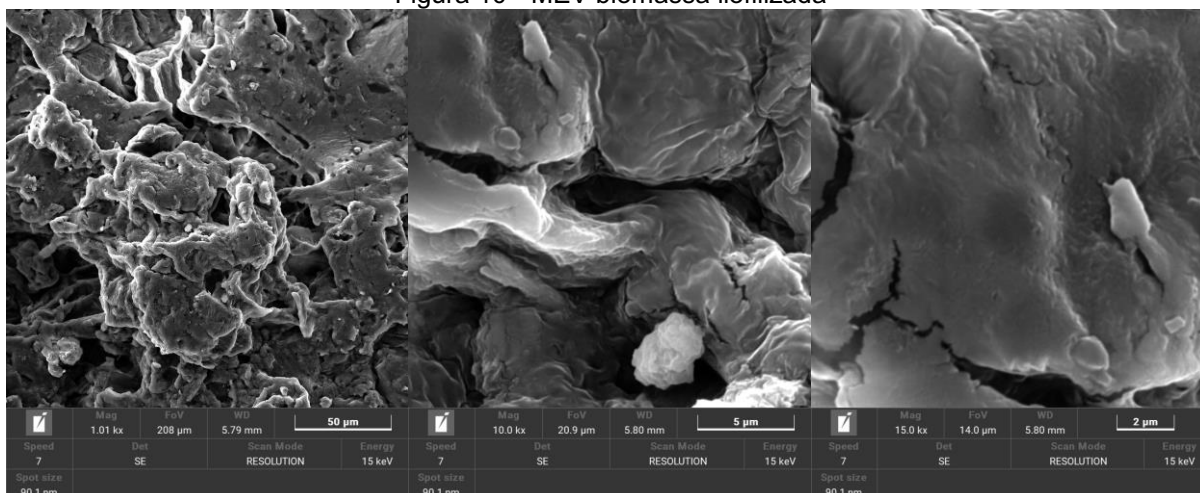


Fonte: Autoria própria (2022).

Tendo em vista o resultado das análises de fisissorção de nitrogênio para ambas as biomassas pode se observar isoterma do tipo III, na qual a principal característica é de ser um material não poroso ou macroporoso, condizendo com a baixa superfície específica obtida, formando-se assim multicamadas de adsorvato, na qual mais de uma camada de moléculas é acomodada no espaço de adsorção, mas nem todas as moléculas adsorvidas estão em contato direto com o adsorvente (THOMMES, 2015).

Os aspectos morfológicos da superfície dos materiais adsorventes podem ser observados por meio da microscopia eletrônica de varredura (MEV). A Figura 10 apresenta as micrografias obtidas para a biomassa liofilizada ampliada em 1 kx, 10 kx e 15 kx.

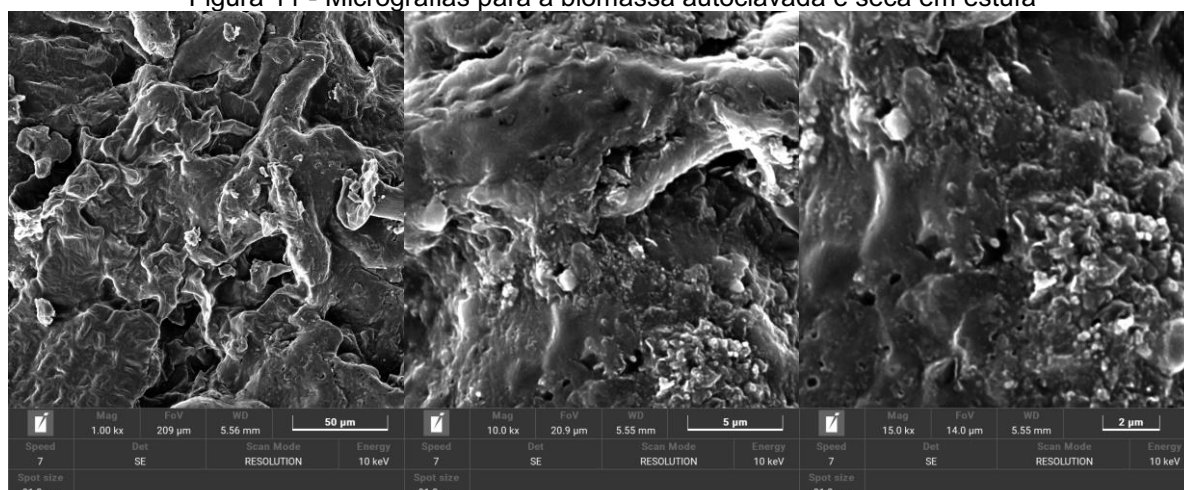
Figura 10 - MEV biomassa liofilizada



Fonte: Autoria própria (2022).

Como pode ser observado, a superfície apresenta-se lisa e com ausência de poros. Aspecto semelhante foi verificado nas micrografias obtidas para a biomassa autoclavada e seca em estufa ampliada em 1 kx, 10 kx e 15 kx (Figura 11).

Figura 11 - Micrografias para a biomassa autoclavada e seca em estufa



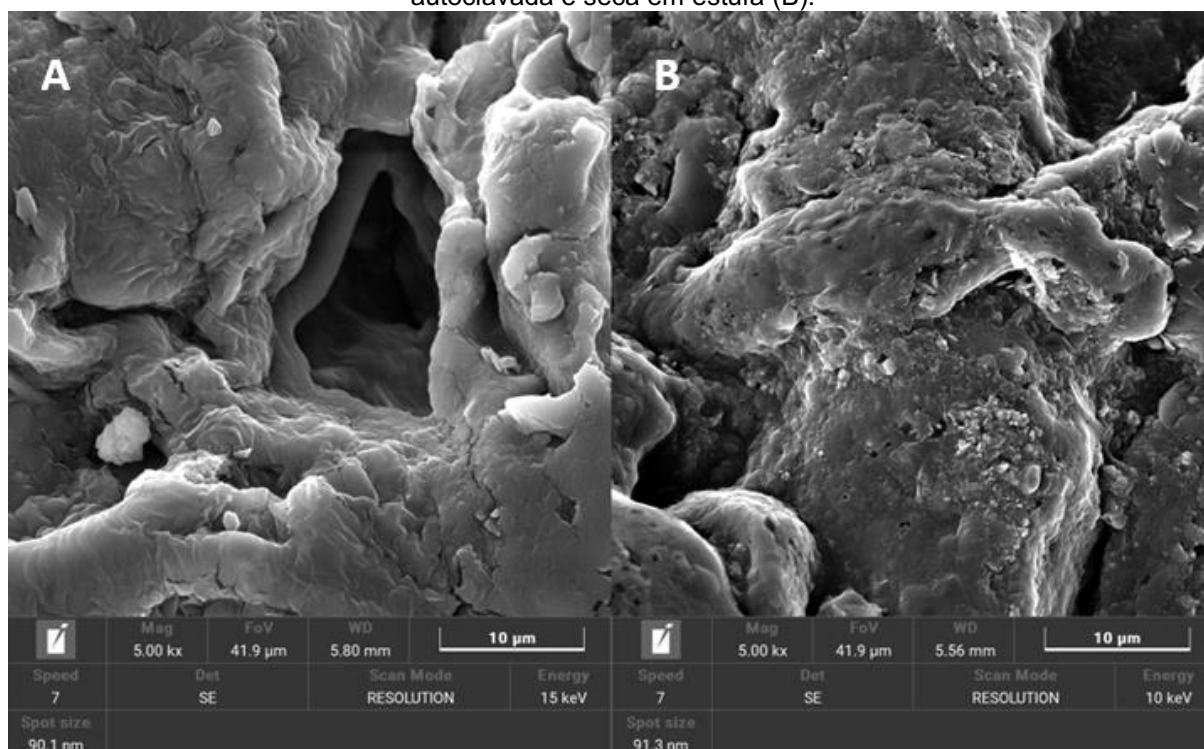
Fonte: Autoria própria (2022).

Na Figura 12, é apresentado as micrografias das biomassas liofilizada (A) e autoclavada e seca em estufa (B) ampliada 5kx. É possível observar que a superfície da biomassa liofilizada (A) possui menos rugosidade. Este fato pode ser devido ao tratamento térmico realizado na biomassa autoclavada (B) que chega a 120 °C, provocando a desnaturação de proteínas e possível degradação dos carboidratos. A biomassa utilizada é rica em carboidratos e proteínas já que é derivada de fermentação utilizando-se torta de soja (ANDRADE *et al.*, 2013). Ainda, pode conter lipases, que são proteínas, que sofrem desnaturação na temperatura utilizada.

Em ambas as análises é possível perceber que não há quantidade significativa de poros, justificando a baixa superfície específica constatada na análise de fisissorção de nitrogênio, no entanto, cavidades grandes permitem a entrada de moléculas de corante na estrutura lignocelulósica e sua interação com a superfície (ZAZYCKI *et. al*; 2018).

A forma de preparo das amostras de biomassa fúngicas para o tratamento de efluente não se mostrou influente no que diz respeito a superfície específica dos materiais, pois seus resultados indicaram um material não-poroso, no entanto, ao analisar os aspectos morfológicos de ambos nos preparos, percebe-se uma superfície mais preservada e lisa para a biomassa liofilizada (Figura 10-A) e para a biomassa autoclavada e seca em estufa uma superfície mais rugosa (Figura 10-B), apresentando as extrações dos componentes não estruturais do material lignocelulósico (KASCHUK, 2019).

Figura 12 – Aspectos morfológicos da superfície da biomassa liofilizada (A) e da biomassa autoclavada e seca em estufa (B).



Fonte: Autoria própria (2022).

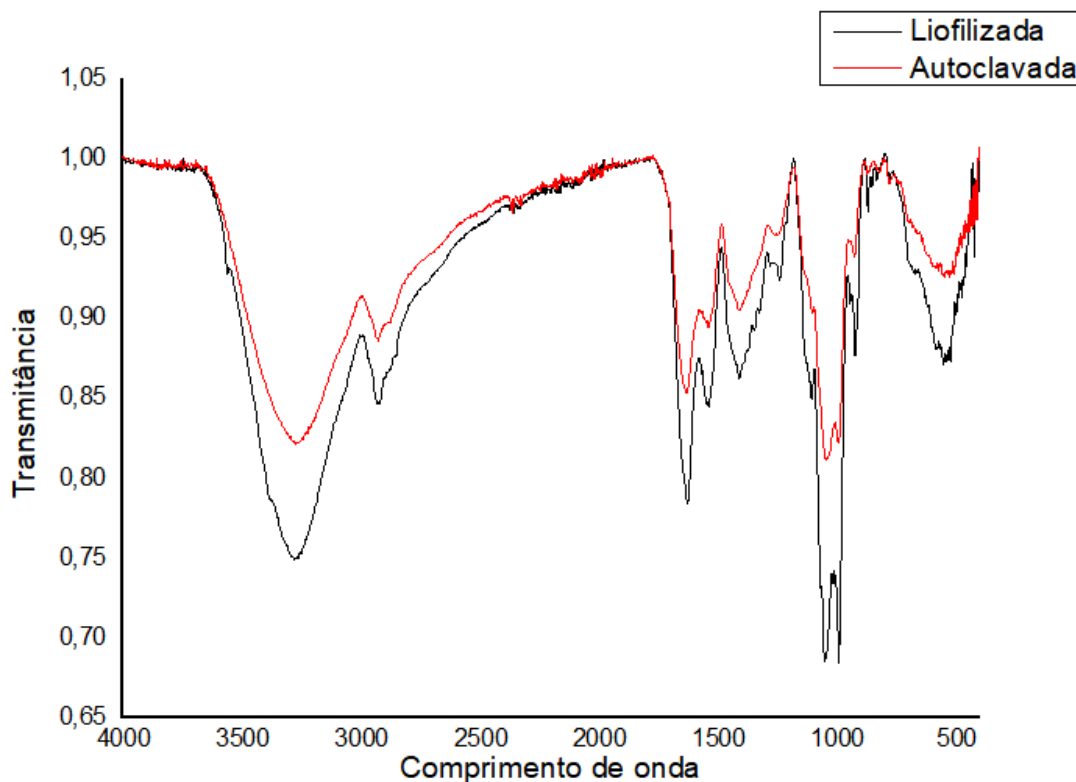
A análise de espectroscopia no infravermelho (FTIR) consiste em uma técnica rápida, não destrutiva e de fácil preparação das amostras, que possibilita a análise de compostos orgânicos por meio da capacidade da amostra absorver, transmitir ou refletir radiação na região do infravermelho. Como cada grupo funcional apresenta uma vibração característica, como se fosse uma “impressão digital” para tal material, apresentando-se em bandas distintas no espectro e em frequências específicas sendo assim possível identifica-las por meio de um espectro de referência. (TAHA; HASSAN; ESSA, 2013)

Para investigar e compreender os grupos funcionais presentes na biomassa liofilizada e autoclavada foi realizado a caracterização por espectroscopia no infravermelho, a fim de obter informações sobre o conteúdo interno da biomassa. O resultado da análise, bem como os valores de comprimento de onda das bandas podem ser observados na Figura 13.

As bandas proeminentes presentes na análise de ambas as biomassas se encontram na mesma posição de comprimento de onda, sendo assim a Tabela 4 apresenta os respectivos e principais grupos funcionais de acordo com a literatura,

bem como sua função química, que são atribuídos a cada uma das bandas resultantes do espectro de FTIR na biomassa liofilizada e na biomassa autoclavada.

Figura 13 - Análise FTIR biomassa liofilizada e autoclavada e seca em estufa



Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 4 - Atribuições das bandas presentes no espectro FTIR para as biomassas de acordo com a literatura

Função Química	Grupo Funcional	Número de Onda (cm ⁻¹)
Fenóis, Álcoois e ácidos carboxílicos	O-H	3000-3600
Alquil, alifático, aromático	(CH _n)	2860-2970
Alcenos/Aromáticos	C=C	1450-1613
Polissacarídeos	C-O	900-1250
Hidrogênio aromático	CH	700-900

Fonte: Adaptado de Yang, *et al.*, (2007).

As análises da biomassa liofilizada e da biomassa autoclavada resultaram em espectros semelhantes. A maior absorção foi observada nos picos 989,96 e 1048,18, pode estar ligada a quantidade de celulose presente no material analisado e diz respeito ao estiramento C-O de polissacarídeos característico de comprimento de onda entre 900-1250.

A banda de comprimento de onda 1624,42 diz respeito a lignina presente na biomassa devido a C=C dos alcenos e aromáticos presentes na estrutura da molécula característico do comprimento de onda entre 1450-1613.

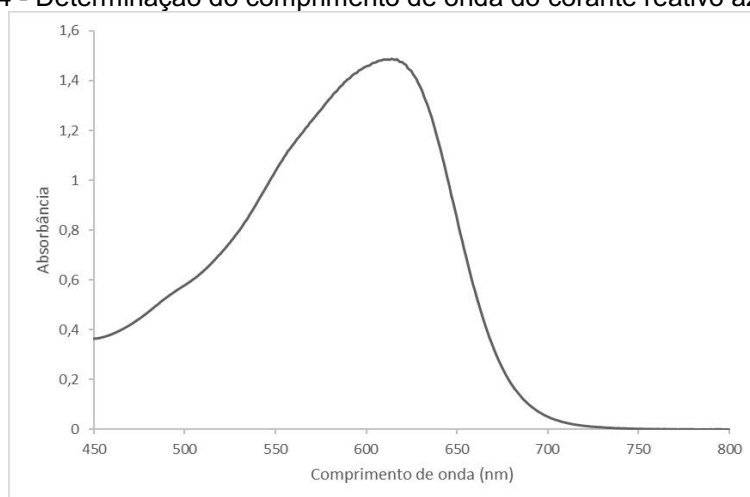
Para a banda 2923,71 tem-se um estiramento simétrico e assimétrico para a ligação C-H enquanto que para a banda 3275,67 tem-se a deformação axial do grupo O-H associados a fenóis, álcoois e ácidos carboxílicos.

A determinação do Ponto de Carga Zero (PCZ) se trata do momento em que as cargas dos sítios positivos e negativos de um material se igualam de acordo com a variação do pH do meio (PINTO *et al.*, 2012). É uma análise de suma importância para a utilização de um material como biossorvente, pois, por meio dessa caracterização é possível prever a carga superficial do adsorvente em função do pH, no qual uma carga superficial positiva seria em decorrência da adsorção de um próton e uma carga superficial negativa se daria pela dissociação dos grupos de hidroxilas da superfície (STADNIK; GIUSTI; BORGES, 2022; RAIJ, 1973). Ao aplicar os resultados obtidos na avaliação do PCZ na Equação 3 obteve-se um pH 5 como ponto isoelétrico da biomassa.

6.1.2. Determinação do comprimento de onda e curva de calibração

O corante reativo azul BG 2G, tem seu comprimento de onda característico visualizado na Figura 14. O comprimento de onda no qual o material apresentou absorbância máxima foi de 614 nm.

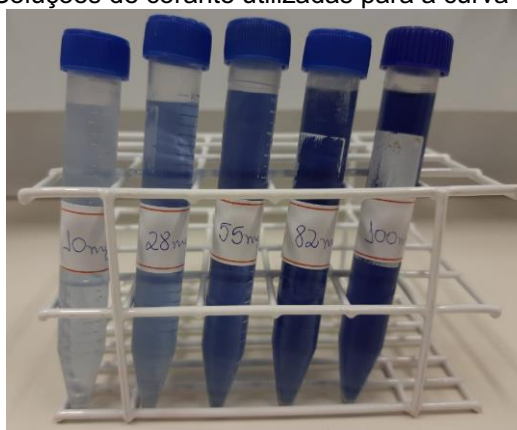
Figura 14 - Determinação do comprimento de onda do corante reativo azul BG 2G



Fonte: Autoria própria (2021).

Após a determinação da absorvância máxima, a Figura 15 apresenta as diferentes concentrações de corante preparadas para leitura em 614 nm para a realização da curva de calibração.

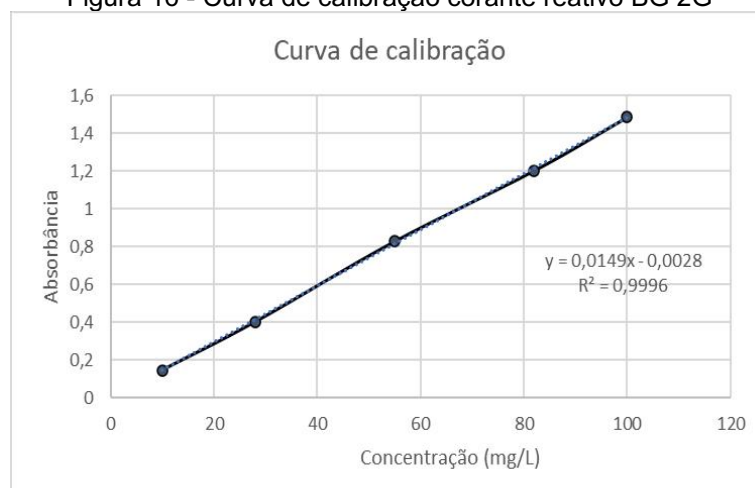
Figura 15 - Soluções de corante utilizadas para a curva de calibração



Fonte: Autoria própria (2021).

A curva de calibração construída para a determinação das concentrações da solução de corante após a realização do planejamento fatorial para o tratamento de corante pode ser observada na Figura 16.

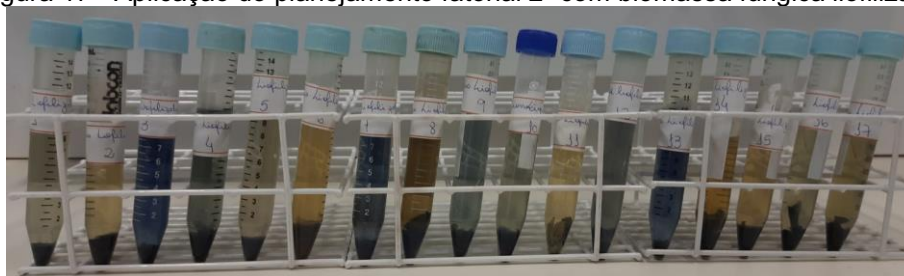
Figura 16 - Curva de calibração corante reativo BG 2G



Fonte: Autoria própria (2021).

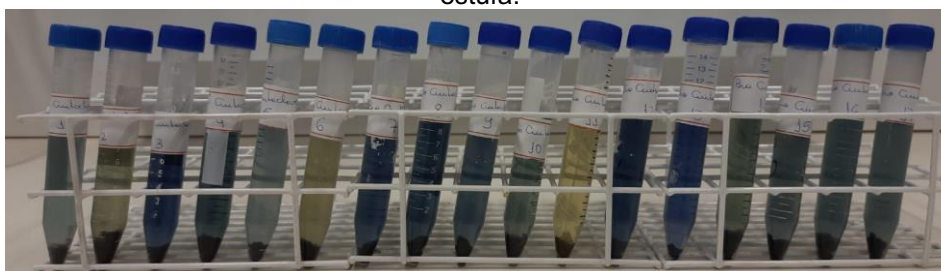
6.1.3. Avaliação dos efeitos concentração de corante, quantidade de biomassa e tempo no processo de adsorção- Planejamento fatorial e superfície de resposta

A Figura 17 apresenta o tratamento da solução sintética do corante com biomassa fúngica liofilizada após o planejamento fatorial 2^3 .

Figura 17 - Aplicação do planejamento fatorial 2^3 com biomassa fúngica liofilizada

Fonte: Autoria própria (2021).

A Figura 18 apresenta o tratamento da solução sintética do corante com biomassa fúngica autoclavada e seca em estufa após o planejamento fatorial.

Figura 18 - Aplicação do planejamento fatorial 2^3 com biomassa fúngica autoclavada e seca em estufa.

Fonte: Autoria própria (2021).

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos nos planejamentos desenvolvidos utilizando a biomassa liofilizada e biomassa autoclavada de *B. ribis* EC-01. A biossorção utilizando a biomassa liofilizada alcançou descoloração de até 80,32 % em 165 minutos com a concentração de corante de 55 mg L⁻¹ e 125 mg de biomassa. Nestas mesmas condições, mas com biomassa de 50 mg foi obtida a menor descoloração (22,45 %) evidenciando no experimento 13.

Tabela 5 - Planejamento fatorial 2³ composto central rotacional para a avaliação da biossorção de corante pela biomassa de *Botryosphaeria ribis* EC-01

Experimento	Variáveis codificadas			Descoloração (%)	
	X ₁	X ₂	X ₃	Liofilizada	Autoclavada
1	-1	-1	-1	60,12	16,21
2	-1	-1	1	74,39	45,76
3	-1	1	-1	35,64	19,17
4	-1	1	1	67,76	38,30
5	1	-1	-1	61,23	26,43
6	1	-1	1	53,17	39,51
7	1	1	-1	49,10	30,77
8	1	1	1	71,75	27,77
9	-1,68	0	0	56,78	22,17
10	1,68	0	0	66,92	44,57
11	0	-1,68	0	69,05	30,26
12	0	1,68	0	73,97	32,17
13	0	0	-1,68	22,45	11,59
14	0	0	1,68	76,87	47,06
15 (C)	0	0	0	80,32	33,49
16 (C)	0	0	0	72,85	29,48
17 (C)	0	0	0	70,67	36,47
Variáveis	Níveis reais e codificados				
	- 1,68	- 1	0	+ 1	+ 1,68
X ₁ , Tempo (min)	30	85	165	245	300
X ₂ , Concentração corante (mg L ⁻¹)	10	28	55	82	100
X ₃ , Biomassa (mg)	50	80	125	170	200

Fonte: Autoria própria (2021).

Esse efeito pode ser verificado na equação preditiva quadrática (Equação 4) para a descoloração das soluções com corante utilizando a biomassa liofilizada que

está descrita abaixo. Nesta equação os termos em negrito são significativos ($p \leq 0,1$).

Descoloração (%)

$$= \mathbf{74,68} + 1,053 X_1 - \mathbf{4,748} X_1^2 - 1,202 X_2 - 1,323 X_2^2 + \mathbf{11,17} X_3 - \mathbf{9,065} X_3^2 + 4,695 X_1 X_2 - 3,974 X_1 X_3 + \mathbf{6,068} X_2 X_3$$

Os termos lineares e quadráticos para a variável biomassa (X_3) foi significativa ($p \leq 0,1$). Já para a variável tempo (X_1) foi significativa ($p \leq 0,1$) somente o termo quadrático, que pode ser observado nos experimentos 9 e 10; o aumento do tempo favoreceu a descoloração. A concentração de corante não teve efeito significativo ($p \leq 0,1$), apenas sua interação com a variável biomassa ($X_2 X_3$).

A análise de variância (ANOVA) para a descoloração de soluções com corante utilizando a biomassa liofilizada, considerando apenas os termos estatisticamente significativos ($p \leq 0,1$), está apresentada na Tabela 6. É possível verificar que o modelo é confiável e estatisticamente significativo ($p \leq 0,1$), exibindo $R^2 = 0,89$ e $F_{cal} > F_{tab}$ para o modelo e $F_{cal} < F_{tab}$ para a falta de ajuste.

Tabela 6 - Análise de variância (ANOVA) para a biossorção de corante utilizando a biomassa de *Botryosphaeria ribis* EC-01 liofilizada.

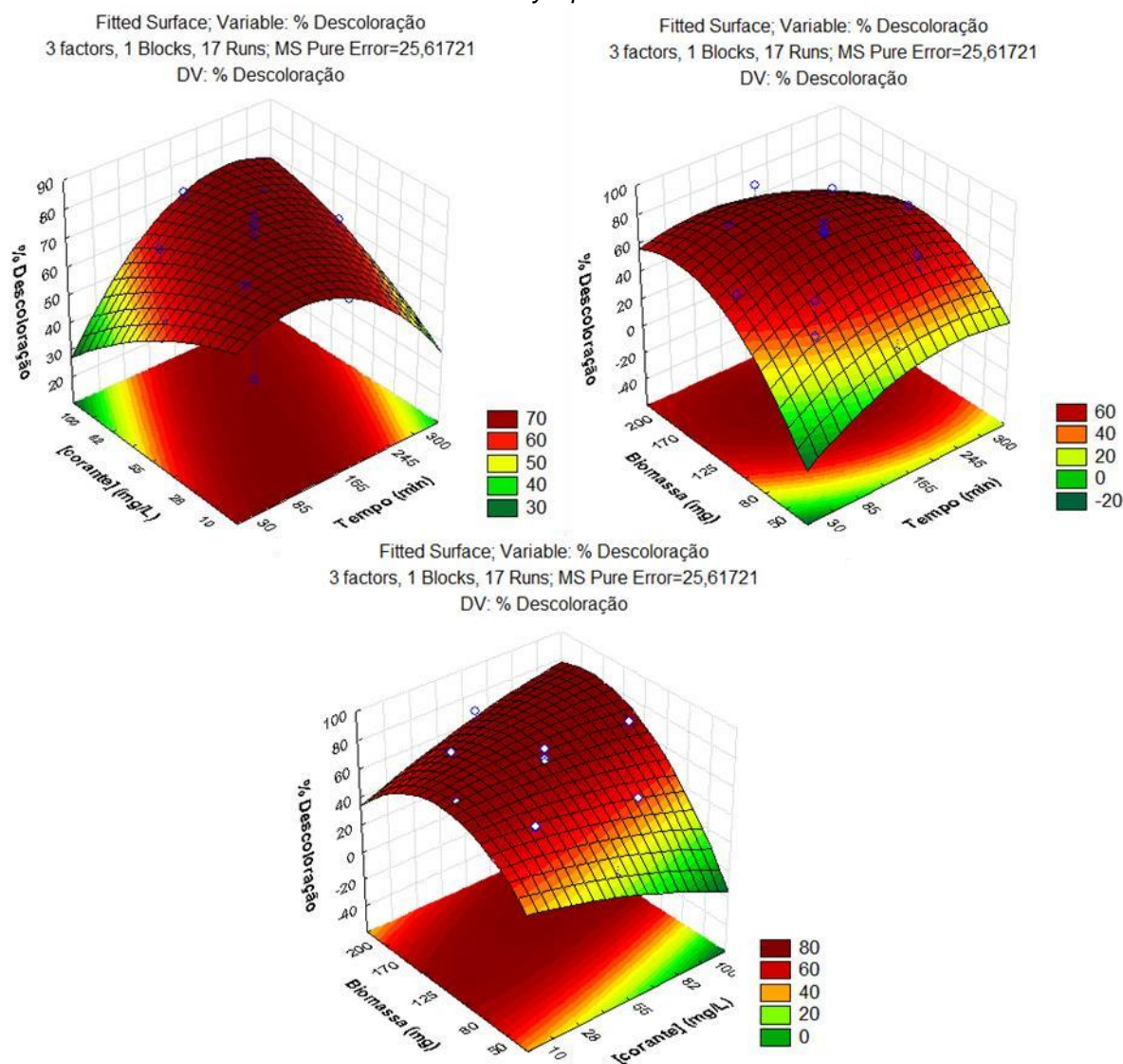
Resposta	Fonte de variação	Soma Quadrados (SS)	Graus de Liberdade (DF)	Média Quadrados (MS)	F teste	
					F_{calc}	F_{list}
Descoloração (%)	Regressão	3354,7	4	838,67	^a 23,74	2,48
	Resíduo	423,91	12	35,326		
	Falta ajuste	372,68	10	37,268	^b 1,45	9,39
	Erro puro	51,234	2	25,617		
	Total	3778,6	16			

$R^2=0,89$; ^a $F_{90\%4,12}$; ^b $F_{90\%10,2}$

Fonte: Autoria própria (2021)

Na Figura 19 é possível verificar as curvas tridimensionais geradas para este modelo mostrando as interações entre as variáveis.

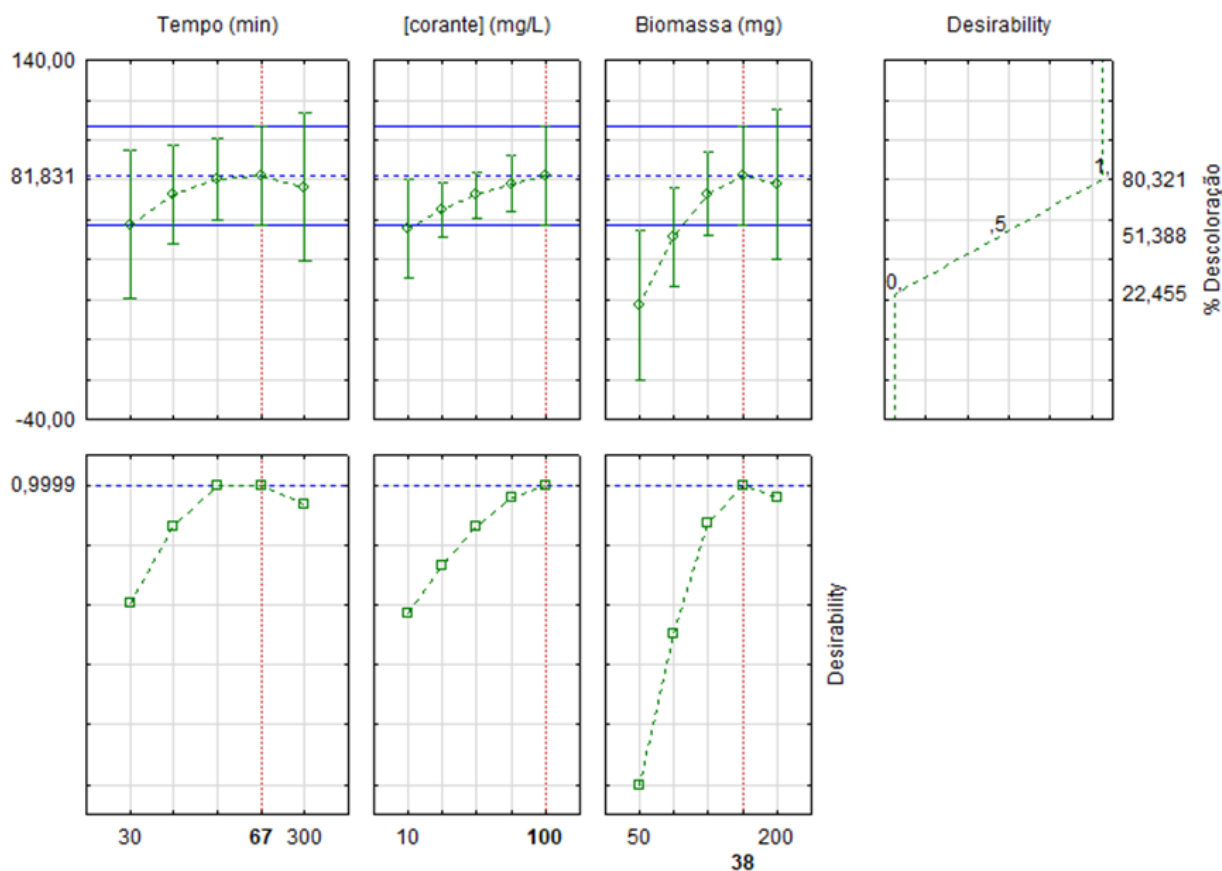
Figura 19 - Superfícies de resposta para a descoloração de soluções com corante pela biomassa liofilizada de *Botryosphaeria ribis* EC-01



Fonte: Autoria própria (2021).

De acordo com o perfil de desejabilidade (Figura 20) a condição ideal apontada para este modelo de 2^a ordem para tempo, concentração de corante e biomassa é de 67 min., 100 mg L⁻¹ e 200 mg, respectivamente. O modelo aponta que nesta condição, a descoloração é de 81,83 % com 0,9999 % de confiança.

Figura 20 - Perfil de desejabilidade para a descoloração de soluções contendo corante utilizando a biomassa liofilizada de *Botryosphaeria ribis* EC-01



Fonte: Autoria própria (2021).

Na Tabela 7 também é possível visualizar os resultados obtidos utilizando a biomassa autoclavada. Os resultados alcançados foram inferiores ao da biomassa liofilizada com máximo de descoloração de 47,06 %, nas condições de 165 min., 55 mg L⁻¹ de corante e 200 mg de biomassa.

A equação preditiva quadrática (Equação 5) para este modelo é mostrada abaixo, onde os termos em negrito são significativos ($p \leq 0,1$). Neste modelo os termos lineares de tempo (X_1) e biomassa (X_3), assim como sua interação (X_1X_3) são significativos ($p \leq 0,1$).

$$\begin{aligned}
 \text{Descoloração (\%)} &= \mathbf{33,19} + \mathbf{3,129} X_1 - 0,07645 X_1^2 - 0,6378 X_2 - 0,8406 X_2^2 + \mathbf{8,674} X_3 \\
 &\quad - 1,509 X_3^2 - 0,3632 X_1X_2 - \mathbf{4,825} X_1X_3 - 3,311 X_2X_3
 \end{aligned}$$

O aumento de biomassa de 50 para 200 mg (experimentos 13 e 14) aumentou quatro vezes a descoloração da solução contendo corante, evidenciando o seu efeito significativo positivo. O efeito significativo ($p \leq 0,1$) positivo do tempo pode ser verificado nos experimentos 9 e 10, onde a descoloração passou de 22,17 para 44,57 % aumentando-se o tempo de 30 para 300 min.

A análise de variância (ANOVA) para a descoloração de soluções com corante utilizando a biomassa autoclavada, considerando apenas os termos estatisticamente significativos ($p \leq 0,1$), é apresentada na Tabela 7. Também é possível verificar que este modelo é confiável e estatisticamente significativo ($p \leq 0,1$), exibindo $R^2 = 0,88$ e $F_{calc} > F_{tab}$ para o modelo e $F_{calc} < F_{tab}$ para a falta de ajuste.

Tabela 7 - Análise de variância (ANOVA) para a biossorção de corante utilizando a biomassa de *Botryosphaeria ribis* EC-01 autoclavada.

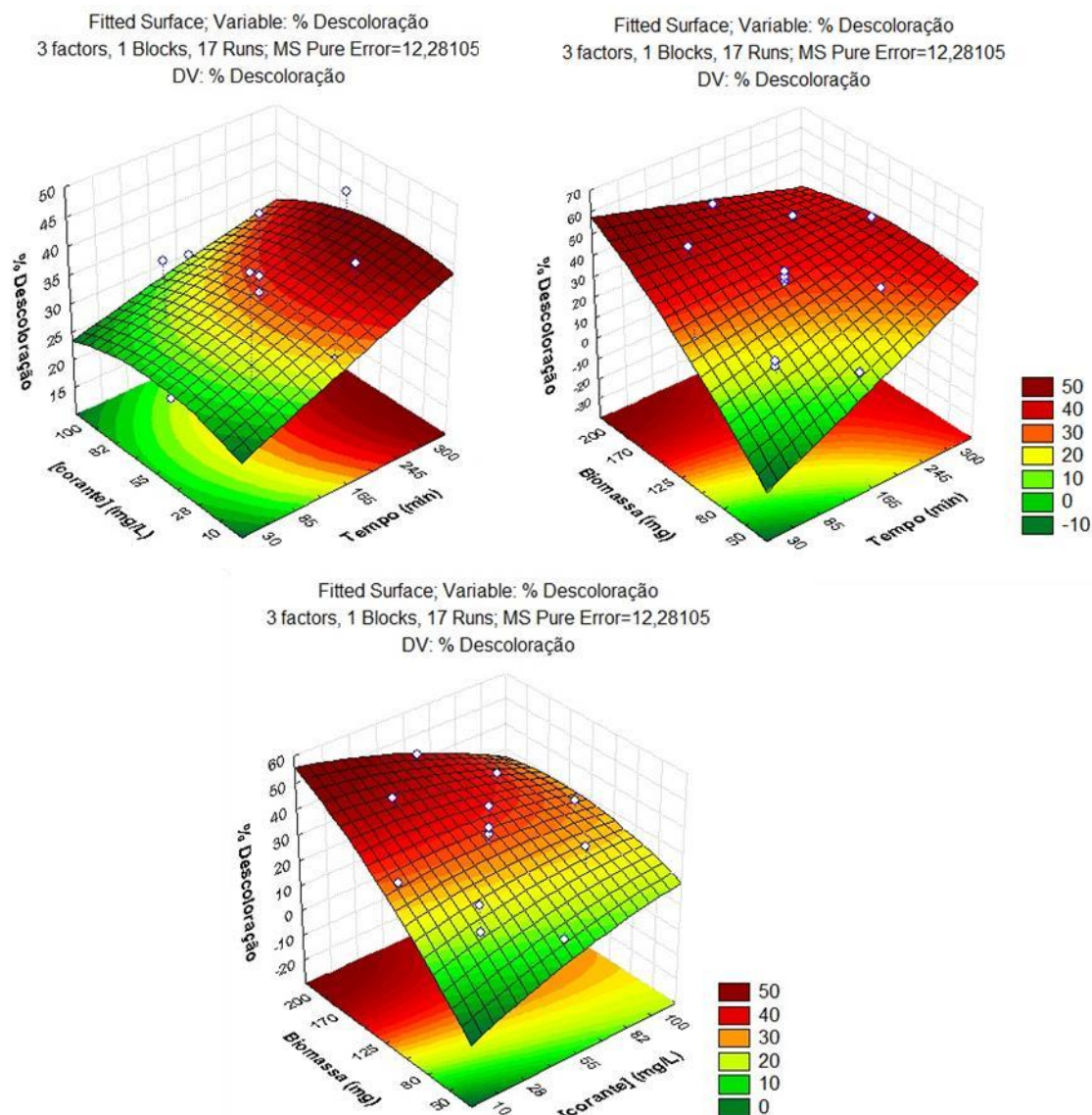
Resposta	Fonte de variação	Soma Quadrados (SS)	Graus de Liberdade (DF)	Média Quadrados (MS)	F teste	
					F_{calc}	F_{list}
Descoloração (%)	Regressão	1471,3	3	490,43	^a 32,08	2,56
	Resíduo	198,75	13	15,288		
	Falta ajuste	174,19	11	15,835	^b 1,289	9,40
	Erro puro	24,562	2	12,281		
	Total	1670,05	16			

$R^2=0,88$; ^a $F_{90\%3,13}$; ^b $F_{90\%11,2}$

Fonte: Autoria própria (2021).

Na Figura 21 estão apresentadas as curvas tridimensionais geradas para o modelo mostrando as interações entre as variáveis na descoloração utilizando a biomassa autoclavada.

Figura 21 - Superfícies de resposta para a descoloração de soluções com corante pela biomassa autoclavada de *Botryosphaeria ribis* EC-01



Fonte: Autoria própria (2021)

O perfil de desejabilidade (Figura 20) para a descoloração de corante com a biomassa autoclavada apontou a condição ideal de tempo, concentração de corante e biomassa em é de 67 minutos, 55 mg L⁻¹ e 200 mg, respectivamente, com descoloração de 47,63 % com 0,9999 % de confiança.

Cruz Filho *et al.*, (2016) ao utilizar um biossorvente com um misto de fungos, para o tratamento de solução de corante em planejamento fatorial 2⁵, no qual as variáveis eram agitação (150, 200 e 250 rpm), temperatura (30, 40 e 50 °C), pH (2,0, 3,5 e 5,0), concentração de corante (25, 55 e 85 mg L⁻¹) e quantidade de biomassa

o (0,5, 1,5 e 2,5 g), obteve o melhor resultado de remoção em 96,08 % em 150 rpm, 50°C, pH 2,0, 0,5 g de biomassa e 25 mg L⁻¹. Outro trabalho como de Kyzas *et al.*, (2012), ao estudar a remoção de corantes reativos a partir de resíduo industrial de café também obteve capacidade máxima de adsorção a 25 °C, com agitação de 150 rpm.

A condição ótima de bioadsorção apontada pelo modelo utilizando as biomassas liofilizada e autoclavada foram avaliadas no tratamento de soluções de corante e efluente têxtil. Os resultados obtidos estão na Tabela 8.

Tabela 8 - Bioadsorção de soluções contendo corante e efluente nas condições ótimas apontadas pelo modelo

	Amostras	% descoloração
Solução corante	Biomassa liofilizada	77,0 ± 1,05
	Biomassa autoclavada	54,4 ± 0,97
Efluente	Biomassa liofilizada	33,3 ± 4,8
	Biomassa autoclavada	35,2 ± 5,82

Fonte: Autoria própria (2022).

Para a biomassa liofilizada a condição ótima apontada pelo modelo para tempo, concentração da solução de corante e quantidade biomassa foi de 67 minutos, 100 mg L⁻¹ e 200 mg, respectivamente. Já para a biomassa autoclavada a condição ótima apontada para estes parâmetros foram 67 minutos, 55 mg L⁻¹ e 200 mg, respectivamente.

Pode-se observar que no tratamento de soluções contendo corante como a biomassa liofilizada descoloração de 77,0 ± 1,05 % foi obtido e descoloração de 54,38 ± 0,97 % com a biomassa autoclavada. Esses resultados estão de acordo com aqueles apontados pelos modelos que indicaram 81,83 % e 47,63 %, respectivamente, nestas condições. Após tratamento de soluções contendo efluente descoloração de 33,3 ± 4,82 e 35,2 ± 5,82 foram obtidas utilizando-se as biomassas liofilizada e autoclavada, respectivamente.

Estas mesmas condições ótimas foram avaliadas variando-se temperatura e pH do meio no tratamento de soluções contendo corante. Os resultados estão apresentados na Tabela 9.

Nos testes de variação de temperatura considerou-se as temperaturas de 15°C e 35°C, mas nenhuma delas apresentou aumento de descoloração

comparando-se às condições avaliadas anteriormente. Para a biomassa liofilizada máximo de descoloração foi encontrado a 15 °C ($65,0 \pm 1,71$), entretanto, valor inferior ao encontrado sem variação de temperatura ($77,0 \pm 1,05$). A temperatura também parece não influenciar na descoloração utilizando biomassa autoclavada. Valores próximos de 51 % foram obtidos que estão próximos daquele encontrado sem variação de temperatura ($54,4 \pm 0,97$). Tal comportamento pode ser explicado, pelo fato de que a temperatura ao ser elevada dificulta a formação do complexo de adsorção acarretando um decréscimo na quantidade adsorvida, como pode ser observado no trabalho de SCHIMMEL (2008) ao analisar Adsorção dos Corantes Reativos Azul 5G e Azul Turquesa QG em Carvão Ativado Comercial. O aumento da temperatura pode ter influenciado no processo de adsorção do corante-biossorvente devido as moléculas de corante terem tendência a formar agregados com a elevação de temperatura (COATES, 1969).

Tabela 9 – Variação de temperatura e pH para as condições ótimas do modelo no tratamento de soluções contendo corante

	Temperatura (°C)	% descoloração	pH	% descoloração
Biomassa liofilizada	15	$65,0 \pm 1,71$	3	$46,4 \pm 0,22$
	35	$56,1 \pm 0,48$	9	$40,0 \pm 0,40$
Biomassa autoclavada	15	$51,0 \pm 6,12$	3	$38,4 \pm 3,74$
	35	$50,9 \pm 4,07$	9	$30,3 \pm 2,20$

Fonte: Autoria própria (2022).

A escolha dos valores de pH estudados foi baseada nos resultados da análise do pH_{PCZ} das biomassas que resultou no valor de pH 5 quando aplicado a Equação 1. Então, os valores pH 3 e 9 foram escolhidos para ajuste de pH da solução contendo corante. Observa-se que o pH afeta diretamente no processo de biossorção, entretanto, diminuindo a descoloração da solução. Pode-se observar que a solução com pH acima do ponto isoelétrico foi um fator negativo para o tratamento da solução de corante, devido a repulsão entre as moléculas do adsorvente e do adsorvato, o que diminuiu a eficiência do processo. A superfície da biomassa ao apresentar superfície com carga predominante negativa, na adsorção de compostos aniônicos (solução de corante reativo) tende a ser favorecida em meio ácido.

7. CONCLUSÃO

No intuito de viabilizar o uso de resíduos industriais provenientes de processo de fermentação no tratamento de efluente, biomassa fúngica liofilizada e autoclavada foram estudadas no presente trabalho no tratamento de soluções contendo corante.

Planejamentos fatoriais 2^3 com triplicata no ponto central foram realizados no tratamento de soluções contendo corante, onde as variáveis analisadas foram tempo (min), concentração de corante (mg L^{-1}) e quantidade de biomassa (mg). No uso de biomassa liofilizada, a condição ótima foi obtida em 67 minutos, 100 mg L^{-1} de corante e 200 mg de biomassa, alcançando-se $77,0 \pm 1,05 \%$ de descoloração, sendo o valor predito pelo modelo de 81,83 %. Já utilizando a biomassa autoclavada, a condição ótima foi obtida em 67 minutos, 55 mg L^{-1} de corante e 200 mg de biomassa, onde foi possível descolorir $54,4 \pm 0,97 \%$ da solução, sendo o valor apontado pelo modelo de 47,63 %.

Com o auxílio das caracterizações das biomassas liofilizada e autoclavada, sugere-se que a descoloração das soluções contendo corante ocorreu por ligações químicas entre a molécula do corante e a superfície do material bioissorvente, tendo em vista que a análise de fisissorção de nitrogênio e MEV mostraram ausência de poros nestes materiais. Em relação às análises de FTIR, os dois materiais apresentaram espectros semelhantes, característico de material lignocelulósico.

As condições ótimas apontadas pelo modelo foram avaliadas variando-se temperatura e pH do meio no tratamento de soluções contendo corante. A variação de temperatura não contribuiu para aumentar a descoloração de soluções contendo corante utilizando a biomassa liofilizada, já no caso da biomassa autoclavada, resultados semelhantes foram obtidos se comparados àqueles sem variação de temperatura. Ao variar-se o pH observa-se que o pH afeta diretamente no processo de bioissorção, entretanto, diminuindo a descoloração da solução para as duas biomassas estudadas.

REFERÊNCIAS

- ACEVEDO-DÍAZ, J. A.; GARCÍA-CARMONA, A. Uso de la historia de la ciencia para comprender aspectos de la naturaleza de la ciencia. Fundamentación de una propuesta basada en la controversia Pasteur versus Liebig sobre la fermentación. **Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad**, v. 11, n. 33, p. 203-226, 2016.
- AKSU, Z.; TEZER, S. *Biosorption of reactive dyes on the green alga Chlorella vulgaris*. **Process Biochemistry**, [S.L.], v. 40, n. 3-4, p. 1347-1361, mar. 2005.
- ALMEIDA, É. J. R. DE; DILARRI, G.; CORSO, C. R. A indústria têxtil no Brasil: Uma revisão dos seus impactos ambientais e possíveis tratamentos para os seus efluentes. **Departamento de Bioquímica e Microbiologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP)**, p. 1–18, 2017.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E 1131-08**: Standard Test Method for Compositional Analysis by Thermogravimetry. Pennsylvania: ASTM international, p. 5, 2008.
- ANDRADE, M. M.; BARBOSA, A. M.; BOFINGER, M. R.; DEKKER, R. F. H.; MESSIAS, J. M. GUEDES, C. L. B.; ZAMINELLI, T.; OLIVEIRA, B. H.; LIMA, V. M. G. L.; DALL' ANTONIA, L. H. Lipase Production by *Botryosphaeria ribis* EC-01 on Soybean and Castorbean Meals: Optimization, Immobilization, and Application for Biodiesel Production. **Applied Biochemistry and Biotechnology**. v. 170, p. 1792–1806, jun. 2013.
- BABU, B. R; PARANDE, A. K.; RAGHU, S.; KUMAR, T. P. Cotton Textile Processing: Waste Generation and Effluent Treatment. **The Journal of Cotton Science** v. 11, n. 3, p. 141-153, 2007.
- BARROS NETO, B. de; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos**: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria. 4ª Ed. Bookman, p. 414, 2010.
- BELTRAME, T. C. **Caracterização de Efluente Têxtil e Proposta de Tratamento**. 161 p. 2000. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2000.
- BOEHM, H. P. *Some aspects of the surface chemistry of carbon blacks and other carbons*. **Carbon**, [S.L.], v. 32, n. 5, p. 759-769, 1994.
- BORGES, J. G.; COSTA, L. A. de S.; DRUZIAN, J. I. Produção e caracterização de biomassa extracelular obtida por fermentação submersa usando *Lasidiopodia theobromae* isolado do cacau. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, [S.L.], v. 24, n. 1, p. 52-57, 2014.
- BRITO, M. J. P. Imobilização de lipase em carvão ativado produzido a partir do caroço de cajá. **Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB**, p. 69, 2016.
- BRUNAUER, S.; EMMETT, P.; TELLER, J. Adsorption of gases in multimolecular

layers. **Journal American Chemical Society**, 60, p .309-319, 1938.

BUENO, Y. C. Biomassa do fungo filamentosso Lasiodiplodia theobromae : composição química e utilização como nutriente para bioprocesso. **Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro**, p. 58, 2016.

BURATTO, A. P.; COSTA, R. D.; FERREIRA, E. DA S. Aplicação de biomassa fúngica de *Pleurotus ostreatus* em processo de biossorção de íons cobre (II). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, n. 4, p. 413–420, 2012.

CARVALHO, K. A., MORAIS, C. J. O., SILVA, M. L. P., MOTA, A. L. N., GOMES, K. K. P. Estudo da remoção de corantes reativos pelo processo de adsorção usando argila Chocobofoe in Natura. In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2015, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: Blucher, 2015. p. 6964-6971.

CAVALCANTE, V. R. **Produção de carvão ativado a partir de resíduos de coco, bana e laranja**. 2015. 64 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2015.

CHAVES, K. O.; MONTEIRO, C. R. L.; MUNIZ, C. R.; GOMES, R. B.; BUARQUE, H. L. de B. Adsorção de índigo carmim em biomassas mortas de *Aspergillus niger*. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 13, n. 4, p. 351-355, dez. 2008.

CHEN, W. H.; KUO, P. C. A study on torrefaction of various biomass materials and its impact on lignocellulosic structure simulated by a thermogravimetry. **Energy**, v. 35, n. 6, p. 2580-2586. Jun. 2010.

CIOLA, R. Fundamentos da catálise. **Editora Moderna**, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1981.

CRUZ FILHO, I. J. da; FERREIRA, H. K. L.; SILVA, S. K. G. da; MACHADO, S. E. F.; ZAIDAN, L. E. M. C.; LIMA, V. F. de; MARQUES, O. M.; NASCIMENTO JUNIOR, A. J. do. Otimização do processo de remoção do corante preto de remazol B por uso de biomassa mista de *Aspergillus niger* van Tieghem, 1867 (Ascomycota: Trichocomaceae) e *Pennisetum purpureum* Schumach., 1827 (Poales: Poaceae). **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, [S.L.], v. 3, n. 6, p. 375-384, 2016. Revista Brasileira de Gestao Ambiental e Sustentabilidade.

CUNHA, A. L. X.; PEREIRA NETO, L. M.; ARRUDA, V. C. M.; SILVA, V. P. S.; CUNHA FILHO, M.; TAVARES, R. G. Tratamento físico-químicos de efluente têxtil utilizando sulfato de alumínio, carvão ativado e Moringa Oleífera (*Moringa moringa*(L.)). **Revista GEAMA –Ciências Ambientais e Biotecnologia**, v.5, n. 3, p 47-55, dez 2019.

DEGERMENCI, G. D.; DEGERMENCI, N.; AYVAOGLU, V.; DURMAZ, E.; ÇAKDR, D.; AKAN, E. *Adsorption of reactive dyes on lignocellulosic waste; characterization, equilibrium, kinetic and thermodynamic studies*. **Journal of Cleaner Production**, [S.L.], v. 225, p. 1220-1229, jul. 2019.

DEMIRAL, H.; DEMIRAL, I.; KARABACAKOGLU, B.; TÛMSEK, F. *Production of activated carbon from olive bagasse by physical activation*. **Chemical Engineering Research and Design**, [S.L.], v. 89, n. 2, p. 206-213, fev. 2011.

DENG, H.; ZHANG, G.; XU, X.; TAO, G.; DAI, J. *Optimization of preparation of activated carbon from cotton stalk by microwave assisted phosphoric acid-chemical activation. Journal of Hazardous Materials*, [S.L.], v. 182, n. 1-3, p. 217-224, out. 2010.

DURAES, S. C. Corantes reativos para fibras celulósicas. **Instituto Superior de Engenharia do Porto**. Dissertação de mestrado, p. 122, 2020.

FERREIRA, G. L. da R. **Biossorção de crômio hexavalente por biomassa fúngica e bacteriana**. 2016. 82 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

FORGIARINI, E. **Degradação de Corantes e Efluentes Têxteis Pela Enzima Horseradish Peroxidase (HRP)**. 121 p. 2006. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

GOEDERT, B. S. C. Biossorção do corante têxtil reativo azul 5G comparando resíduos industriais casca de soja e serragem. 92 p. 2017. **Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná**, Medianeira, 2017.

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

HAUPENTHAL, L. D. **Avaliação do potencial de biossorção do Íon Metálico Cr (Vi) Utilizando Biomassa Do Fungo *Lasiodiplodia theobromae* MMPI como adsorvente**. 95 p. 2018. Dissertação (Mestrado) - Universidade tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018.

KASCHUK, J. J. **Biomassa lignocelulósica como fonte de açúcares fermentescíveis e de materiais: sacarificação de fibras de sisal e preparação de membranas para aplicação em células solares a partir de derivado de celulose**. 210 p. 2019. Tese (Doutorado) - Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

KHALED, A.; EL-NEMR, A.; EL-SIKAILY, A.; ABDELWAHAB, O. *Treatment of artificial textile dye effluent containing Direct Yellow 12 by orange peel carbon. Desalination*, v. 238, p. 210-232, 2009.

KYZAS, G. Z.; LAZARIDIS, N. K.; MITROPOULOS, A. C. *Removal of dyes from aqueous solutions with untreated coffee residues as potential low-cost adsorbents: equilibrium, reuse and thermodynamic approach. Chemical Engineering Journal*, [S.L.], v. 189-190, p. 148-159, maio 2012. Elsevier BV.

KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P.; MORAES, S. G. de; DURÁN, N. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova**, [S.L.], v. 25, n. 1, p. 78-82, fev. 2002.

LEITE, P. P. M.; PACCOLA, E. A. S.; SILVA, C. N.; BERGAMASCO, R.; YAMAGUCHI, N. U. Biossorção de metais pesados de soluções aquosas utilizando massa fúngica. **X Encontro Internacional de Produção Científica**, p. 2-6, 2017.

LIMA, J. S. DA S.; AMADOR, D. J. A.; MORAIS, M. M. Monitoramento de impactos ambientais em lavanderias de beneficiamento têxtil no polo de confecções do agreste. **Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e**

Sustentabilidade, v. 5, p. 1223–1232, 2017.

MELLO, A. C. C. DE. **Estudo da aplicação da enzima tirosinase imobilizada em carvão ativado granular para remoção de fenol de efluentes.**, 2017. 93 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2017.

MENDES, C. R.; 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. **Matéria: Rio de Janeiro**, v. 20, n. 4, p. 898-908, 2015.

MEZZARI, I. A. **Utilização de carvões adsorventes para o tratamento de efluentes contendo pesticidas.** 2002. 117 p. Dissertação de Mestrado (Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Química Departamento De Engenharia Química E Alimentos) - Universidade Federal De Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MOREIRA, C.; FURLONG, E. B. Caracterização de compostos nitrogenados presentes em farelos fermentados em estado sólido. **Ciênc. Tecnol. Aliment**, v. 27, n. 4, p. 805–811, 2007.

MOREIRA, S. A. **Adsorção de íons metálicos de efluente aquoso usando bagaço do pedúnculo de caju: estudo de batelada e coluna de leito fixo.** 2008. 151 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

MUNARETTO, C. B. Imobilização da inulinase de *Kluyveromyces marxianus* NRRL y-7571 em carvão ativado e alginato de sódio. 82 p. 2011. **Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Regional do Alto Uruguai e das Missões**, Erechim, 2011.

NAIME, J. M., MATTOSO, L. H. C., SILVA, W. T. L., CRUVINEL, P. E., NETO, L. M., CRESTANA, S., **Conceitos e Aplicações da Instrumentação para o Avanço da Agricultura.** 1ª Ed. p. 1-412. Brasília: Embrapa, 2014.

NOBRE, J. R. C.; CASTRO J. P.; BIANCHI, M. L.; BORGES, W. M. S.; TRUGILHO, P. F.; MOULIN, J. C.; NAPOLI, A. Caracterização do carvão ativado produzido a partir de serragens de maçaranduba. **Scientia Forestalis**, v. 43, p. 693–702, 2015.

PADILLA, E. R. D. **Aproveitamento de resíduos agroindustriais: caracterização físico-química e produção de carvão para energia.** 2018. 72 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2018.

PALLU, A. P. de S. **Biossorção de cádmio por linhagens de *Aspergillus sp.*** 70 p. 2006. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

PEREZ, V.; PAULO, G. Recursos Microbiológicos para Biotecnologia. p. 28, 2001.

PIZATO, E.; LOPES, A. C.; ROCHA, R. D. C.; BARBOSA, A. de M.; CUNHA, M. A. A. da. Caracterização de efluente têxtil e avaliação da capacidade de remoção de cor utilizando o fungo *Lasiodiplodia theobromae* MMPI. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 22, n. 5, p. 1027-1035, out. 2017.

PINTO, R. L. S.; SILVA, K. C. S.; CARDOSO, D. N. P.; MACÊDO, E. N.; FELIPE, A.

M. P. F., Determinação do ponto de carga zero da bauxita da região nordeste do Pará. **Cerâmica**. [S. L.], v. 58, p 465-467, 2012.

RABELO, J. **Estudo da macrófita *Typha sp* como material adsorvente na remoção das espécies metálicas Cd(II), Cu(II), Cr(III) e Zn(II) em meio aquoso**. 2018. 105 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Química, Araraquara, 2018.

RAIJ, B. V. Determinação do Ponto de Carga Zero em solos. **Bragantia – Revista Científica do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo**, Campinas, v. 32, n 18, p. 337-347, dez 1973.

REGALBUTO, J. R.; ROBLES, J. The engineering of Pt/Carbon Catalyst Preparation. University of Illinois: Chicago, 2004.

RESENDE, L. P. Reúso na indústria têxtil e lavanderias. **Hydro**. p. 14-19. [S.L.], 2012.

RIBEIRO, B. D.; PEREIRA. K. S.; NASCIMENTO, R. P do.; COELHO, M. A. Z. **Microbiologia Industrial: Alimentos**. v. 2, p. 470. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

RIGON, M. R. **Biossorção de cromo VI por *Saccharomyces cerevisiae***. Universidade de Passo Fundo, Trabalho de Conclusão de Curso, p. 45, 2013.

RUTHVEN, D. M. **Principles of adsorption and adsorption process**. Editora John Wiley & Sons, New York, 1984.

SALVATIERRA. C. M. **Microbiologia - Aspectos morfológicos, bioquímicos e metodológicos**. São Paulo: Érica, 2014.

SANTOS, K. da C. G.; NEVES, A. G. D.; CRUZ, N. V. S.; PEQUENO, A. F. F.; SILVA, R. L. A.; NASCIMENTO, T. P.; NASCIMENTO, D. C. S.; COSTA, R. M. P. B.; SILVA, M. V.; PORTO, A. L. F. Descoloração de efluente de uma lavanderia de beneficiamento têxtil localizada em Toritama/PE por fungo filamentosos. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 3338-3350, 2020.

SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial). Beneficiamento: Volume III. **Centro de Tecnologia da Indústria Têxtil**. Brasília: SENAI/DN, 2016.

SILVA, J. S. **Estudo da modificação de resíduo de Casca de Acácia e o uso como adsorvente para corantes catiônicos**. 2018. 95 p. Dissertação (Mestrado em Química Tecnológica e Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande. Rio Grande, 2018.

SILVA FILHO, J. A. da; SANTOS, J. P. de O.; SOARES, F. J. S.; FERNANDES, J. N. V.; SILVA, J. L. C. da; FERREIRA, J. de A. M. Aplicação da pegada ecológica como indicador de sustentabilidade para análise da geração de resíduos sólidos urbanos. **Acta Biológica Catarinense**, Joinville, v. 6, n. 3, p.5-13, jul. 2019.

SILVA, K. M. L. da; WANDERLEY, C. R. P.; MARINHO, G.; OLIVEIRA, J. C. de; SANTOS, A. D. O. dos; RODRIGUES, K. Influência do excesso de nitrogênio amoniacal no tratamento de efluente têxtil em reator de bateladas sequenciais com *Aspergillus niger AN 400*. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 20, n. 4, p. 635-643, dez. 2015.

SCHIMMEL, D. **Adsorção dos Corantes Reativos Azul 5G e Azul Turquesa QG em Carvão Ativado Comercial**. 2008, 99 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Centro de Engenharias e Ciências Exatas - Universidade Estadual do Oeste do Paraná Unioeste, Paraná, 2008.

SOBRINHO, O. P. L.; SILVA, L. F. B.; PEREIRA, A. I. S.; CANTANHEDE, E. K. P.; CARLOS, M. A. S.; SILVA, J. R.; SIQUEIRA, L. F. S. Uma proposta de aula experimental utilizando mesocarpo de babaçu (*Orbignya speciosa*) na remoção do azul demetileno de soluções aquosas. **Educación Química**. [S. L.]. v. 26, n 4, p. 314-318, 2015.

STAVROPOULOS, G. G.; ZABANIOTOU, A. A. *Production and characterization of activated carbons from olive-seed waste residue*. **Microporous and Mesoporous Materials**, [S.L.], v. 82, n. 1-2, p. 79-85, jul. 2005.

STADNIK, J.; GIUSTI, E. D.; BORGES, A. R. Investigação do ponto de carga zero da biomassa de laranja para posterior utilização como biossorvente de metais. **Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia**, Diamantina, p. 1-4, ago. 2022.

TAHA, M.; HASSAN, M.; ESSA, S.; Use of Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) spectroscopy for rapid and accurate identification of Yeasts isolated from human and animals. **International Journal of Veterinary Science and Medicine**, Cairo, v. 1, p. 15-20, mar. 2013.

THOMMES, M.; KANEKO, K.; NEIMARK, A. V.; OLIVIER, J. P.; RODRIGUEZ-REINOSO, F. ROUQUEROL, J.; SING, K. **Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (iupac technical report)**, de gruyter pure and applied chemistry., jul. 2015.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L., Microbiologia. 12ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

WARD, O. P. Biotecnologia de la Fermentacion: principios, procesos y productos. In: Acribia ed. Zaragoza: [s.n.]. p. 274.

YANG, H.; YAN, R.; CHEN, H.; LEE, D. H.; ZHENG, C. **Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis**. Science Direct, Cingapura, Fuel, n. 86, p.1781-1788, nov. 2007.

ZANONI, M. V. B.; YAMANAKA, H. **Corantes: Caracterização química, toxicológica, métodos de detecção e tratamento**. Cultura Ac ed. São Paulo: [s.n.], 2016.

ZAZYCKI, M. A.; GODINHO, M.; PERONDI, D.; FOLLETO, E. L.; COLLAZZO, G. C.; DOTTO, G. D. **New biochar from pecan nutshells as an alternative adsorbent for removing reactive red 141 from aqueous solutions**. Journal of Cleaner Production, n. 171, p. 57-65, out. 2018.

