



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

GIOVANNA GOVEIA SILVA

ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO EM ZEÓLITA COMERCIAL

**PALMAS
2025**

GIOVANNA GOVEIA SILVA

ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO EM ZEÓLITA COMERCIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal do Tocantins – Campus Palmas, como exigência à obtenção do grau em Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Dr. Marcelo Mendes Pedroza

**PALMAS
2025**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins**

S586a

Silva, Giovanna Goveia.
Adsorção de azul de metileno em zeólita comercial / Giovanna
Goveia Silva, Palmas, TO, 2025.
37 f. : il.

Orientador: Dr. Marcelo Mendes Pedroza.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins - IFTO, Palmas, TO, 2025.

1. Corante têxtil. 2. Adsorvente. 3. Delineamento de Faces
Centradas. I. Pedroza, Marcelo Mendes. II. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

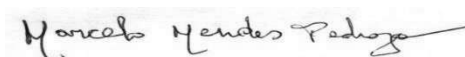
GIOVANNA GOVEIA SILVA

ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO EM ZEÓLITA COMERCIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal do Tocantins – Campus Palmas, como exigência à obtenção do grau em Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 06 / 02 / 2025.

BANCA AVALIADORA



Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza (IFTO)
Orientador



Prof. Dra. Elaine da Cunha Silva Paz (IFTO)



Me. Evanuzia Miranda da Silva (IFTO)

À minha família: minha filha Bianca, minha mãe Valdirene e padrasto Marcos, meu pai José Elias (in memoriam), meu esposo Hugo, meus irmãos André Fillipe, Matheus Henrique e minha avó Maria (in memoriam).

RESUMO

As indústrias têxteis são conhecidas por gerarem grandes volumes de efluentes caracterizados pela alta concentração de corantes naturais e sintéticos, registrando um consumo médio de água estimado em cerca de 300 litros por quilo de tecido, a depender do processo de fabricação, insumos empregados e o tipo de produto fabricado. Os processos de tingimento geram águas residuárias em que os efluentes são compostos por alta concentração de corantes, metais pesados, sólidos totais, e diversos outros poluentes não biodegradáveis. A preocupação com a escassez de recursos naturais, principalmente hídricos, incentiva estudos que proporcionem a amortização dos danos ambientais inevitáveis, a fim de garantir o uso sustentável e a preservação do meio ambiente. O objetivo deste trabalho foi realizar a adsorção do corante orgânico catiônico azul de metileno por meio de peneira molecular zeolítica, e estimar o modelo estatístico que representa a remoção do corante na zeólita comercial através do processo de adsorção. Aplicou-se o planejamento experimental do tipo Delineamento de Faces Centradas (DFC) para verificação dos efeitos de três variáveis independentes (massa de adsorvente, tempo de adsorção e concentração do corante) no teste de adsorção. O experimento apresentou o desempenho da zeólita comercial no processo de adsorção do teste com o corante azul de metileno, onde verificou-se que a razão máxima de adsorção de 3 mg/g foi alcançada em baixa quantidade de massa de adsorvente (1g) e alta concentração de corante (100 mg/L), cujo tempo de adsorção não influenciou significativamente nos resultados. Os valores de eficiência de remoção mantiveram-se todos acima de 99%.

Palavras-chave: Corante têxtil. Adsorvente. Planejamento experimental. Delineamento de Faces Centradas.

ABSTRACT

Textile industries are known for generating large volumes of effluents characterized by a high concentration of natural and synthetic dyes, recording an average water consumption estimated at around 300 liters per kilo of fabric, depending on the manufacturing process, inputs used and the type of manufactured product. Dyeing processes generate wastewater in which the effluents are composed of a high concentration of dyes, heavy metals, total solids, and several other non-biodegradable pollutants. Concern about the scarcity of natural resources, especially water, encourages studies that provide the amortization of inevitable environmental damage, in order to guarantee sustainable use and preservation of the environment. The objective of this work was to carry out the adsorption of the cationic organic dye methylene blue using a zeolitic molecular sieve, and to estimate the statistical model that represents the removal of the dye in commercial zeolite through the adsorption process. The Face Centered Design (DFC) experimental design was applied to verify the effects of three independent variables (adsorbent mass, adsorption time and dye concentration) in the adsorption test. The experiment presented the performance of zeolite in the adsorption process of the test with the methylene blue dye, where it was verified that the maximum adsorption ratio of 3 mg/g was achieved in a low amount of adsorbent mass (1 g) and high dye concentration (100 mg/L), whose adsorption time did not significantly influence the results. The removal efficiency values all remained above 99%.

Keywords: Textile dye. Adsorbent. Experimental planning. Delineation of Centered Faces.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores e Níveis empregados.	26
Tabela 2 - Ordem dos experimentos no DFC no Planejamento Experimental	27
Tabela 3 - Resultado do teste de adsorção sob efeito das três variáveis independentes (massa de adsorvente, tempo de adsorção e concentração da solução do corante).	28
Tabela 4 - Coeficientes de regressão do Planejamento DFC para definição da razão máxima de adsorção da zeólita comercial.	30
Tabela 5 - ANOVA para Razão de adsorção das amostras de zeólita comercial na adsorção de azul de metileno.....	32

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas do processamento dos tecidos e a geração de efluentes têxteis....	15
Figura 2 - Estrutura molecular do corante azul de metileno	18
Figura 3 - Desenho esquemático das atividades desenvolvidas durante essa pesquisa	22
Figura 4 - Balança analítica e proveta de 100 mL	24
Figura 5 - Mesa de agitação Shaker TE 141	25
Figura 6 - Espectrofotômetro.....	26
Figura 7 - Gráfico de Pareto da Capacidade Máxima de Adsorção da Zeólita.....	31
Figura 8 - Valores obtidos x Valores pressupostos para Razão de Adsorção.....	32
Figura 9 - Gráfico de superfície de resposta para a razão de adsorção (massa de adsorvente x tempo de adsorção).....	33
Figura 10 - Gráfico de superfície gerado para razão máxima de adsorção (massa x concentração).....	34
Figura 11 - Gráfico de superfície de resposta para razão de adsorção com utilização da zeólita (tempo x concentração).	34

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Parâmetros de qualidade da água	12
Quadro 2 - Relação entre Demanda Bioquímica de Oxigênio/ Demanda Química de Oxigênio	14
Quadro 3 - Características dos corantes pela estrutura do cromóforo	17
Quadro 4 - Classificação pelo método de aplicação na fibra.	18

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS, ACRÔNIMOS, SIGLAS E SIMBOLOS

Å	Angström
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Al	Alumínio
AM	Azul de Metileno
ANOVA	Análise de variância
Art	Artigo
B	Boro
Co	Cobalto
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CF	Carbono Fixo
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DFC	Delineamento de Faces Centradas
DQO	Demanda Química de Oxigênio
Fcal	F calculado
Fe	Ferro
Ftab	F tabelado
G	Grama
Ge	Germânio
Kg	Quilograma
L	Litro
M ³	Metro cúbico
Mg	Miligrama
ML	Mililitro
Nm	Nanômetro
P	Fósforo
PH	Potencial Hidrogeniônico
Q	Razão de adsorção
RPM	Rotações por Minuto
Si	Silício
Tons	Toneladas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Problema de Pesquisa	11
1.2	Justificativa	11
1.3	Objetivos	11
1.3.1	Objetivo Geral	12
1.3.2	Objetivos Específicos	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1	Características das Águas Residuárias	12
2.1.1	Efluentes têxteis	14
2.2	Corantes Têxteis	16
2.2.1	Corantes Azo	16
2.2.2	Azul de Metileno	17
2.3	Adsorção	19
2.4	Zeólitas	19
2.5	Experimentos com Zeólitas	20
3	MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1	Caracterização da Zeólita Comercial	22
3.1.1	Umidade	22
3.1.2	Material Volátil	23
3.1.3	Teor de Cinzas	23
3.1.4	Teor de Carbono Fixo – CF	23
3.1.5	Densidade Aparente	24
3.2	Ensaio de Adsorção	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1 INTRODUÇÃO

A revolução industrial foi responsável por grandes transformações tecnológicas, econômicas, sociais e ambientais. Teve início no século XVIII na Inglaterra, e ao passar dos séculos a produção industrial tornou-se indispensável, devido ao expressivo aumento populacional concentrado nas zonas urbanas, desencadeando o desenvolvimento das cidades e indústrias, para atender à crescente demanda das diversas cadeias produtivas. Tornou-se mais acessível o custo de produção das mercadorias, entretanto ocasionou mudanças na vida rural e inúmeros impactos ambientais.

Mundialmente, o segmento de maior destaque é a indústria têxtil. Constitui uma infraestrutura produtiva de larga escala, devido a necessidade da sociedade por vestuários, itens hospitalares, militar, entre outros. Este setor atua em dimensões sociais, culturais, econômicas e política, influenciando no mercado externo e interno (LOPES; JORENTE, 2015).

As indústrias do segmento têxtil são reconhecidas por utilizar uma grande quantidade de água em seu processo produtivo, gerando efluentes caracterizados pela alta concentração de corantes naturais e sintéticos, podendo conter metais pesados, sólidos totais, além de elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (ALMEIDA et al., 2016).

Tomaz (2000) estima que em uma indústria têxtil, para o processo de alvejamento são necessários entre 275 a 365 litros de água por quilo de tecido. No processo de tingimento ou tinturaria de tecidos, a média de consumo é de 35 a 70 litros de água/kg de tecido.

O uso sustentável dos recursos naturais do planeta é uma pauta importante debatida há anos pelas conferências internacionais do meio ambiente. A Resolução CONAMA nº 430/2011, estabelece critérios para o lançamento dos efluentes nos corpos hídricos, de modo que as características e qualidade dos mesmos não sejam alteradas, preservando o equilíbrio dos ecossistemas.

A preocupação com a escassez dos recursos naturais incentiva estudos e práticas que amortizem os danos ambientais. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi utilizar as propriedades adsorptivas das zeólitas e avaliar sua eficácia como adsorvente de corante químico, oriundo de efluentes têxteis, através do processo de adsorção.

1.1 Problema de Pesquisa

A sustentabilidade hídrica dispõe sobre a importância do uso responsável dos recursos hídricos e a mitigação do processo de degradação ambiental causado, em grande parte, pelas indústrias. Desta forma, torna-se necessário adotar alternativas que possibilitem o tratamento dos efluentes industriais visando a destinação correta, visto que a água é um recurso natural limitado, indispensável para a sobrevivência dos seres vivos. Nesse contexto, foi avaliada a eficiência da zeólita comercial no tratamento de efluentes produzidos pela indústria do segmento têxtil.

1.2 Justificativa

A busca por alternativas viáveis para os processos de tratamento diante de grandes volumes de efluentes produzidos pelas indústrias, com a presença de corantes químicos em sua composição, se dá pelo fato de que os tratamentos convencionais não atendem toda a demanda de lançamentos de poluentes, e conforme a Lei nº 12.305/2010, que dispõe sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos, os tratamentos de efluentes são obrigatórios para os diversos ramos de atividades industriais, cabendo sanções penais caso não seja cumprido.

Devido a característica dos corantes químicos empregados pelas indústrias têxteis, sendo estes compostos altamente tóxicos e de baixa degradabilidade, quando não tratados corretamente, os efluentes gerados podem contaminar e degradar o meio ambiente, causando também prejuízos à saúde humana.

No processo de adsorção são utilizadas técnicas eficazes na remoção efetiva de corantes em efluentes têxteis. As zeólitas comerciais são materiais com grande propriedade adsorptiva devido a sua composição química e estrutura bem definida, sendo classificada como peneira molecular, o que agrega grande valor para este estudo pelo alto desempenho e baixo custo. Nesse contexto, manifesta-se o interesse por pesquisas e novas tecnologias que proporcionem a verificação da eficácia deste material adsorvente, como solução alternativa para a redução de danos ambientais.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Realizar estudo da adsorção do corante azul de metileno sintético em zeólita comercial utilizando a metodologia de superfície de resposta.

1.3.2 Objetivos Específicos

- I. Caracterizar a zeólita comercial;
- II. Realizar o processo de adsorção do corante azul de metileno em solução aquosa utilizando zeólita;
- III. Definir a remoção do corante sintético no processo;
- IV. Estimar o modelo estatístico que representa a remoção do corante na zeólita comercial através do processo de adsorção.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Características das Águas Residuárias

Diversos fatores contribuem para o comprometimento da qualidade da água, por fenômenos naturais ou atividades antrópicas:

Os processos naturais, assim como as atividades humanas, podem causar alterações nas características físicas, químicas e biológicas da água, com consequências adversas para a saúde humana e os ecossistemas. Dentre os principais contribuintes para o comprometimento da qualidade da água pode-se destacar os efluentes (domésticos, rurais, industriais), despejados diretamente nos corpos hídricos, e os deflúvios superficiais de origem urbana e agrícola. (MUNIZ et al., 2013, p. 2)

Os componentes presentes na água, responsáveis pela alteração do seu grau de pureza, são representados pelas características físicas, químicas e biológicas, que por sua vez, são traduzidas em parâmetros de qualidade da água (Quadro 1) (SPERLING, 1996).

Quadro 1 - Parâmetros de qualidade da água

PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA	
Características	Parâmetros
Parâmetros físicos	- Cor

	- Turbidez - Sabor e odor - Temperatura
Parâmetros químicos	- pH - Alcalinidade - Acidez - Dureza - Ferro e manganês - Cloretos - Nitrogênio - Fósforo - Oxigênio dissolvido - Matéria orgânica - Metais pesados - Micro poluentes orgânicos/inorgânicos
Parâmetros biológicos	- Organismos indicadores - Bactérias - Algas

Fonte: Adaptado de Sperling (1996).

Para Sperling (1996), os despejos industriais variam principalmente pelo tipo de segmento da indústria e o processo industrial utilizado, relacionadas com a presença de diferentes contaminantes e respectivas concentrações, apresentando diversas características qualitativas, dificultando generalizações mesmo dentro de um setor industrial.

Os efluentes industriais são classificados como biodegradáveis, por conter substâncias predominantemente orgânicas, e não biodegradáveis quando caracterizados pelo conteúdo orgânico recalcitrante ou predominantemente químicos (PIRES et al., 2013).

Pires et al. (2013) afirma que, dentre os diversos parâmetros utilizados para tratar efluentes industriais, a relação Demanda Bioquímica de Oxigênio/ Demanda Química de Oxigênio (DBO/DQO) têm sido os mais avaliados para verificação da concentração de matéria orgânica biodegradável, cujo parâmetros estão representados no Quadro 2.

Quadro 2 - Relação entre Demanda Bioquímica de Oxigênio/ Demanda Química de Oxigênio

RELAÇÃO DBO/DQO	
Baixa (<2,5)	Fração biodegradável elevada: indicado o uso de tratamento biológico;
Intermediária (2,5 a 4,0)	Fração biodegradável não elevada: realizar testes de tratabilidade para validar o uso de tratamento biológico;
Elevada (>4)	Fração inerte /não biodegradável: indicado tratamento físico-químico.

Fonte: Adaptado de Sperling (2014).

Os efluentes não biodegradáveis demandam uma caracterização minuciosa para definição de processos físico-químicos que visem a remoção por operações físicas de separação. As alternativas mais adotadas, para baixas concentrações dos poluentes, são processos de absorção ou adsorção, osmose reversa, sistemas de filtração, ou resinas de troca iônica (PIRES et al., 2013).

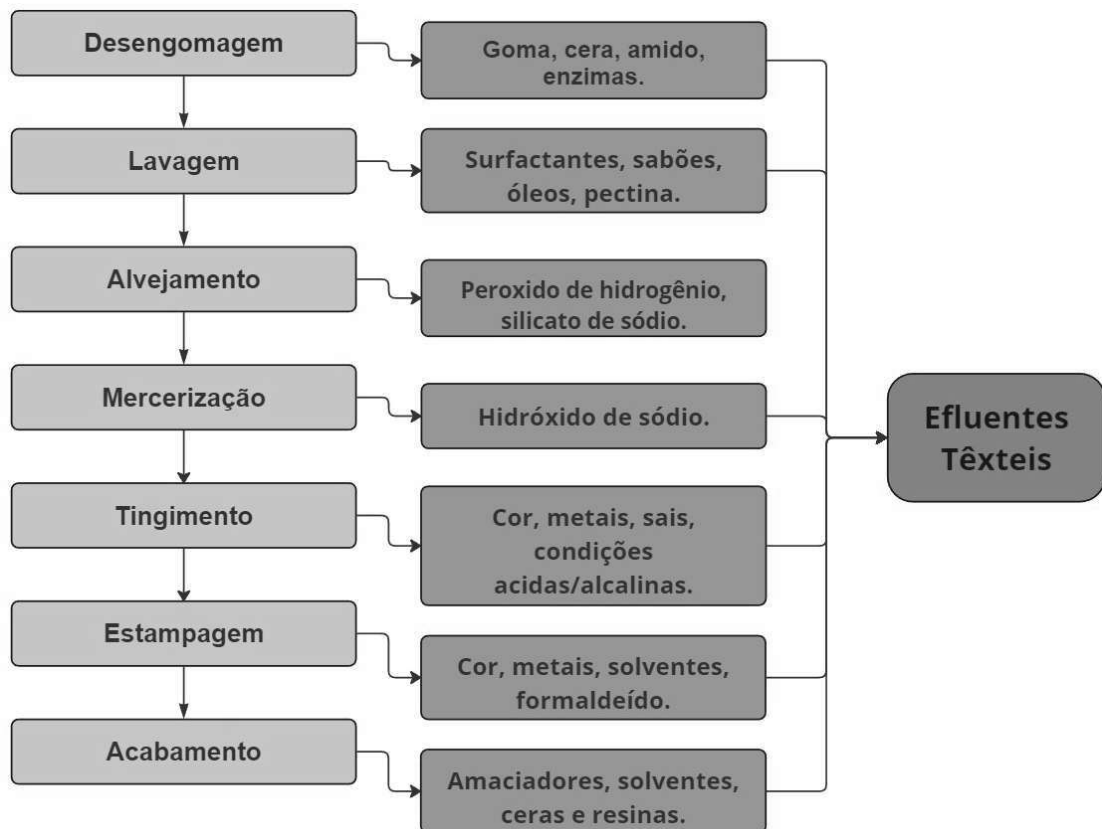
2.1.1 Efluentes têxteis

A indústria têxtil é responsável pela produção de vestuário, artefatos de tecidos e calçados, através do beneficiamento de fibras têxteis, de origem vegetal, animal ou sintéticos, considerada pela Resolução CONAMA Nº 237/1997 como atividades efetiva ou potencialmente poluidoras, que ao utilizar recursos naturais podem causar degradação ambiental.

A indústria têxtil pode ser dividida em duas categorias: indústria de tecidos secos e úmidos. Os resíduos sólidos e líquidos são gerados, por tecidos secos e úmidos, respectivamente. O processamento úmido é feito após o beneficiamento das fibras têxteis, que consiste em transformar fibras em fios e os fios em tecidos. Os tecidos passam por diversos estágios, até chegar ao ponto de comercialização, que resultam em soluções heterogêneas, constituídas de componentes poluidores. (HOLKAR et al., 2016).

Estas etapas foram representadas na Figura 1, seguido dos poluentes possivelmente encontrados nas águas residuais.

Figura 1 - Etapas do processamento dos tecidos e a geração de efluentes têxteis



Fonte: Adaptado de Holkar et al. (2016).

Em comparação às outras etapas, o processo de tingimento apresenta risco significativamente maior de contaminação ao meio ambiente. Isso se deve ao uso de grandes quantidades de corantes, sais e aditivos (MERZOUK et al., 2011). Estima-se uma perda expressiva dos corantes empregados pela indústria têxtil no processo de tingimento, entre 20% a 50% do volume total, devido à má fixação (ZANONI; YAMANAKA, 2016).

Após o processo de tintura, o tratamento final envolve a etapa de lavagem onde são utilizados muitos m³ de água, a fim de retirar o excesso de corante não fixado às fibras nas etapas anteriores, tendo como consequência do processo um grande volume de efluentes não biodegradáveis (GUARATINI; ZANONI, 2000).

O lançamento descontrolado desses resíduos, independentemente do nível de concentração, afeta a absorção da luz pelos ecossistemas aquáticos, por acumulação e biodisponibilidade, contribuem para a contaminação dos mananciais devido a presença de corantes altamente solúveis, mas detectáveis a olho nu em baixas concentrações, como por exemplo 1mg/L, e afetando a qualidade da água distribuída

à população. Associa-se os riscos toxicológicos de corantes sintéticos à saúde humana ao modo e tempo de exposição, ingestão oral, sensibilização da pele e vias respiratórias, considerando suas propriedades carcinogênicas e mutagênicas (GUARATINI; ZANONI, 2000).

2.2 Corantes Têxteis

Corantes são substâncias químicas que conferem cor a diversos substratos por meio de solvatação, adsorção, ligações iônicas, químicas ou covalentes. Cerca de 10.000 diferentes tipos de corantes, são extensivamente incorporados aos processos produtivos industriais. Dentre eles, aproximadamente 2.000 encontram-se disponíveis para a indústria têxtil (GUARATINI; ZANONI, 2000).

Na literatura há complexidade quanto às nomenclaturas dos corantes têxteis sintéticos, pois o mesmo tipo pode possuir mais de uma (ZANONI; YAMANAKA, 2016).

Existem duas partes principais da molécula do corante utilizada para tingir a fibra têxtil: o grupo cromóforo (cor) e a estrutura responsável pela fixação do corante à fibra (KUNZ et al., 2002).

De acordo com Guaratini e Zanoni (2000), as classes de corantes são classificadas de acordo com sua estrutura química ou pela fixação à fibra têxtil. Podem ser comercialmente classificados, de acordo com a fixação à fibra, como: Corantes Reativos, Diretos, Azoicos, Ácidos, à Cuba (ou Vat), de Enxofre, Catiônicos, Dispersos, Pré-Metalizados (Mordentes), Solventes e Branqueadores.

Zanoni e Yamanaka (2016) afirmam, que a forma mais adequada de classificar um corante é por sua estrutura química ou grupo cromóforo, facilitando a rápida identificação pela organização de grupos por categorias de propriedades físico-químicas semelhantes. Na classificação por grupo cromóforo podem ser encontradas diversas classes, algumas com maior relevância como azo, antraquinona, metalizado, indigoide, metina e polimetinas, di- e triarilmetanos, nitrosos, sulfurosos, etc.

2.2.1 Corantes Azo

Corantes azo ou azocorantes, são bastante utilizados em processos de tingimento de fibras têxteis por serem resistentes a processos biodegradáveis,

tornando-os persistentes aos tratamentos de resíduos convencionalmente adotados (SOUZA; PERALTA-ZAMORA, 2006).

Existem mais de três mil corantes azo e representa 65% dos corantes sintéticos empregados pelas indústrias, sendo descritos de acordo com a quantidade de grupamentos como monoazo, disazo, trisazo (ZANONI; YAMANAKA, 2016).

De acordo com a classificação pela estrutura do cromóforo Azo, destacam-se as principais classes de corantes e suas propriedades semelhantes agrupadas nesta categoria, como descrito no Quadro 3.

Quadro 3 - Características dos corantes pela estrutura do cromóforo

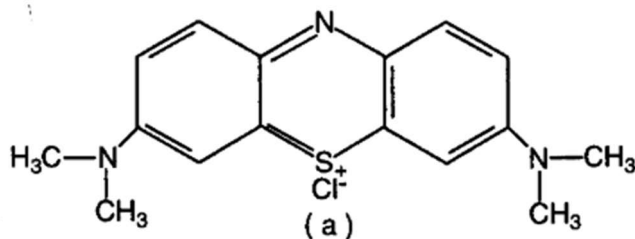
Cromóforo	Principais classes	Propriedades
Azo	Reativos, ácidos, dispersos, diretos, básicos, catiônicos, pré-metalizados, azoicos.	Ampla variedade de cores, resistência à exposição luminosa, brilho, boa relação custo-benefício.

Fonte: Adaptado de Zanoni e Yamanaka (2016).

2.2.2 Azul de Metileno

O Azul de Metileno (AM) foi a primeira droga sintética, pertencente à classe fenotiazina tricíclica, atuando tanto em tratamentos médicos quanto como reagente de coloração (SCHIRMER et al., 2011).

Classificado como um corante orgânico catiônico derivado do oxocarbono, o Azul de Metileno é um corante azo de fórmula molecular $C_{16}H_{18}N_3SCl$ (Figura 2), utilizado como corante traçante de águas contaminadas, em análise de ácidos, apresentando também propriedades condutoras e fotossensibilizadoras (LONGHINOTTI et al., 1996).

Figura 2 - Estrutura molecular do corante azul de metileno

Fonte: Adaptado de Longhinotti et al. (1996).

Inicialmente, os corantes catiônicos eram utilizados para tingir algodão, couro e papel, mas ao longo dos anos as suas áreas de aplicações foram ampliadas, em diversas áreas, desde a indústria alimentícia até medicina, biologia e química. Alguns tipos desses corantes possuem capacidade bacteriostática e bactericida, como o AM (MELLO, 2006).

A fixação da classe de corantes catiônicos à fibra ocorre através dos sítios catiônicos com os sítios aniônicos do corante, positivos e negativos, respectivamente. Acontece via interação iônica, interação de van der Waals ou pontes de hidrogênio. Geralmente é empregado ácido acético para otimização da fixação da cor e a solubilidade em água (ZANONI; YAMANAKA, 2016).

O Quadro 4 apresenta os aspectos relevantes de tingimento da classe de corantes catiônicos na fibra.

Quadro 4 - Classificação pelo método de aplicação na fibra.

Classe	Principais substratos	Cromóforos associados	Aspectos relevantes do tingimento
Catiônicos	Lã, seda, algodão, couro e fibras acrílicas.	Polimetina, di e triarilmetina, antraquinona e azo.	São corantes solúveis em água; vasta variedades de cores; apresentam brilho; pouca resistência à luz; boa resistência à umidade; bom rendimento; baixo custo.

Fonte: Adaptado de Zanoni e Yamanaka (2016).

O corante azul de metileno é considerado um dos compostos mais empregados em testes de adsorção, por ser um ótimo modelo de estudo para a análise da remoção

de resíduos contaminantes orgânicos a partir de soluções aquosas, devido à alta adsorção em suportes sólidos (AYGUN et al., 2003).

2.3 Adsorção

Técnicas de descoloração das águas residuais envolvem principalmente processos de adsorção, precipitação, degradação química, eletroquímica, fotoquímica, biodegradação. Dentre elas, a técnica de adsorção física que consiste em realizar a remoção de substâncias poluentes pela interação da superfície adsorvente com o adsorvato, onde o soluto é removido de uma fase e acumulado na superfície de uma outra fase, sendo este um método efetivo apesar de lento e custo alto, para volumes de pequena escala (GUARATINI; ZANONI, 2000).

A tecnologia do processo de adsorção visa o abatimento de cargas poluidoras e a remoção da cor dos efluentes têxteis e industriais. É um procedimento que fornece resultados significativos pela capacidade de remover diferentes tipos de corantes. Inúmeros estudos indicam que diversos materiais adsorventes não convencionais, como matérias naturais, biossorventes e resíduos da agricultura e indústria são utilizados para desenvolver adsorventes eficazes e de baixo custo, para a remoção de soluções corante (RAFATULLAH et al., 2010).

O estudo de adsorção de corantes é imprescindível pois torna possível a compreensão de processos como coloração de tecidos e remoção de cor das águas residuárias, e descrever através de equações a capacidade de um adsorvente, ao informar quantidades de concentração adsorvida em mg/g, indicando o material mais adequado e respectiva quantidade por aplicação (LONGHINOTTI et al., 1996).

2.4 Zeólitas

As zeólitas foram reconhecidas quando, em 1756, o químico e mineralogista Barão Axel Frederick Consted fez a descoberta da stilbita, a primeira zeólita natural a ser catalogada. Denominada por Consted, a nova classe mineral foi chamada de zeólitas, do grego *zéo* e *lithos*, que significa pedra fervente (LUZ, 1995).

Luz (1995) designa a classe das zeólitas como um grupo de aluminossilicatos cristalinos hidratados que contém metais alcalinos ou alcalinos terrosos como contra íons. Weigel e Steinhof constataram, em 1925, que a zeólita chabazita selecionava

moléculas orgânicas menores e rejeitava as maiores. Anos depois, em 1932, McBain denominou esta capacidade de adsorver seletivamente as moléculas de peneira molecular.

A classificação das zeólitas é feita de acordo com o tamanho de seus poros em: zeólitas de poro extragrande ($q \geq 9 \text{ \AA}$), poro grande ($6 \text{ \AA} < q < 9 \text{ \AA}$), poro médio ($5 \text{ \AA} < q \leq 6 \text{ \AA}$) e zeólitas de poro pequeno ($3 \text{ \AA} < q \leq 5 \text{ \AA}$) (GIANETTO et al., 2000). Esse fenômeno denominado de peneiramento molecular, foi atribuído aos poros de cerca de 5 Å (ångström) de diâmetro, que segregam as moléculas compatíveis com as dimensões de seus poros das maiores, caracterizando a adsorção (BRAGA; MORGON 2007).

As zeólitas são sólidos porosos com propriedades de troca catiônica, adsorção de gases e vapores, propriedades catalíticas. Estruturalmente, são constituídos por redes cristalinas tridimensionais, compostas de tetraedros do tipo TO₄ (T = Si, Al, B, Ge, Fe, P, Co), unidos através de átomo de oxigênio nos vértices. As zeólitas naturais são formadas com base na precipitação de fluidos contidos nos poros ou pela alteração de vidros vulcânicos. As condições de temperatura, de pressão, de atividade das espécies iônicas e de pressão parcial da água são fatores determinantes na formação das diferentes espécies de zeólita (LUZ, 1995).

Ainda que as zeólitas naturais possuíssem grande potencial em diversos processos industriais, para que pudessem ser utilizadas era necessário passar por uma purificação, pois na natureza não era encontrada em sua forma pura e não possuir uma composição química uniforme, com variações significativas de um depósito para outro. Desde então as zeólitas passaram a ser produzidas em laboratório (zeólitas sintéticas), sintetizadas a partir de materiais variados, como resíduos de indústrias, argilominerais etc., cujas propriedades podem ser ajustadas com diferentes características estruturais e composições químicas, otimizadas para cada aplicação específica (COSTA, 2012).

2.5 Experimentos com Zeólitas

Na literatura são encontradas diversas pesquisas relacionadas a experimentos de adsorção por zeólitas, empregando-as como adsorvente para os mais variados tipos de adsorvatos, dentre eles os corantes têxteis.

Fungaro e Bruno (2009) analisaram a remoção do corante catiônico azul de metileno de solução aquosa utilizando zeólitas sintetizadas com amostras de cinzas de carvão diferentes. O tempo de adsorção e o aumento da concentração do corante resultaram em uma quantidade maior de corante adsorvida pelo adsorvente. As isotermas de equilíbrio das zeólitas ajustaram-se ao modelo de Freundlich, tornando possível analisar a eficiência de adsorção de até 98,5%. Este estudo permitiu verificar a efetividade das zeólitas sintetizadas a partir de cinzas de carvão, efetivamente empregadas como adsorvente para a remoção de azul de metileno de solução aquosa.

Machado et al. (2015) avaliaram zeólitas como adsorventes para remoção do corante reativo turquesa utilizando efluente sintético e efluente de uma indústria têxtil. Foram utilizadas as zeólitas Y ou faujasita (FAU), Beta (BEA) e ZSM-12 (MTW), por apresentarem sistemas de poros similares e devido ao uso potencial como adsorventes. Os resultados experimentais mostraram que a eficácia na remoção do corante foi entre 85 a 95%, dependendo da amostra de efluente. A zeólita com estrutura FAU obteve melhor resultado devido ao seu maior sistema de poros, em comparação as demais zeólitas estudadas, e maior quantidade de sítios de adsorção, pela menor razão Si/Al.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios experimentais de caracterização da amostra foram realizados no Laboratório de Inovação em Aproveitamento de Resíduos e Sustentabilidade Energética (LARSEN) do IFTO, campus Palmas, conforme Figura 3.

Figura 3 - Desenho esquemático das atividades desenvolvidas durante essa pesquisa



Fonte: AUTORA (2025).

3.1 Caracterização da Zeólita Comercial

3.1.1 Umidade

A umidade da amostra de zeólita foi obtida conforme metodologia aplicada por Rodrigues (2019) e Pedroza (2011), de acordo com a norma ASTM D 3173-87, que consiste em adicionar aproximadamente 1 g de massa a um cadinho de porcelana com peso constante pré-determinado. Após isso, a amostra foi aquecida em uma estufa à temperatura de 110 °C por um período de 60 minutos. Posteriormente, o cadinho foi colocado em um dessecador por 10 minutos e pesado. O procedimento foi realizado em triplicata, e o teor de umidade determinado através da Equação 1, descrita da seguinte forma:

$$\text{Umidade (\%)} = \frac{(A-B)}{(C)} * 100 \quad (\text{Equação 1})$$

A= peso do cadinho + amostra;

B= peso do cadinho + amostra após o aquecimento;

C= peso da amostra.

} (g)

3.1.2 Material Volátil

Seguindo a metodologia de Nogueira e Rendeiro (2008) e baseado pela ABNT NBR 8112 (1986), determinou-se o teor de material volátil, que são os materiais que evaporam com mais facilidade. Adicionou-se aproximadamente 1 g de amostra em um cadinho de porcelana, com peso constante pré-determinado e realizado em triplicata. Em seguida, foi aquecida a amostra em um forno mufla à temperatura de 850 °C, na ausência de oxigênio durante 7 minutos. O ensaio foi realizado em triplicata. O teor de material volátil foi determinado pela Equação 2, descrita como:

$$\text{Material Volátil (\%)} = \left(\frac{(A+B)-C}{B} \right) * 100 \quad (\text{Equação 2})$$

A= peso do cadinho vazio;
 B= peso da amostra inicial;
 C= peso do cadinho + amostra final.

} (g)

3.1.3 Teor de Cinzas

O ensaio foi realizado conforme Nogueira e Rendeiro (2008) e baseado na ABNT NBR 8112 (1986). Foi adicionado aproximadamente 1 g de amostra a um cadinho de porcelana com peso constante pré-determinado, e aquecida em uma mufla, de marca Coel modelo Hm, à temperatura de 710 °C durante 60 minutos. Em seguida, a amostra do cadinho foi colocada em um dessecador por mais 1 hora e posteriormente pesado. O ensaio foi realizado em triplicata e o teor de cinzas determinado conforme a Equação 3, descrita da seguinte maneira:

$$\text{Cinzas (\%)} = \frac{(A)}{(B)} * 100 \quad (\text{Equação 3})$$

A= peso do cadinho + amostra após o aquecimento;
 B= peso do cadinho + amostra antes do aquecimento.

} (g)

3.1.4 Teor de Carbono Fixo – CF

Utilizada a metodologia empregada por Pedroza (2011), o teor de carbono fixo, que denomina a porcentagem de material resultante que não evaporou após os ensaios dos teores de umidade, material volátil e cinzas, foi determinado através da Equação 4, descrita deste modo:

$$\text{Carbono Fixo (\%)} = 100 - [\text{Umidade(\%)} - \text{Cinzas(\%)} - \text{Material Volátil(\%)}] \text{ (Equação 4)}$$

3.1.5 Densidade Aparente

De acordo com a metodologia de Rodrigues (2019), uma proveta de 100 mL foi inserida em uma balança analítica, ilustrada na Figura 4, zerada posteriormente, e em seguida adicionada a amostra da zeólita. Foram obtidas as massas (g) nas sucessivas adições nos respectivos volumes de 10, 20, 30, 40, 50 mL, a cada 10 mL até alcançar 100 mL. Foi determinada a densidade, a média e o desvio padrão, partindo do princípio de que a densidade é a relação de massa e o volume da amostra, conforme a Equação 5:

$$\text{Densidade} \left(\frac{\text{g}}{\text{mL}} \right) = \left[\frac{m(\text{g})}{V(\text{mL})} \right] \quad \text{(Equação 5)}$$

Figura 4 - Balança analítica e proveta de 100 mL



Fonte: AUTORA (2025).

3.2 Ensaio de Adsorção

O teste foi feito em uma mesa de agitação (Shaker TE 141), ilustrada na Figura 5, com a amostra de zeólita comercial. Este ensaio foi realizado no laboratório LARSEN- IFTO/Campus Palmas.

Figura 5 - Mesa de agitação Shaker TE 141



Fonte: AUTORA (2025).

A solução corante (Azul de Metileno), de fórmula química $C_{16}H_{18}ClN_3S \cdot 3H_2O$ foi empregada no teste, utilizando um volume padrão de 30 mL de solução em todos os testes. Após o teste de adsorção, as amostras foram filtradas em papel analítico e a concentração de azul de metileno resultante determinada em espectrofotômetro, a 660 nm (Figura 6).

Figura 6 - Espectrofotômetro



Fonte: AUTORA (2025).

O planejamento experimental do tipo Delineamento de Faces Centradas (DFC) foi aplicado para verificação dos efeitos de três variáveis independentes (massa de adsorvente, tempo de adsorção e concentração do corante) no teste de adsorção. A Tabela 1 demonstra os níveis dos fatores empregados. O pH da solução do corante foi ajustado a 7 e a agitação mantida igual a 70 rpm. O tempo de adsorção foi de 30 minutos.

Tabela 1 - Fatores e Níveis empregados.

Fatores		Níveis		
		-1	0	+1
X1	Massa do adsorvente (g)	1	1,50	2
X2	Tempo de adsorção (min)	20	30	40
X3	Concentração do Corante (mg/L)	20	60	100

Fonte: AUTORA (2025).

Foram realizados 17 ensaios, sem repetição, sendo 3 deles no ponto central do Planejamento Experimental, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 - Ordem dos experimentos no DFC no Planejamento Experimental

Ensaio	Massa do adsorvente (g)	Tempo de adsorção (min)	Concentração do Corante (mg/L)
1	-1 (1)	-1 (20)	-1 (20)
2	1 (2)	-1 (20)	-1 (20)
3	-1 (1)	1 (40)	-1 (20)
4	1 (2)	1 (40)	-1 (20)
5	-1 (1)	-1 (20)	1 (100)
6	1 (2)	-1 (20)	1 (100)
7	-1 (1)	1 (40)	1 (100)
8	1 (2)	1 (40)	1 (100)
9	-1 (1)	0 (30)	0 (60)
10	1 (2)	0 (30)	0 (60)
11	0 (1,50)	-1 (20)	0 (60)
12	0 (1,50)	1 (40)	0 (60)
13	0 (1,50)	0 (30)	-1 (20)
14	0 (1,50)	0 (30)	1 (100)
15	0 (1,50)	0 (30)	0 (60)
16	0 (1,50)	0 (30)	0 (60)
17	0 (1,50)	0 (30)	0 (60)

Fonte: AUTORA (2025).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na etapa da adsorção do corante azul de metileno em zeólita comercial, foram definidas três respostas para o planejamento experimental, sendo estas: (I) absorvância do filtrado, (II) eficiência de remoção e (III) razão de adsorção.

As variáveis investigadas no teste foram a massa de adsorvente (X_1), tempo de adsorção (X_2) e a concentração do corante (X_3). Os resultados do ensaio de adsorção, com diferentes concentrações de solução corante e massa de adsorvente, realizado com o delineamento de faces centradas, conforme descrito na metodologia, são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultado do teste de adsorção sob efeito das três variáveis independentes (massa de adsorvente, tempo de adsorção e concentração da solução do corante).

Experimentos	Massa de Carvão (g)	Tempo de adsorção (min)	Concentração do Corante (mg/L)	Absorvância do filtrado	Eficiência de remoção (%)	Razão de adsorção (mg/g)
1	1	20	20	0,05	99,72	0,60
2	2	20	20	0,01	99,94	0,30
3	1	40	20	0,01	99,91	0,60
4	2	40	20	0,03	99,81	0,30
5	1	20	100	0,07	99,92	3
6	2	20	100	0,01	99,98	1,50
7	1	40	100	0,06	99,93	3
8	2	40	100	0,04	99,95	1,50
9	1	30	60	0,02	99,95	1,80
10	2	30	60	0,02	99,95	0,90
11	1,50	20	60	0,08	99,86	1,20
12	1,50	40	60	0,02	99,95	1,20
13	1,50	30	20	0,03	99,81	0,40
14	1,50	30	100	0	99,99	2
15	1,50	30	60	0,06	99,90	1,20
16	1,50	30	60	0,05	99,90	1,20
17	1,50	30	60	0,06	99,89	1,20

Fonte: AUTORA (2025).

Com os resultados do planejamento experimental foi determinado o modelo estatístico para a adsorção do corante em zeólita comercial, usando o Software STATISTICA, sendo determinados: (a) coeficientes de regressão, (b) erro padrão de coeficientes, (c) estimativa por intervalo (*t-calculado*) e (d) p-valor para cada coeficiente.

I. Absorbância do Filtrado

Através da regressão linear foi gerado o intervalo espectral da adsorção do azul de metileno e a construção do gráfico analítico linear, que permite observar a relação estatística desta variável em relação a outras. De acordo com os dados das interações entre as variáveis para a resposta de absorbância das amostras filtradas, apresentados na Tabela 3, nota-se um bom desempenho considerando os resultados dos experimentos, com todos os valores bem próximos a 0, que evidencia a eficiência da zeólita comercial como adsorvente de soluções corantes.

II. Eficiência de Remoção

Através da regressão linear foi gerado o intervalo espectral da adsorção do azul de metileno e a construção do gráfico analítico linear da eficiência, que permite observar a relação estatística desta variável em relação a outras. A Tabela 3 apresentou os efeitos da interação entre as variáveis para o resultado da eficiência de remoção das amostras, considerando os dados obtidos nos experimentos em que o desempenho foi acima de 99% em todos os ensaios, que evidencia a eficiência da zeólita comercial como adsorvente de soluções corantes.

III. Razão de Adsorção

O grau de razão máxima de adsorção da zeólita indica a eficiência do adsorvente nas condições em que este foi submetido. A Tabela 4 apresenta os dados resultantes da interação entre as variáveis deste estudo para o resultado de razão máxima de adsorção da zeólita comercial.

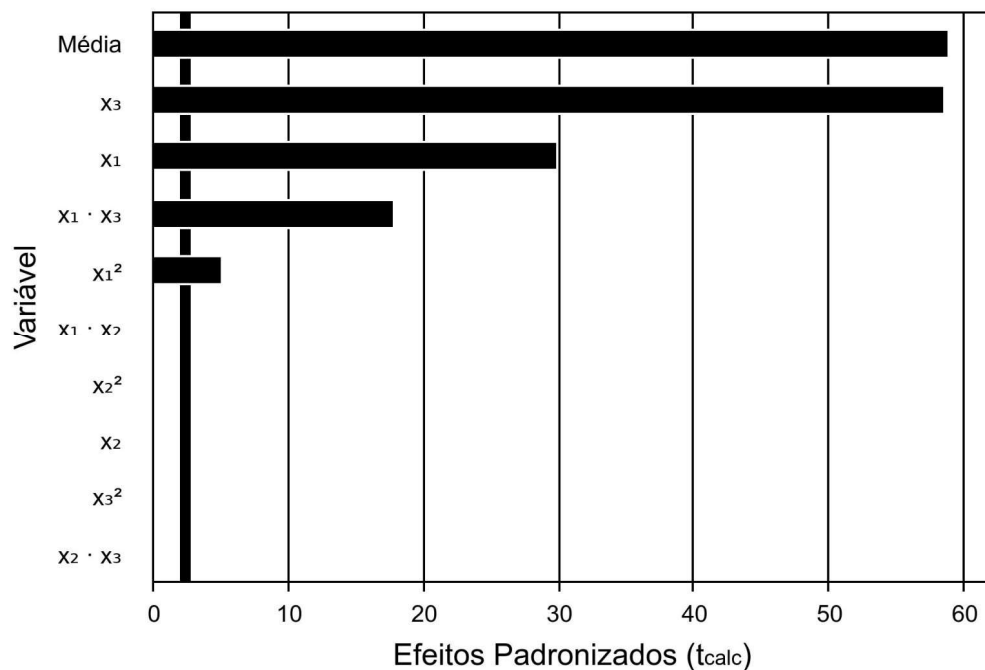
Tabela 4 - Coeficientes de regressão do Planejamento DFC para definição da razão máxima de adsorção da zeólita comercial.

Fatores	Coeficiente de Regressão	Erro Padrão	t-calculado	p-valor
Média	1,20	0,02	58,94	0,0000
X_1	-0,45	0,02	-29,90	0,0000
X_1^2	0,15	0,03	5,17	0,0013
X_2	0,00	0,02	0,01	0,9902
X_2^2	0,00	0,03	-0,01	0,9901
X_3	0,88	0,02	58,53	0,0000
X_3^2	0,00	0,03	0,01	0,9927
$X_1 - X_2$	0,00	0,02	-0,02	0,9865
$X_1 - X_3$	-0,30	0,02	-17,84	0,0000
$X_2 - X_3$	0,00	0,02	-0,01	0,9956

Fonte: AUTORA (2025).

O gráfico de Pareto representado pela Figura 7 demonstra o efeito significativo das variáveis massa de adsorvente (X_1), tempo de adsorção (X_2) e concentração do corante (X_3) atribuído a razão de adsorção, demonstrando estas variáveis influenciam consideravelmente esta capacidade neste resultado.

Figura 7 - Gráfico de Pareto da Capacidade Máxima de Adsorção da Zeólita



Fonte: AUTORA (2025).

A Equação 6 representa o modelo obtido pela análise linear e demonstra a relação estatísticas entre os fatores influentes no resultado da Razão de adsorção(Q).

$$Q = 1,20 - 0,45 X_1 + 0,15 X_1^2 + 0 X_2 + 0 X_2^2 + 0,88 X_3 + 0 X_3^2 + 0 X_1 X_2 - 0,30 X_1 X_3 + 0 X_2 X_3$$

(Equação 6)

Onde:

X₁= massa de adsorvente;

X₂= tempo de adsorção;

X₃= concentração do corante.

No resultado da razão de adsorção(Q), conforme Tabela 5, a massa do adsorvente analisada atuou de forma significativa para o modelo por apresentar um baixo p-valor correspondente a 0,0000, bem como a concentração do corante associada ao seu p-valor.

A Tabela 5 apresenta a análise de variância (ANOVA) da razão de adsorção(Q) das amostras de zeólita comercial na adsorção do corante azul de metileno.

Tabela 5 - ANOVA para Razão de adsorção das amostras de zeólita comercial na adsorção de azul de metileno.

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Fcalc	P-valor
Regressão	10,6	9	1,2	519,8	0,00000
Resíduos	0,0	7	0,0		
Falta de ajuste	0,0	5	0,0	376635,4	0,00000
Erro puro	0,0	2	0,0		
Total	10,6	16			

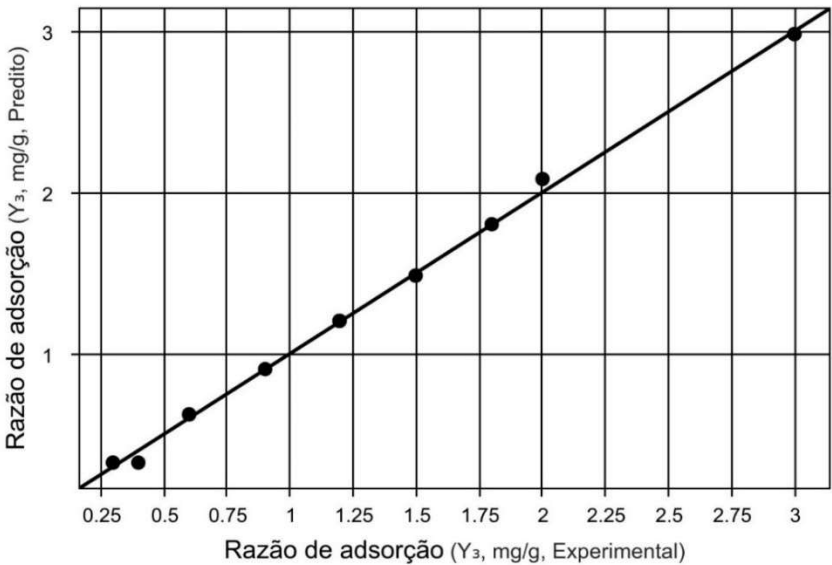
$R^2 = 99,85\%$

Fonte: AUTORA (2025).

Para a razão máxima de adsorção desta pesquisa, o valor de Fcalc (519,8) para a regressão é maior que o valor de Ftab (3,6777), o que indica que a ANOVA é significativa para a precisão do resultado. A partir do modelo linear gerado observa-se o coeficiente de ajuste (R^2) de 0,9985, visto que este alcança um bom ajuste dos resultados à linha de tendência.

A Figura 8 mostra uma comparação dos valores pressupostos para o teste com os valores analisados no experimento. Estes pontos representam os valores experimentais, observados pela proximidade da linha central preditora que indica a precisão do método ao atingir os valores esperados para a razão de adsorção.

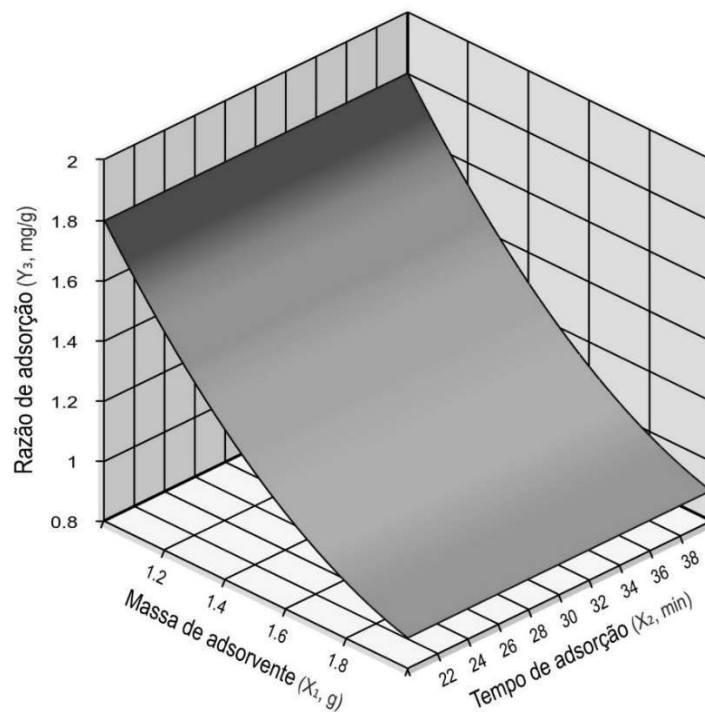
Figura 8 - Valores obtidos x Valores pressupostos para Razão de Adsorção



Fonte: AUTORA (2025).

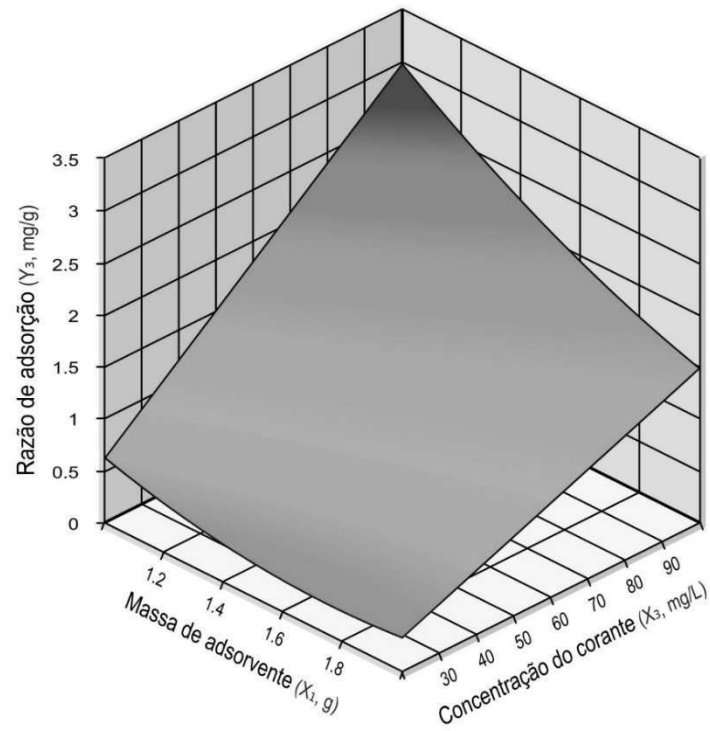
Os gráficos de superfície gerados para a razão de adsorção através do planejamento experimental são apresentados nas Figuras 9, 10 e 11. Na interpretação dos dados e das ilustrações foi possível observar que a razão máxima de adsorção foi alcançada em níveis de baixa quantidade de massa adsorvente e alta concentração de corante. Notou-se também que o tempo de adsorção teve pouca influência nos resultados, conforme destacado nas regiões em vermelho.

Figura 9 - Gráfico de superfície de resposta para a razão de adsorção (massa de adsorvente x tempo de adsorção)



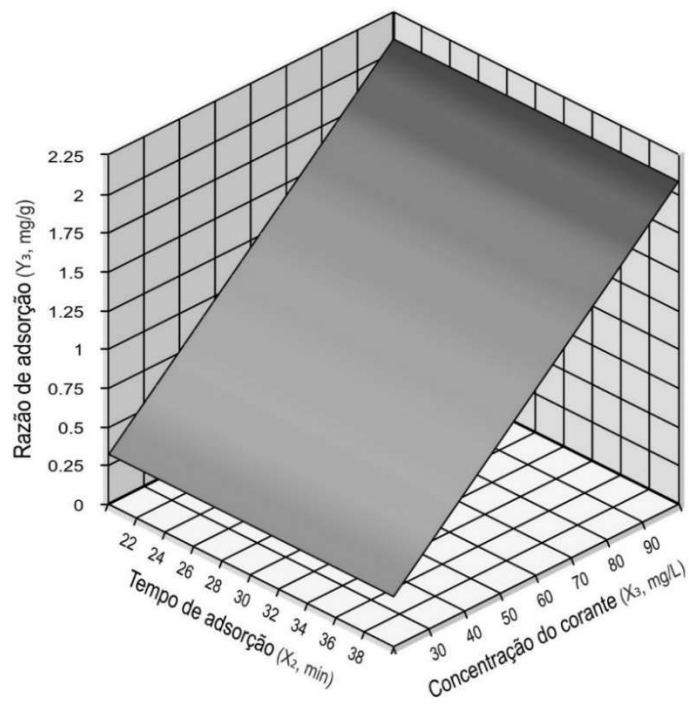
Fonte: AUTORA (2025).

Figura 10 - Gráfico de superfície gerado para razão máxima de adsorção (massa x concentração).



Fonte: AUTORA (2025).

Figura 11 - Gráfico de superfície de resposta para razão de adsorção com utilização da zeólita (tempo x concentração).



Fonte: AUTORA (2025).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo demonstram que a zeólita comercial apresenta potencial adsorvente de baixo custo, com grande possibilidade de aplicação para a remoção de corantes sintéticos presentes em efluentes industriais.

Com base nos dados obtidos por meio das etapas de caracterização do material e teste de adsorção do corante azul de metileno, podemos concluir que:

Para resultados de maior eficiência na remoção do corante é necessário a aplicação de massa elevada de zeólita comercial e alta concentração de corante, como nota-se nos experimentos 6 e 14 que apresentaram os melhores resultados, para a condição de 2g e 1,5g de massa adsorvente, respectivamente, e concentração de corante de 100 mg/L. Todos os valores obtidos no experimento referentes a eficiência de remoção do corante químico estudado foram superiores a 99,7%.

Quanto aos resultados de razão de adsorção do experimento observa-se que a capacidade máxima adsorptiva de 3 mg/g, apresentadas nos ensaios 5 e 7, foi alcançada em níveis de baixa quantidade de massa adsorvente e alta concentração de corante, utilizando 1g de massa de zeólita e 100 mg/L de concentração do corante azul de metileno, cujo tempo de adsorção não influenciou na alteração dos resultados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112**: Carvão vegetal: análise imediata. Rio de Janeiro: ABNT, 5p, 1986.

ALMEIDA, E. J. R.; DILARRI, G.; CORSO, C. R. **A indústria têxtil no Brasil: Uma revisão dos seus impactos ambientais e possíveis tratamentos para os seus efluentes**. Projeto Qualidade da Água, Boletim das Águas - Ministério Público Federal, Brasília/DF, p. 1 - 18, nov. 2016.

ASTM D 3173-87. **Standard method for determination of moisture content in biomass**; 2003.

AYGUN, A, YENISOY-KARAKAS, S., DUMAN, I., **Production of granular activated carbon from fruit stones and nutshells and evaluation of their physical, chemical and adsorption properties**. Microporous Mesoporous Materials, v. 66, n. 2-3, pp. 189-195. 2003.

BRAGA, A. A. C.; MORGON, N. H. **Descrições estruturais cristalinas de zeólitos**. Química Nova, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 178-188, 2007.

BRASIL, **Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010** - Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução nº237, de 19 de dezembro de 1997**. Licenciamento ambiental; competência da União, Estados e Municípios; listagem de atividades sujeitas ao licenciamento; Estudos Ambientais, Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental. 1997.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução nº430, de 13 de maio de 2011**. Condições e padrões de lançamento de efluentes. 2011.

COSTA, Tiago Pereira Martins da. **Síntese da zeólita zsm-12 com utilização de duas fontes de sílica**. 2012. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2012.

FUNGARO, Denise Alves; BRUNO, Mariza. **Remoção de azul de metileno de solução aquosa usando zeólitas sintetizadas com amostras de cinzas de carvão diferentes**. Química Nova, v. 32, n. 4, p. 955-959, 2009.

GIANETTO P., G.; RENDÓN, A. M.; FUENTES, G. R. **Zeolitas: características, propiedades y aplicaciones industriales**. 2ª Ed., Editorial Innovación Tecnológica, Caracas, Venezuela, 2000.

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

HOLKAR, C. R.; Jadhav, A. J.; Pinjari, D. V.; Mahamuni, N. M.; Pandit, A. B. **A critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches**. Journal of Environmental Management. P. 182, 351, 2016.

KUNZ, A. et al. **Novas Tendências no Tratamento de Efluentes Têxteis**. Química Nova, v. 25, n. 1, p. 78-82, 2002.

LONGHINOTTI, Elisane; FURLAN, Ligia; LARANJEIRA, Mauro C. M.; FÁVERE, Valfredo T. de. **Adsorção de azul de metileno e croconato amarelo pelo biopolímero quitina**. Química Nova, v. 19, n. 3, p. 221-224, jan. 1996.

LOPES, R. M. F.; JORENTE, M. J. **A Indústria Têxtil no Brasil: uma perspectiva histórica e cultural**. ModaPalavra e-periódico, vol. 8, núm. 15, p. 153-174, 2015. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=514051496008>. Acesso em: 16 de maio 2024.

LUZ, A. B. **Zeólitas: propriedades e usos industriais**. Rio de Janeiro: CETEM-CNPq, (Série Tecnologia Mineral, vol. 68). 35 p. 1995.

Machado, S. W. M; Santos, M. J. B; Pedrosa, A. M. G. **Estudo da remoção do corante têxtil turquesa de efluentes industriais utilizando peneiras moleculares zeolíticas sintéticas**. Scientia Plena. Vol. 11, 077201, 2015.

MELLO, Paula Homem de. **Estudo teórico sobre corantes catiônicos e possíveis modelos que expliquem a interação com a argila do tipo montmorilonita**. 2006. 118 f. Tese (Doutorado) - Ciências (Físico-Química), Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

MERZOUK, B. et al. **Removal of a disperse red dye from synthetic wastewater by chemical coagulation and continuous electrocoagulation: A comparative study**. Desalination, v. 272, p. 246-253, 2011.

MUNIZ, Daphne Heloisa de Freitas et al. **Caracterização da qualidade da água superficial de três corpos hídricos rurais do Distrito Federal**. In: SBRH – Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 20., 2013, Bento Gonçalves. Anais [...]. Bento Gonçalves: ABRHidro, 2013. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=1251>. Acesso em: 16 de maio de 2024.

NOGUEIRA, M. F. M.; RENDEIRO, G. **Caracterização Energética da Biomassa Vegetal**. BARRETO, Eduardo José Fagundes (Coord). Combustão e Gaseificação da Biomassa Sólida: Soluções Energéticas para a Amazônia. Brasília: Ministério de Minas e Energia, p. 52-63, 2008.

PEDROZA, Marcelo Mendes. **Bio-óleo e Biogás da degradação termoquímica de lodo de esgoto doméstico em cilindro rotativo**. 2011.

PIRES, E.C.; ZAMARIOLLI, M.H.R.; NERY, V. del. **Tratamento de águas residuárias industriais**. In: CALIJURI, M. C.; CUNHA, D. G. F. (Org.) Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologia e gestão. Rio de Janeiro: Elsevier, Cap. 19, p. 477-500, 2013.

RAFATULLAH, M.; SULAIMAN, O.; HASHIM, R.; AHMAD, A. **Adsorption of Methylene Blue on Low-Cost Adsorbents: A Review**. Journal of Hazardous Materials, v.177, p.70–80, 2010.

SCHIRMER, R. H.; ADLER, H.; PICKHARDT, M.; MANDELKOW, E. **Lest we forget you-methylene blue.** Neurobiology of Aging. V. 32, n 12, p. 2325, e 7-16. 2011.

SOUZA, Cláudio Lima de; PERALTA-ZAMORA, Patricio. **Degradação redutiva de azo-corantes utilizando-se ferro metálico.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 11, n. 1, p. 16-20, mar. 2006.

SPERLING, Marcos Von. **Princípios do tratamento de águas residuárias:** introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 1996.

SPERLING, Marcos Von. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 4. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.

TOMAZ, Plínio. **Previsão de Consumo de Água.** São Paulo. Hermano & Bugelli. Ed. Navegantes, 250 f. 2000.

ZANONI, M. V. B.; YAMANAKA, H. **Corantes: caracterização química, toxicológica, métodos de detecção e tratamento.** 1. ed. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2016.