



UEPB

UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA

CAMPUS I - CAMPINA GRANDE

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

MOABE KEVELYN SANTOS SILVA DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE AZUL DE METILENO DE EFLUENTES
UTILIZANDO MESOCARPO DE LARANJA COMO ADSORVENTE NATURAL**

CAMPINA GRANDE

2023

MOABE KEVELYN SANTOS SILVA DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE AZUL DE METILENO DE EFLUENTES
UTILIZANDO MESOCARPO DE LARANJA COMO ADSORVENTE NATURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Fernandes Vieira

CAMPINA GRANDE

2023

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

O48a Oliveira, Moabe Kevelyn Santos Silva de.
Avaliação da remoção de azul de metileno de efluentes utilizando mesocarpo de laranja como adsorvente natural [manuscrito] / Moabe Kevelyn Santos Silva de Oliveira. - 2023.
36 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2023.

"Orientação : Prof. Dr. Fernando Fernandes Vieira, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT. "

1. Efluente têxtil. 2. Corantes. 3. Adsorção. 4. Casca de laranja. I. Título

21. ed. CDD 628

MOABE KEVELYN SANTOS SILVA DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE AZUL DE METILENO DE EFLUENTES
UTILIZANDO MESOCARPO DE LARANJA COMO ADSORVENTE NATURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Área de concentração: Engenharias.

Aprovada em: 01/dez/2023.

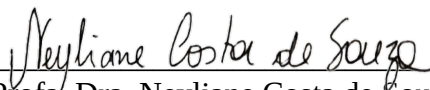
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Fernando Fernandes Vieira (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Whelton Brito dos Santos
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Profa. Dra. Neyliane Costa de Souza
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela oportunidade de alcançar mais uma meta pessoal em minha vida.

Aos meu pais, Moabe e Jane por serem a base de tudo, estarem sempre ao meu lado e por me apoiarem nas decisões que tomei até chegar neste momento. É com amor que eu escrevo essas palavras para eles.

Aos parentes que se fazem presentes em minha vida e também aqueles que se foram, pois tenho certeza que estariam alegres junto comigo neste momento.

A todos os colegas que conheci ao longo do curso, pelo apoio em diversas situações, pelas brincadeiras em horas de alegria e pelos debates pertinentes quando requeridos.

Agradeço ao meu orientador Professor Dr. Fernando Fernandes Vieira pela disponibilidade e pelo auxílio em desenvolver este TCC em todas as suas etapas, mesmo com as dificuldades encontradas durante o decorrer do processo.

A todo corpo docente do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, por me transmitir seus conhecimentos e suas experiências, que foram fundamentais para meu desenvolvimento quando discente e futuro profissional.

E por fim agradeço a Universidade Estadual da Paraíba por todo apoio institucional ao aluno durante toda minha trajetória como discente da instituição.

RESUMO

O Brasil enfrenta desafios significativos na gestão de seus recursos hídricos, apesar da abundância de rios e aquíferos. O crescimento populacional e industrial nas últimas décadas resultou em escassez de água em áreas densamente povoadas, contribuindo para a poluição de águas superficiais e subterrâneas. A indústria têxtil, uma das maiores consumidoras de água, especialmente nas etapas de tinturaria e acabamento, gera efluentes com grande diversidade de produtos químicos. Diante disto, este estudo se propõe a verificar a eficácia das propriedades adsorptivas do mesocarpo da laranja seco à luz do sol, em relação ao azul de metileno. Para isso foi utilizado um planejamento fatorial 2^3 e analisado a influência da massa de adsorvente, concentração de corante em um meio sintetizado e tempo de contato do efluente com o adsorvente seco, feita análise de varredura do máximo comprimento de onda do efluente estudado, realizado a construção de uma curva de calibração para avaliação da absorvância em relação ao comprimento de onda, feita a preparação do adsorvente e realizados ensaios de adsorção seguindo o planejamento fatorial. Nos resultados as variáveis experimentais se mostraram significativas, atingindo uma adsorção de 4,411 mg de corante por grama de adsorvente seco. Ao explorar os efeitos da massa do adsorvente, concentração da solução e tempo de contato por meio da abordagem de planejamento experimental, foi observado que todas as variáveis independentes foram estatisticamente significativas tanto para quantidade adsorvida quanto para a porcentagem de remoção. Em contraste, a variável de massa do adsorvente revelou um impacto negativo na quantidade de corante adsorvido, corroborando com a relação inversa entre a massa e a adsorção. O tempo de contato, por sua vez, demonstrou um efeito positivo, indicando que um aumento no tempo de interação entre as fases líquida e sólida resulta em uma maior quantidade de corante adsorvido. Os resultados obtidos nas análises indicam que o mesocarpo da laranja é capaz de adsorver eficientemente o corante azul de metileno, demonstrando seu potencial como uma alternativa viável e sustentável para a remoção de corantes de efluentes industriais podendo chegar a uma remoção de 81,52% em 20 min. Ao fim do estudo observou-se que a utilização deste adsorvente natural se mostrou satisfatória com base nos dados obtidos, corroborando com dados de remoção de azul de metileno disponíveis na literatura.

Palavras-Chave: efluente têxtil; corantes; adsorção; casca de laranja.

ABSTRACT

Brazil faces significant challenges in managing its water resources, despite the abundance of rivers and aquifers. Population and industrial growth in recent decades has resulted in water scarcity in densely populated areas, contributing to the pollution of surface and groundwater. The textile industry, one of the largest consumers of water, especially in the dyeing and finishing stages, generates effluents with a wide range of chemical products. Given this, this study aims to verify the effectiveness of the adsorptive properties of orange mesocarp dried in sunlight, in relation to methylene blue. For this, a 2^3 factorial design was used and the influence of adsorbent mass, dye concentration in a synthesized medium and contact time of the effluent with the dry adsorbent were analyzed, a scanning analysis of the maximum wavelength of the studied effluent was carried out, a construction of a calibration curve to evaluate absorbance in relation to wavelength, preparation of the adsorbent and adsorption tests carried out following the factorial design. In the results, the experimental variables were significant, reaching an adsorption of 4.411 mg of dye per gram of dry adsorbent. When exploring the effects of adsorbent mass, solution concentration and contact time through the experimental design approach, it was observed that all independent variables were statistically significant for both the amount adsorbed and the percentage of removal. In contrast, the adsorbent mass variable revealed a negative impact on the amount of dye adsorbed, corroborating the inverse relationship between mass and adsorption. Contact time, in turn, demonstrated a positive effect, indicating that an increase in the interaction time between the liquid and solid phases results in a greater amount of adsorbed dye. The results obtained in the analyzes indicate that the orange mesocarp is capable of efficiently adsorbing the methylene blue dye, demonstrating its potential as a viable and sustainable alternative for the removal of dyes from industrial effluents, reaching a removal of 81.52% in 20 min. At the end of the study, it was observed that the use of this natural adsorbent proved to be satisfactory based on the data obtained, corroborating with methylene blue removal data available in the literature.

Keywords: textile effluent; dye; adsorption; orange skin.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição do efluente sintético.....	19
Tabela 2: Parâmetros experimentais para os ensaios.....	21
Tabela 3: Matriz do planejamento fatorial 2^3 com três repetições no ponto central.....	21
Tabela 4: Padrões da curva de calibração e suas respectivas leituras.....	24
Tabela 5: Planejamento fatorial 2^3 com dados de corante adsorvido (Q_t) e remoção (Rem).....	26
Tabela 6: Efeitos das variáveis independentes no corante adsorvido.....	27
Tabela 7: Efeitos das variáveis independentes na remoção (%).....	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura química do azul de metileno.....	14
Figura 2: Representação do processo de adsorção.....	15
Figura 3: Representação da laranja, com suas camadas e componentes internos.....	16
Figura 4: Representação de como foi cortada a laranja.....	18
Figura 5: Mesocarpo de laranja seca pós trituração e pós peneiramento, respectivamente.....	19
Figura 6: Algumas amostras durante o processo de agitação mecânica.....	22
Figura 7: Absorbância em função do comprimento de onda.....	24
Figura 8: Absorbância em função da concentração.....	25
Figura 9: Diagrama de Pareto dos efeitos padronizados para corante adsorvido (Q_t).....	26
Figura 10: Curvas de contorno, Concentração X Massa para corante removido (Q_t) $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$..	28
Figura 11: Diagrama de Pareto dos efeitos na remoção (%)......	29
Figura 12: Curvas de contorno, Concentração X Massa para remoção (%)......	30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 OBJETIVOS.....	11
2.1 Objetivos gerais.....	11
2.2 Objetivos específicos.....	11
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
3.1 Efluentes têxteis.....	12
3.2 Corantes Têxteis.....	13
3.2.1 Azul de metileno.....	13
3.3 Adsorção.....	14
3.4 A Laranja.....	16
4 METODOLOGIA.....	18
4.1 Preparação do adsorvente.....	18
4.2 Efluente sintético.....	19
4.3 Avaliação da remoção do corante.....	20
4.3.1 Varredura.....	20
4.3.2 Curva de Calibração.....	20
4.4 Planejamento experimental.....	21
4.5 Ensaio de adsorção.....	21
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	24
5.1 Análise de varredura ($\lambda_{\text{máx}}$).....	24
5.2 Curva de calibração.....	24
5.3 Ensaio de adsorção.....	25
5.3.1 Avaliação da quantidade de corante adsorvida.....	26
5.3.2 Avaliação da remoção de corante – Rem (%).....	29
6 CONCLUSÃO.....	31
REFERENCIAS.....	32
APÊNDICES.....	35
APÊNDICE A – Análise de Variância para corante removido (Qt).....	35
APÊNDICE B – Análise de Variância para a remoção (%).....	36

1 INTRODUÇÃO

O Brasil enfrenta desafios significativos em relação à disponibilidade de recursos hídricos. Embora seja um país com um imenso potencial hídrico devido à sua extensa rede de rios e aquíferos, existem várias questões relacionadas à gestão e distribuição da água que afetam a disponibilidade desse recurso vital.

Nas últimas décadas, testemunha-se um crescimento exponencial da população e da industrialização, resultando em situações de escassez de água em regiões densamente povoadas. O crescimento populacional está estreitamente vinculado ao crescimento da industrialização, e essa interconexão muitas vezes contribui significativamente para a poluição da água. O aumento da população impulsiona a demanda por bens de consumo, alimentos e serviços, alimentando o crescimento das indústrias para atender a essas necessidades. Contudo, o processo industrial, muitas vezes, envolve o uso intensivo de produtos químicos e geração de resíduos que podem contaminar as fontes de água.

À medida que as atividades industriais se expandem para atender à demanda crescente, a quantidade de poluentes liberados nos corpos d'água aumenta consideravelmente e, uma destas atividades é a indústria têxtil, que é uma resposta à necessidade humana de vestuário e utilizações diversas, incluindo decoração, setor hospitalar, militar, entre outros (Fujita; Jorente, 2015).

Nesse cenário, o Brasil abriga um robusto setor têxtil que desempenha um papel significativo na economia nacional. No entanto, há uma lacuna notável em termos de responsabilidade ambiental em relação aos resíduos gerados por esse setor. Apesar de proporcionar benefícios econômicos substanciais, o setor industrial têxtil destaca-se como um dos maiores consumidores de água em comparação com outros segmentos industriais onde o maior consumo ocorre principalmente nas fases de tinturaria e acabamento, resultando em aproximadamente 50 a 100 L de efluente por quilo de tecido produzido. Do ponto de vista ambiental, a etapa de tingimento é particularmente preocupante devido à diversidade e complexidade dos produtos químicos utilizados no processo. Estima-se que praticamente toda a carga orgânica de corantes lançada no meio ambiente provém dos efluentes industriais têxteis (Revankar; Lele, 2007 *apud* Almeida, Dilarri; Corso, 2016).

A poluição causada por esses efluentes têxteis comprometem não só a qualidade da água como limita sua disponibilidade para consumo humano, além de prejudicar os ecossistemas aquáticos.

A dificuldade de remoção de corantes de efluentes têxteis é um desafio significativo devido à complexidade e diversidade dessas substâncias. Os corantes utilizados na indústria têxtil são frequentemente compostos orgânicos complexos e altamente pigmentados, projetados para aderir de forma duradoura aos tecidos. Essa característica de aderência torna os corantes persistentes e resistentes à degradação, dificultando sua remoção durante os processos convencionais de tratamento de águas residuais.

Além da dificuldade de remoção, os corantes têxteis podem ser tóxicos. Muitos corantes contêm produtos químicos que podem apresentar riscos à saúde humana e ambiental. Alguns corantes são classificados como substâncias químicas perigosas devido à presença de compostos orgânicos voláteis, metais pesados e outros agentes tóxicos. A liberação desses corantes tóxicos nos corpos d'água pode causar danos aos ecossistemas aquáticos, afetar a qualidade da água e representar riscos para a saúde humana, especialmente quando a água contaminada é utilizada para consumo ou irrigação.

Diante da problemática da escassez de água no mundo, causada pela distribuição desigual e uso inadequado, sistemas de despoluição dos recursos hídricos são empregados com o intuito de mitigar essa questão. Torna-se evidente a importância de uma legislação ambiental sólida e de uma gestão eficiente e ativa em relação a esses recursos (Carvalho, 2013).

Os métodos tradicionais de tratamento de águas residuais possuem algumas limitações, tais como a remoção insuficiente de poluentes orgânicos persistentes, a necessidade de grandes áreas para instalação e os altos custos de implementação e operação. Como possibilidade, têm sido aplicados processos alternativos para o tratamento de águas residuais, como a adsorção, devido à sua versatilidade e à possibilidade de utilizar materiais de origem natural, como bioadsorventes. Resíduos agrícolas, como cascas de frutas, cascas de arroz, restos de colheita e materiais lignocelulósicos, podem ser transformados em bioadsorventes. Esses materiais possuem propriedades que favorecem a adsorção de poluentes presentes na água, incluindo metais pesados e compostos orgânicos.

O aproveitamento de resíduos agrícolas para a despoluição de água representa uma integração eficaz entre a agricultura e a gestão ambiental, contribuindo para a preservação dos recursos hídricos. Esses métodos oferecem vantagens, como maior eficiência na remoção de poluentes e a utilização de recursos mais acessíveis e sustentáveis (Ribas; Silva, 2022).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Utilizar o mesocarpo de laranja como adsorvente natural no processo de adsorção para remover corantes presentes em efluentes têxteis.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar o preparo do material adsorvente secagem natural ao ar livre do mesocarpo (casca) de laranja, fazendo uso da energia solar;
- Realizar análise de varredura do comprimento de onda de máxima absorbância ($\lambda_{\text{máx}}$) do efluente sintético;
- Realizar a construção da curva de calibração (Concentração x Absorbância) do efluente sintético para avaliação da remoção do corante;
- Avaliar a eficiência de adsorção do material por meio da abordagem de planejamento experimental, fazendo uma análise dos impactos da massa do adsorvente, da concentração da solução e do tempo de contato na quantidade de corante adsorvido e na porcentagem de remoção do corante da solução aquosa.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Efluentes têxteis

O desenvolvimento da sociedade humana bem como as indústrias que abastecem suas necessidades se deu ao longo de cursos d'água através da história, tanto para abastecimento quanto também para a ser um receptor de resíduos gerados (Sawyer *et al.*, 2004; Giordano, 2004; *apud* Santos, 2015). Com o crescimento populacional das últimas décadas a demanda por recursos para suprir a necessidade da população também cresce e com isso a geração de resíduos, tanto da população quanto das indústrias que a abastece. Para Conceição *et al.* (2020) “existe uma forte correlação entre o crescimento populacional e o de resíduos sólidos”, e o mesmo ocorre com a água, com foi apontado pela ANA (2019) o consumo de água no Brasil poderá crescer 24% até o ano de 2030 onde segundo dados do IBGE entre 2019 e 2030 a população nesse período crescerá cerca de 7%.

A indústria têxtil tem papel fundamental neste alto consumo, onde segundo a ABIT (Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção) houve um crescimento de cerca de 13% na produção têxtil do Brasil em 2021, saindo de 1,91 milhão de toneladas em 2020 para 2,16 milhões de toneladas em 2021.

Simultaneamente, conforme destacado por Pajootan *et al.* (2012, *apud* Nunes, 2019), o efluente proveniente da indústria têxtil emerge como um dos agentes mais nocivos para o meio ambiente, devido à intensa coloração, presença significativa de sólidos suspensos, flutuações pronunciadas no pH, exigência elevada de oxigênio e elevada toxicidade. Essa toxicidade se dá também devido à presença de metais pesados. Os metais pesados são predominantemente originários de corantes e desempenham um papel crucial na coloração resultante dos tingimentos. Em geral, os corantes dispersos possuem concentrações mais elevadas de metais em comparação com os reativos e diretos. No entanto, essas concentrações dependem da tonalidade (Beltrame, 2000).

Segundo Almeida, Dilarri e Corso (2016) não existe um método abrangente para lidar com efluentes de alto teor de coloração. Embora haja diversas abordagens de tratamento, nenhuma delas é completamente eficaz, e algumas requerem a combinação de diferentes técnicas para alcançar eficiência, tornando frequentemente impraticável devido aos custos elevados envolvidos. Desta forma os estudos vigentes se concentram em alternativas mais viáveis, aumentando a eficiência das tecnologias conhecidas tornando-os mais sustentáveis.

Assim, se apresenta a necessidade de se caracterizar o tipo de efluente a ser tratado para que haja uma maior eficiência, sendo assim possível o descarte apropriado ou até mesmo o reúso deste efluente para outros fins.

3.2 Corantes Têxteis

A presença de coloração nos efluentes resulta de procedimentos realizados durante o tingimento das fibras têxteis. Nesse processo, os corantes que não conseguem aderir efetivamente às fibras acabam sendo liberados nas águas, resultando no depósito de resíduos originados nas operações das indústrias têxteis. A composição química dos corantes é derivada de dois grupos principais: o cromóforo, responsável pela cor, e o solubilizante, que pode conferir solubilidade permanente ou temporária. Esses grupos funcionais dos corantes desempenham papéis fundamentais nesse contexto (Romoaldo *et al.*, 2010).

A categorização dos corantes é geralmente determinada pela sua habilidade em aderir à fibra e pela sua estrutura química, sendo divididos em diversas classes, tais como: corantes ácidos, azoicos ou naftóis, básicos, diretos ou substantivos, dispersos, mordentes, reativos, sulfurosos, a tina ou a cuba, enxofre, pré-metalizados, branqueadores, entre outros (Zanoni; Yamanaka, 2016).

Dentro dessas categorias, a classe azo destaca-se como a mais significativa entre os corantes sintéticos amplamente utilizados para colorir uma variedade de produtos de consumo, como alimentos, cosméticos, tecidos, entre outros. Essa classe representa mais de 65% dos corantes comerciais disponíveis no mercado (Zanoni; Yamanaka, 2016).

3.2.1 Azul de metileno

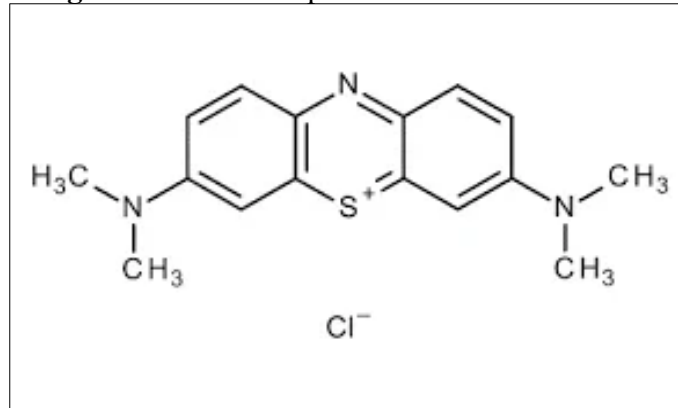
O azul de metileno é um corante aromático de caráter pouco tóxico da família das fenotiazinas, do qual apresenta características físico-químicas bem peculiares, como a capacidade de autoagregação no tratamento. (Oliveira *et al.* 2019)

O azul de metileno Foi sintetizado em 1876 por Heinrich Caro e pouco tempo depois foi percebido sua capacidade de coloração e inativação e microrganismos, sendo assim o primeiro composto a ser utilizado como antisséptico. (Scotti *et al.* 2006) Em 1890, após avanços nos estudos deste composto foi introduzida sua aplicabilidade como analgésico e em seguida, em 1891, foi comprovada sua eficácia no tratamento contra a malária.

Em termos químicos o azul de metileno é um corante aromático heterocíclico solúvel em água ou em álcool, é pouco tóxico e possui intensa absorção a luz visível ultravioleta na

faixa de comprimento de onda ($\lambda_{\text{máx}}$) de 664nm em meio aquoso (Lima *et al.*, 2007) e que apresenta a seguinte estrutura molecular, como apresentado na Figura 1.

Figura 1: Estrutura química do azul de metileno



Fonte: Merk Chemicals (2011) *apud* Tessaro (2015)

Segundo Tessaro (2015), o azul de metileno é o corante mais usado em testes de adsorção porque serve como um composto modelo para o estudo da remoção de contaminantes orgânicos e corantes em solução aquosa. Além disso, possui uma ampla gama de usabilidade na indústria têxtil, para tingimento de roupas, e também para a produção de papel, nylons e tingimento de cabelos (Ghedin, 2022), na indústria farmacêutica, como a redução do envelhecimento precoce e auxílio ao tratamento do Alzheimer (Oliveira *et al.* 2019), o que o torna um composto amplamente utilizado em diversos momentos do dia a dia da sociedade.

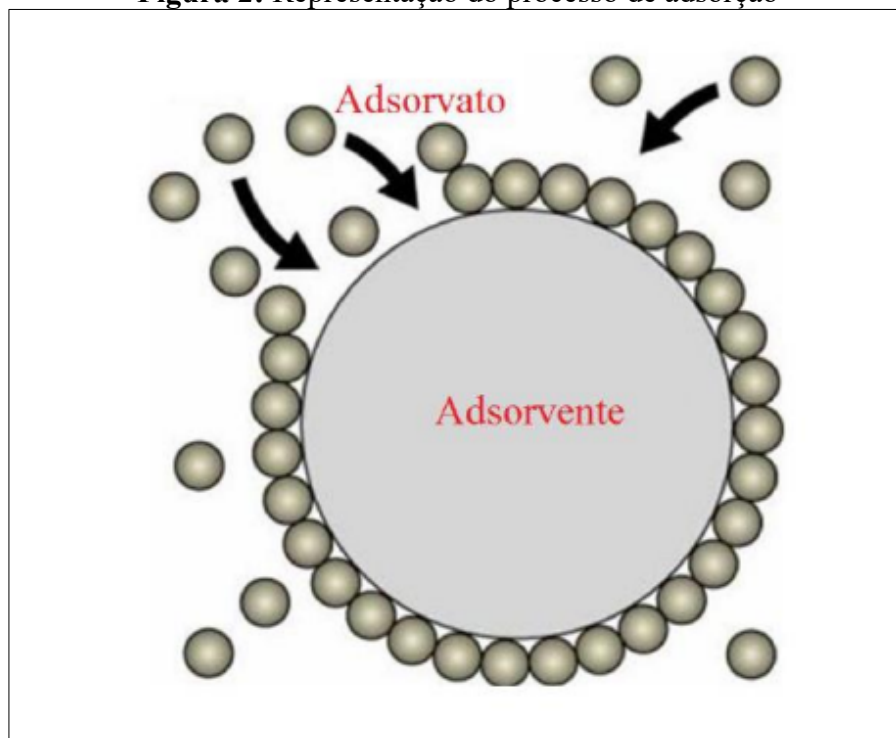
3.3 Adsorção

De acordo com Nascimento *et al.* (2014), a adsorção é caracterizada como um procedimento de transferência de massa que explora a habilidade de determinados sólidos em atrair e concentrar substâncias presentes em fluidos líquidos ou gasosos em suas superfícies. Esse processo torna possível a separação dos componentes desses fluidos.

A separação por adsorção possui três mecanismos envolvidos, o mecanismo estérico, os mecanismos de equilíbrio e os mecanismos cinéticos. No mecanismo estérico a porosidade do material adsorvente possui características e dimensões específicas, possibilitando que certos materiais possam penetrar nos poros e outros não. Nos mecanismos de equilíbrio, alguns sólidos têm maior preferência em adsorver algumas espécies do que outras. E o mecanismo cinético se baseia nas diversas difusividades de diversas espécies nos poros do adsorvente. (Nascimento *et al.* 2014)

Devido às diversas forças de interação envolvidas no processo de adsorção, é comum categorizá-lo em dois tipos principais: adsorção física (ou fisissorção) e adsorção química (ou quimissorção). Na fisissorção, o adsorvato se une à superfície do adsorvente por meio de interações mais fracas, como as forças de Van der Waals. Nesse caso, o processo de adsorção pode ser revertido se essas interações forem rompidas. Por outro lado, na quimissorção, o adsorvato interage quimicamente com a superfície do adsorvente, envolvendo a troca ou compartilhamento de elétrons. Isso resulta em uma ligação química muito mais forte do que na fisissorção (Lima, 2019).

Figura 2: Representação do processo de adsorção



Fonte: Carvalho, 2020.

No âmbito do processo de adsorção alguns fatores podem influenciar a eficiência da remoção da espécie como: a concentração inicial da espécie, a velocidade de agitação, devido à redução da resistência da camada periférica ao redor da partícula do adsorvente (McKay, G.; Otterburn; Sweeney; *apud* Silva, 2005) o tempo de contato, o pH e a área superficial do adsorvente, onde quanto maior a área de contato mais partículas de adsorvato poderão se ligar a superfície do adsorvente.

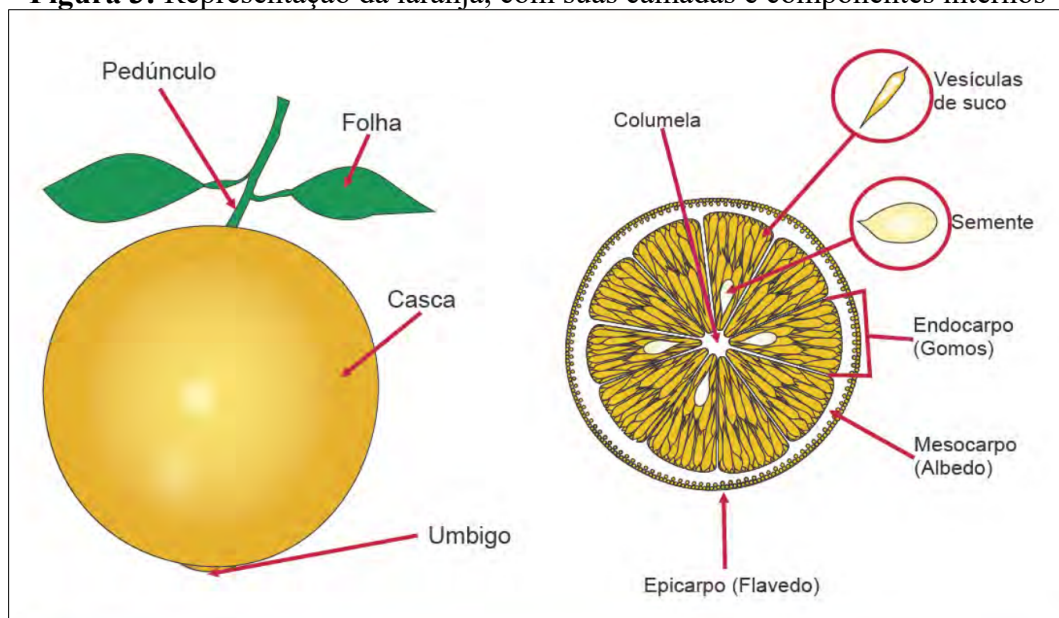
3.4 A Laranja

A laranja é o fruto de diversas espécies cítricas pertencentes à família *Rutaceae*, sendo principalmente associada à *Citrus sinensis*. Essa variedade é comumente chamada de laranja-doce, diferenciando-se assim da *Citrus aurantium*, conhecida como laranja-azedada. A origem da laranja remonta a uma área que inclui o sul da China, o nordeste da Índia e Myanmar. A primeira referência à laranja doce data de 314 a.C., encontrada na literatura chinesa. Em 1987, as laranjeiras foram reconhecidas como as árvores frutíferas mais cultivadas globalmente (Morton, 1987). Essas árvores são extensivamente plantadas em climas tropicais e subtropicais devido aos seus frutos adocicados.

A laranjeira produz um fruto que pode ser consumido fresco ou processado para obtenção de suco ou casca aromatizados. Em 2012, a produção de citros foi dominada pela laranja doce, contribuindo com cerca de 70% do total (Morton, 1987). E em 2019 segundo dados da FAO – *Food and Agriculture Organization of United Nations*, foram cultivados 79 milhões de toneladas de laranja, sendo o Brasil o maior produtor, responsável por 22% do total.

Na Figura 3 temos representado um esquema que mostra a estrutura de uma laranja, a nomenclatura de suas camadas e a disposição de seus componentes internos.

Figura 3: Representação da laranja, com suas camadas e componentes internos



Fonte: CEAGESP, 2011.

A área mais proeminente na produção do país é o cinturão citrícola situado em São Paulo e no sudoeste de Minas Gerais. Essa região abrange 349 municípios, os quais contribuem com 80% da produção nacional e sustentam cerca de 200 mil postos de trabalho

diretos e indiretos. Essas informações são baseadas nos dados do Cadastro Geral de Empregados e Desempregados (Caged).

A laranja tem sido objeto de estudo em diversas linhas de pesquisa no que se refere a tratamento de efluentes têxteis no Brasil, principalmente como adsorvente natural para remoção de metais pesados como Zinco, Cadmio, Alumínio, Cobre, Chumbo, Níquel e Cromo (Santos, 2015; Souza *et al.*, 2015; Silva, 2017) apresentando elevada eficiência de remoção destes contaminantes. Também é utilizado com frequência na avaliação da remoção de corantes têxteis como o *Direct Blue 86*, Tupy 16 bordô, entre outros (Formica; Brudzinski, 2015; Souza; Souza; Almeida; Nascimento, 2018). A eficiência adsortiva da laranja é constantemente comparada a outros bioadsorventes como casca de abacaxi, de coco, bagaço de cana-de-açúcar, bambu, pele prata de café, mandioca, acácia-branca(moringa), etc. (Antunes *et al.*, 2018; Calciolari; Lopes; Roledo; Reis; Goetz, 2022), esses bioadsorventes dentre outros nos mostra a diversidade de possibilidades para a remoção de contaminantes de efluentes.

4 METODOLOGIA

É uma investigação experimental que emprega uma abordagem quantitativa, na qual os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Pesquisa em Ciências Ambientais – LAPECA, que faz parte do Centro de Ciências e Tecnologia – CCT, localizado na Universidade Estadual da Paraíba, Campus I, na cidade de Campina Grande – PB. As análises foram executadas em uma escala laboratorial, utilizando os recursos e equipamentos disponíveis no referido laboratório.

4.1 Preparação do adsorvente

As laranjas do tipo “pera” foram adquiridas em uma feira localizada no bairro de José Pinheiro, na cidade de Campina Grande – PB, foram cortadas em quatro fatias, descascadas e a polpa da fruta foi consumida, sendo reservada apenas as cascas que foram lavadas com água de abastecimento e postas em uma bandeja de alumínio e esta colocada para secagem ao sol durante um período total de 48h, sendo esse período dividido em intervalos de aproximadamente 12h de luz solar diária um total de quatro dias.

Figura 4: Representação de como foi cortada a laranja



Fonte: Nascimento, 2018.

Após a secagem ao sol as cascas (mesocarpo) foram trituradas utilizando um triturador elétrico, e logo após peneirada, utilizando uma peneira comum (sem granulometria definida) para obtenção de um pó fino que se assemelha a farinha de trigo, o qual é o objeto de estudo do processo de adsorção.

Figura 5: Mesocarpo de laranja seca pós trituração e pós peneiramento, respectivamente



Fonte: Própria do autor, 2023.

4.2 Efluente sintético

O efluente sintético utilizado neste trabalho consistiu de uma solução do corante azul de metileno em meio aquoso, como foi proposto por Mo *et al.*, em 2007 (*apud* França, 2011). Para realização dos experimentos de adsorção foi preparada uma solução estoque com uma concentração de 100 mg.L^{-1} de corante, conforme as proporções descritas na Tabela 1.

Tabela 1: Composição do efluente sintético

Composição	Concentração (g/L)
Corante	0,10
Álcool polivinílico (PVA)	0,50
NaCl	0,25
Na ₂ SO ₄	0,75

Fonte: adaptado de Mo *et al.*, 2007 (*apud* França, 2011).

Foram pesadas todas as massas dos reagentes apresentados anteriormente em uma balança analítica SHIMADZU AY220, misturados em um Becker contendo água destilada e depois vertidas com auxílio de um funil a um balão volumétrico de 1L e completado com água destilada e aferido o menisco. A seguir é apresentada a imagem da balança utilizada no procedimento.

4.3 Avaliação da remoção do corante

Para a avaliação da remoção do azul de metileno utilizou-se a metodologia da espectrofotometria, que consistiu em três etapas principais: Varredura do comprimento de onda máximo ($\lambda_{\text{máx}}$) do efluente sintético, construção da curva de calibração do composto e, por fim, leitura das amostras pós processo de adsorção, para isso foi. Para a execução do processo também foi necessário a preparação de uma solução de efluente sintético “branco” que não possui o contaminante, então foi preparada uma solução como apresentada na Tabela 1 porém sem a utilização do corante, esta solução será nosso parâmetro “0” para mensurar a presença do contaminante no meio.

4.3.1 Varredura

O processo de varredura consiste em determinar o comprimento de onda onde há a maior absorbância de luz, testando os comprimentos de onda dentro de uma faixa predefinida com base no $\lambda_{\text{máx}}$ descrito por Lima *et al.* (2007), sendo essa faixa escolhida entre 600 e 700nm. Para a realização da varredura foi utilizado uma solução para estudo de 40mgL^{-1} , essa concentração foi escolhida pois não excederia o limite máximo de absorbância do equipamento (2,5) utilizado onde em uma cubeta de vidro foi colocada nosso parâmetro “0” (ou branco) e em outra a solução de efluente sintético, onde foram testados comprimentos de onda com acréscimos de 1nm até se identificar o comprimento de onda de maior absorbância ($\lambda_{\text{máx}}$).

4.3.2 Curva de Calibração

Após obter o $\lambda_{\text{máx}}$ é necessário a construção da curva de calibração, que é uma reta do tipo $y = ax + b$ cuja a absorbância é função da concentração. Para construção da curva foram preparadas, a partir da solução estoque de efluente sintético, cinco soluções padrão de concentrações 10, 20, 30, 40 e 50mgL^{-1} em balões volumétricos de 100 mL, essas concentrações foram escolhidas por estarem igualmente espaçadas e não excederem o limite de absorbância do equipamento. Então foram realizadas as medições de suas respectivas absorbâncias em duplicata e foram calculadas suas médias, as quais foram usadas para a construção da curva, onde através dos pontos obtidos é traçado uma reta de tendência dos resultados e, a partir da equação desta reta, podemos obter valores de concentração das amostras efetuando a leitura de sua absorbância, após realizado o processo de adsorção. Para

assegurar a precisão dos dados é verificado o valor do coeficiente R^2 da reta para garantir maior confiabilidade dos dados.

4.4 Planejamento experimental

A realização e análise do processo de adsorção necessita da definição dos parâmetros das variáveis experimentais massa de adsorvente, concentração de adsorvato e tempo de contato, com base na literatura foram definidos os parâmetros da Tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros experimentais para os ensaios

Variáveis	-1	0	1
Massa (g)	0,10	0,15	0,20
Concentração (mg/L)	10	25	40
Tempo (min)	10	15	20

Fonte: Própria do autor, 2023.

Para examinar o impacto das variáveis experimentais, foi construído um planejamento fatorial 2^3 com três pontos centrais, como descrito na matriz experimental apresentada na Tabela 3.

Tabela 3: Matriz do planejamento fatorial 2^3 com três repetições no ponto central

Experimento	Massa	Concentração	Tempo
1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	1	1	-1
5	-1	-1	1
6	1	-1	1
7	-1	1	1
8	1	1	1
9	0	0	0
10	0	0	0
11	0	0	0

Fonte: Própria do autor, 2023.

4.5 Ensaios de adsorção

Seguindo a matriz definida pelo planejamento fatorial 2^3 , os ensaios de adsorção foram realizados utilizando os parâmetros para as variáveis experimentais de massa, concentração e tempo de contato.

Foram preparadas três soluções de 10, 25 e 40mgL⁻¹ em balões volumétricos de 150mL onde no primeiro balão foi pipetado 15mL da solução estoque, completado com água destilada e aferido o menisco, e para os demais pipetado 37,5mL e 60mL respectivamente tendo seus meniscos aferidos.

A farinha do mesocarpo de laranja foi pesada utilizando a balança analítica em onze recipientes enumerados de acordo com as massas descritas no planejamento fatorial.

Foram preparados onze Erlenmeyer's enumerados, para os onze experimentos descritos na matriz experimental, cada um deles recebeu 25mL de solução de acordo com a concentração descrita na matriz e foram colocados na mesa agitadora, depois foram vertidas as massas de adsorvente de acordo com a numeração do experimento e acionado a mesa agitadora a uma velocidade de 150 rpm

Figura 6: Algumas amostras durante o processo de agitação mecânica



Fonte: Própria do autor, 2023.

Ao fim do processo de agitação, as amostras foram colocadas em tubos de centrifugação de fundo cônico, enumerados de acordo com os experimentos descritos na matriz e foram colocados em uma centrífuga, com velocidade de 2500 rpm durante 15 minutos, conforme instrução do orientador, para ser feita a separação do material adsorvido do efluente e após o fim processo de centrifugação as amostras foram levadas para o espectrofotômetro onde com o auxílio de uma pipeta de Pasteur foi retirado um pouco das amostras de efluente do tubo, colocadas numa cubeta de vidro e efetuadas as leituras de suas respectivas absorvâncias.

Após efetuadas as leituras foi feito uso da equação 1 para determinar a relação ente a massa de adsorvato removida e a de adsorvente utilizada e, da equação 2 para calcular a percentagem de corante removido:

$$Q_t = \frac{V * (C_i - C_f)}{M_{adsorvente}} \quad (1)$$

Em que:

- Q_t : É a relação entre a massa de corante removida pela massa de adsorvente ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$);
- V : é o volume de amostra utilizada (L);
- C_i : Concentração inicial da amostra (mgL^{-1});
- C_f : Concentração final da amostra (mgL^{-1});
- $M_{adsorvente}$: Massa do adsorvente (g).

$$Rem \% = \frac{(C_i - C_f)}{(C_i)} * (100) \quad (2)$$

Em que:

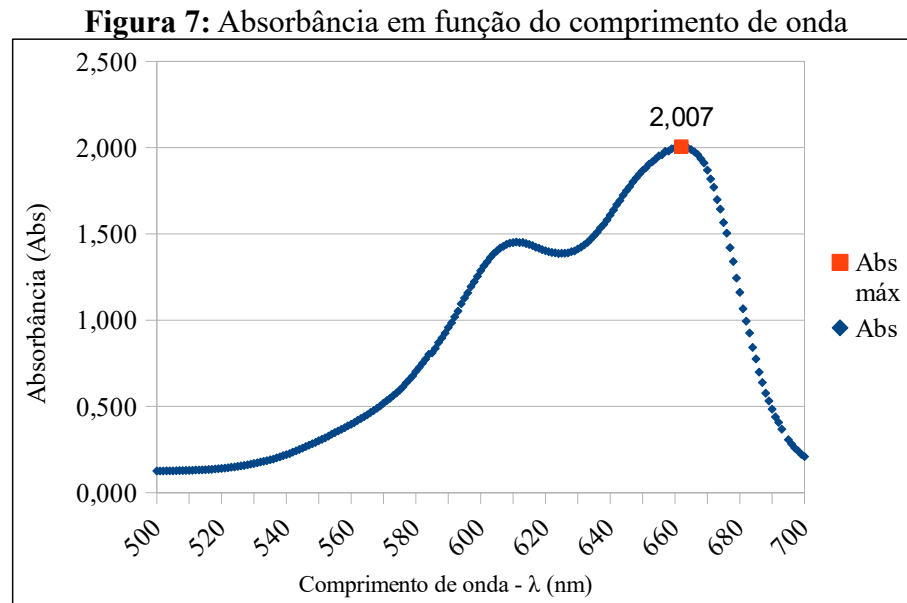
- $Rem \%$: É a porcentagem de remoção de corante (%);
- C_i : Concentração inicial da amostra (mgL^{-1});
- C_f : Concentração final da amostra (mgL^{-1}).

Para realização de um estudo aprofundado e preciso dos dados obtidos, será utilizado o software de análise estatística de dados Minitab[®] Statistical Software 21.4.2.0 (versão de avaliação).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análise de varredura ($\lambda_{\text{máx}}$)

Efetuada os processos descritos na metodologia, foram obtidos valores de absorvância em função do comprimento de onda que forma dispostos no Figura 7.



Fonte: Própria do autor, 2023.

Com isso obtemos a absorvância máxima no comprimento de onda $\lambda_{\text{máx}} = 662\text{nm}$. Esse comprimento de onda será utilizado o decorrer dos processos de espectrofotometria.

5.2 Curva de calibração.

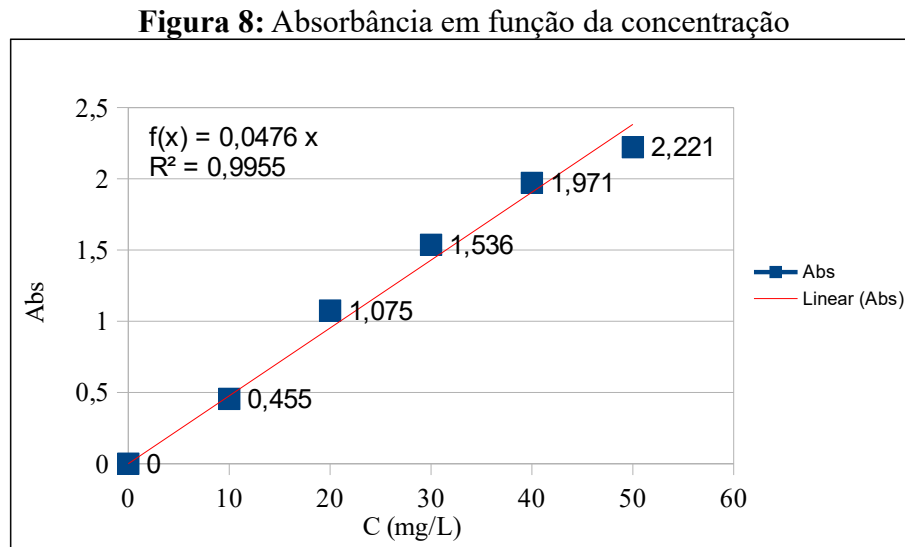
Após realizado a varredura do $\lambda_{\text{máx}}$, foram dos padrões de 10 a 50mgL^{-1} preparados conforme descrito na metodologia, obtendo os seguintes resultados dispostos na Tabela 4 e posteriormente na Figura 8.

Tabela 4: Padrões da curva de calibração e suas respectivas leituras.

C(mg/L)	Abs
0	0
10	0,455
20	1,075
30	1,536
40	1,971
50	2,221

Fonte: Própria do autor, 2023.

Com o auxílio da ferramenta de gráficos do LibreOffice Calc, dispomos os resultados da Tabela 4 num gráfico e obtivemos a reta de tendência dos pontos do tipo $y = ax + b$, reta essa que passa pelo ponto (0,0) logo, seu coeficiente linear $b = 0$.



Fonte: Própria do autor, 2023.

Como podemos observar, obtivemos a equação da reta com um coeficiente $R^2 > 0,99$ o que nos demonstra a confiabilidade das leituras obtidas.

5.3 Ensaios de adsorção

Realizados os ensaios de adsorção e o processo de centrifugação, foram efetuadas as leituras de absorbância das amostras enumeradas de 1 a 11. A partir destes dados e da equação da reta obtidos no Figura 8 pudemos determinar as concentrações de azul de metileno residuais bem como a relação da massa de adsorvato removida pela massa de adsorvente utilizada que é dado pela equação (1) e a porcentagem de remoção dada pela equação (2), que foram dispostos na Tabela 5.

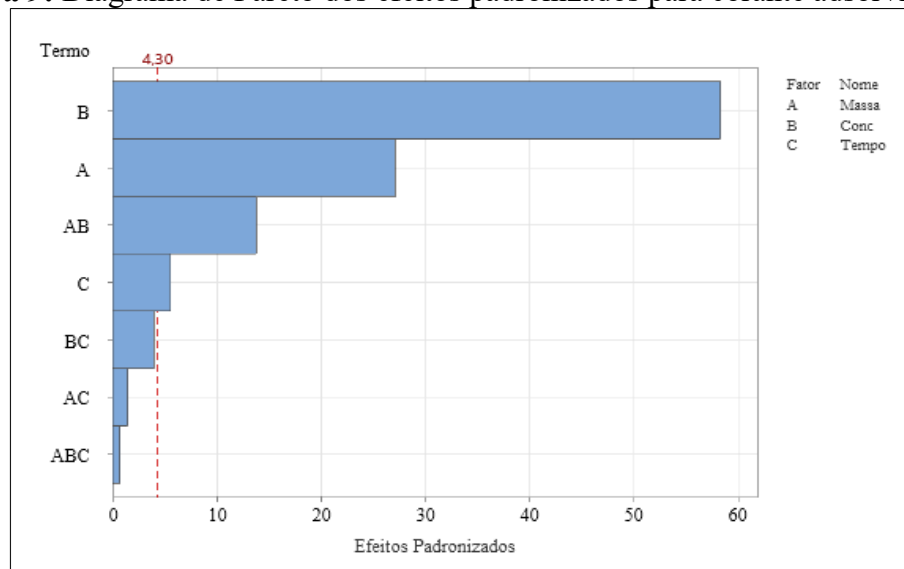
Tabela 5: Planejamento fatorial 2^3 com dados de corante adsorvido (Qt) e remoção (Rem)

Experimento	Massa	Concentração	Tempo	Qt (mg*g ⁻¹)	Rem (%)
1	-1	-1	-1	1,178	47,103
2	1	-1	-1	0,709	56,759
3	-1	1	-1	4,411	44,112
4	1	1	-1	2,72	54,398
5	-1	-1	1	1,671	66,835
6	1	-1	1	1,019	81,528
7	-1	1	1	4,511	45,109
8	1	1	1	2,757	55,132
9	0	0	0	2,141	51,385
10	0	0	0	2,204	52,897
11	0	0	0	2,26	54,24

Fonte: Própria do autor, 2023.

5.3.1 Avaliação da quantidade de corante adsorvida

Fazendo uso do software Minitab[®] verificamos qual a significância das variáveis experimentais ao processo de remoção do azul de metileno dispostos no Figura 9.

Figura 9: Diagrama de Pareto dos efeitos padronizados para corante adsorvido (Qt)

Fonte: Própria do autor, 2023.

Podemos observar que as três variáveis experimentais utilizadas no planejamento (Massa, Concentração e Tempo de contato) são estatisticamente significativas no intervalo de confiança de 95% para Q_t , onde também a interação Massa X Concentração também é significativa para ao processo. Já as interações Concentração X Tempo, Massa X Tempo e Massa X Concentração X Tempo não se mostraram significativas para o processo. Na Tabela 6 são apresentados os efeitos das variáveis experimentais em Q_t .

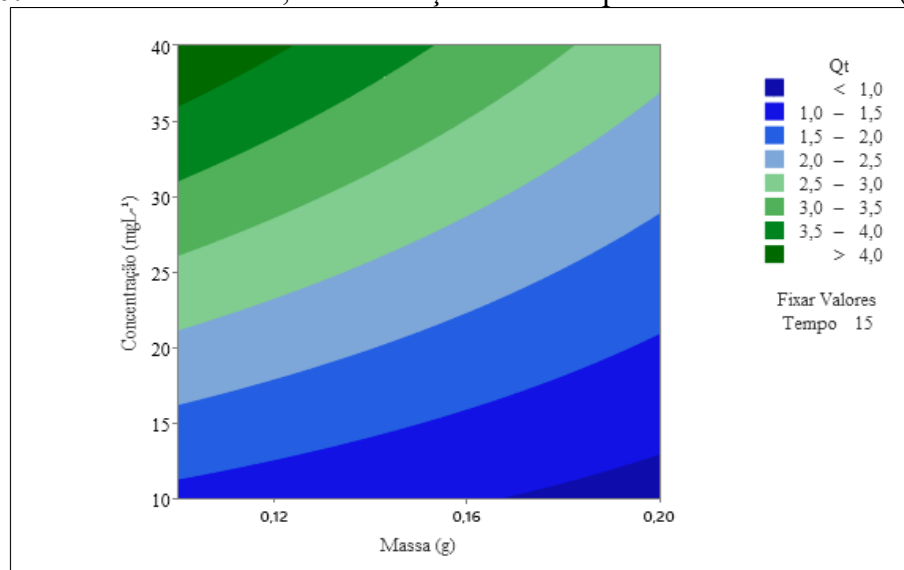
Tabela 6: Efeitos das variáveis independentes no corante adsorvido

Termo	Efeito	Coef	EP de Coef	Valor-T	Valor-P	VIF
Constante	-	2,3720	0,0210	112,69	0,000	-
Massa	-1,1415	-0,5707	0,0210	-27,12	0,001	1,00
Conc	2,4555	1,2277	0,0210	58,33	0,000	1,00
Tempo	0,2350	0,1175	0,0210	5,58	0,031	1,00

Fonte: Própria do autor, 2023.

Verificou-se que concentração inicial exerceu um impacto positivo em Q_t , indicando que, à medida que a concentração da solução aumenta, a quantidade de corante adsorvido também aumenta. Esse fenômeno ocorre devido à saturação da solução de corante, facilitando o processo de adsorção. A variável de massa, por sua vez, demonstrou um impacto negativo em Q_t . Isso sugere que, no menor nível dessa variável, a relação entre quantidade adsorvida e a massa de adsorvente foi maior. Ao aumentar a massa de 0,1 g para 0,2 g, observou-se uma redução de até 39,75% na quantidade de corante adsorvido por grama de adsorvente. Em outras palavras, houve um subaproveitamento do material adsorvente, tendo em vista que Q_t é expresso em termos de mg de corante por g de adsorvente conforme comportamento ilustrado na Figura 10.

Figura 10: Curvas de contorno, Concentração X Massa para corante removido (Q_t) $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$



Fonte: Própria do autor, 2023.

O tempo de contato também exibiu um impacto positivo, indicando que à medida que o tempo de interação entre a fase líquida e a fase sólida é aumentado, a quantidade adsorvida também aumenta.

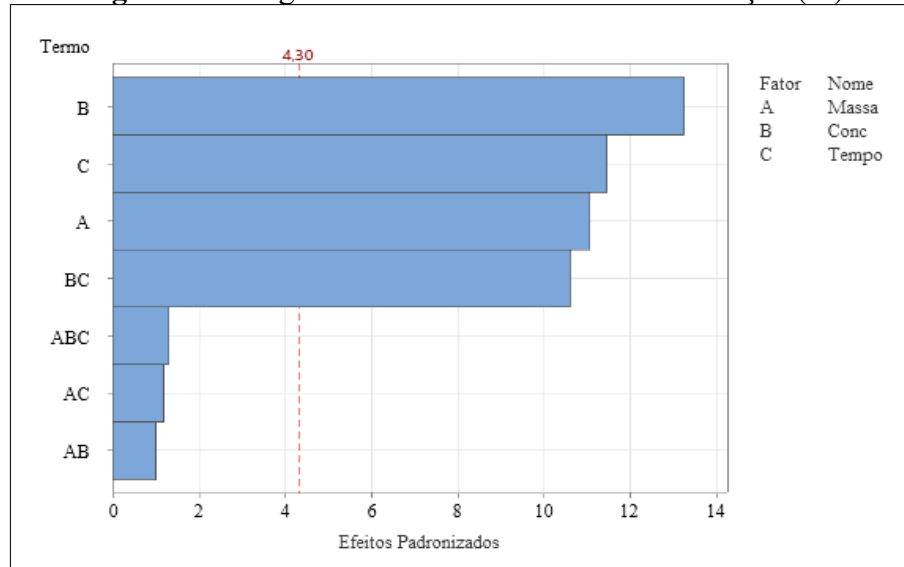
Ao compararmos os dados obtidos com os trabalhos de Antunes *et al.* (2018), que trabalharam com a casca de abacaxi para a remoção de azul de metileno e, o trabalho de Lopes, Roledo e Reis (2022), que utilizaram o bambu para remoção do mesmo corante, percebemos a semelhança entre o comportamentos, em que a concentração inicial de corante e o tempo tiveram impacto positivo em Q_t , onde também a massa de adsorvente teve impacto negativo, o que corrobora com os efeitos que as variáveis experimentais exercem sobre Q_t .

O Apêndice A exibe as análises de variância e os coeficientes de determinação associados ao planejamento fatorial para ambas as variáveis de resposta em avaliação. Evidencia-se que os modelos se adaptaram de forma satisfatória aos dados experimentais, apresentando coeficientes de determinação altamente significativos. Em resumo, mais de 99% das variações podem ser explicadas pelo modelo estabelecido. Observa-se também que o modelo é estatisticamente significativo e preditivo conforme a relação entre F_{tab} e F_{calc} ser maior que 10.

5.3.2 Avaliação da remoção de corante – Rem (%)

Análogo a análise feita pra Q_t será feita a análise para a porcentagem de remoção do corante conforme os dados de significância dispostos no Figura 11.

Figura 11: Diagrama de Pareto dos efeitos na remoção (%)



Fonte: Própria do autor, 2023.

Podemos observar que as três variáveis experimentais utilizadas no planejamento (Massa, Concentração e Tempo de contato) são estatisticamente significativas no intervalo de confiança de 95% para a remoção, além de que a interação Concentração X Tempo também é significativa para o processo. Já as interações Massa X Concentração, Massa X Tempo e Massa X Concentração X Tempo não se mostraram significativas para o processo. Na Tabela 7 são apresentados os efeitos das variáveis experimentais na remoção.

Tabela 7: Efeitos das variáveis independentes na remoção (%)

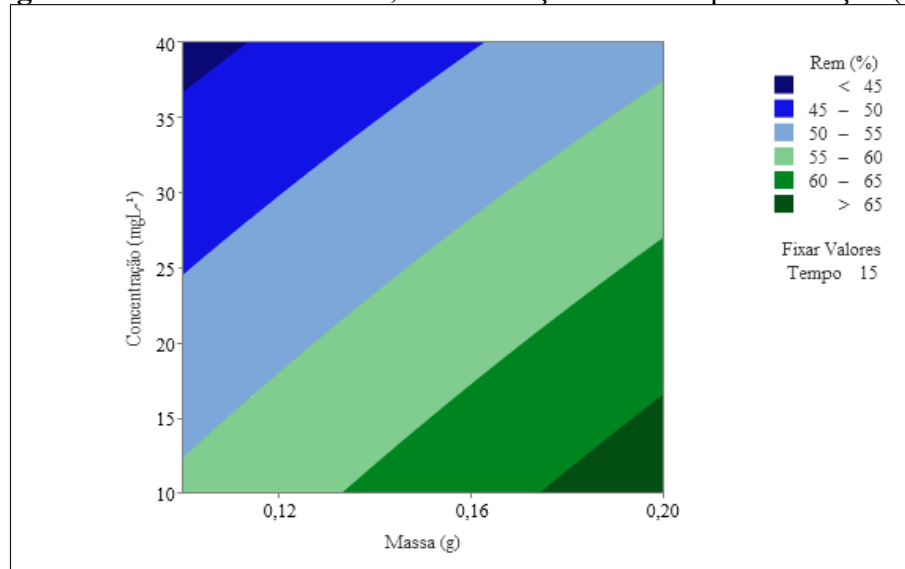
Termo	Efeito	Coef	EP de Coef	Valor-T	Valor-P	VIF
Constante	-	56,372	0,505	111,63	0,000	-
Massa	11,165	5,582	0,505	11,05	0,008	1,00
Conc	-13,368	-6,684	0,505	-13,24	0,006	1,00
Tempo	11,558	5,779	0,505	11,44	0,008	1,00

Fonte: Própria do autor, 2023.

Verificou-se que concentração inicial exerceu um impacto negativo na remoção, indicando que, à medida que a concentração da solução aumenta, a porcentagem de remoção é reduzida. Esse fenômeno pode ocorrer devido à saturação da superfície do adsorvente, onde não é possível ser efetuadas mais ligações com o corante. A variável de massa, por sua vez,

demonstrou um impacto positivo na remoção. Isso sugere que, no maior nível dessa variável, a remoção foi maior. Ao aumentar a massa de 0,1 g para 0,2 g, observou-se um aumento de até 14,70% na quantidade de corante removido, atingindo no experimento 6 do planejamento fatorial uma remoção máxima de 81,52%. Esses impactos foram ilustrados na Figura 12.

Figura 12: Curvas de contorno, Concentração X Massa para remoção (%)



Fonte: Própria do autor, 2023.

Comparando esses dados com os de Antunes *et al.* (2018) e de Lopes, Roledo e Reis (2022) podemos perceber uma semelhança entre o comportamento da remoção nos dois trabalhos, onde para maiores valores de massa de adsorvente e tempo há uma maior porcentagem de remoção e, para o aumento da concentração inicial, há uma redução da porcentagem de remoção, o que corrobora com os efeitos que as variáveis experimentais exercem sobre a remoção.

Finalmente, o apêndice B apresenta as análises de variância e os coeficientes de determinação relacionados ao planejamento fatorial para ambas as variáveis de resposta avaliadas na remoção. Os modelos adaptaram-se de forma satisfatória aos dados experimentais, com coeficientes de determinação altamente significativos. Em resumo, mais de 98% das variações podem ser explicadas pelo modelo estabelecido, indicando que o modelo é estatisticamente significativo, sendo $F_{\text{tab}}/F_{\text{calc}}$ maior que 1.

6 CONCLUSÃO

Com base nos objetivos propostos, os resultados obtidos fornecem percepções valiosas sobre a eficácia da secagem natural ao ar livre do mesocarpo de laranja, utilizando a energia solar como fonte. Observou-se que a utilização deste adsorvente natural se mostrou satisfatória com base nos dados obtidos.

Ao analisar os dados da varredura encontramos valor de comprimento de onda bem próximo informado na literatura para o azul de metileno, Já na curva de calibração os dados se mostraram confiáveis para o prosseguimento do trabalho.

Ao explorar os efeitos das variáveis experimentais por meio da abordagem de planejamento experimental, foi observado que todas as variáveis independentes foram estatisticamente significativas tanto para Q_t (quantidade adsorvida) quanto para a porcentagem de remoção. Em contraste, a variável de massa do adsorvente revelou um impacto negativo na quantidade de corante adsorvido, corroborando com a relação inversa entre a massa e a adsorção. O tempo de contato, por sua vez, demonstrou um efeito positivo, tanto para Q_t quanto para a $Rem(\%)$. Esses dados se comportam de maneira semelhante aos apontados por Antunes *et al.* (2018) e Lopes, Roledo e Reis (2022) em seus respectivos trabalhos.

Por fim podemos concluir que o mesocarpo da laranja é um potencial adsorvente alternativo natural na remoção de azul de metileno de efluentes, demonstrando seu potencial como uma alternativa viável e sustentável para a remoção de corantes em meio aquoso, podendo chegar a uma remoção de 80% em 20 min. Esse bioadsorvente pode ser utilizado em futuras aplicações para o tratamento de efluentes têxteis de indústrias de pequeno porte e com o avanço tecnológico, poderá ser expandido seu uso para indústrias de médio e grande porte que possuem grandes volumes de efluentes com alto teor de coloração.

REFERENCIAS

SPERLING, M. V. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. p.11 **Ed. UFMG**, 1996.

SODRÉ, F. F. Fontes Difusas de Poluição da Água: Características e métodos de controle. **Artigos temáticos do AQQUA**, 2012.

RIBAS, F. B. T.; SILVA, W. L. Biossorção: uma revisão sobre métodos alternativos promissores no tratamento de águas residuais. **Revista Matéria, Volume 27, N° 2**, 2002.

CARVALHO, P. C. T. Despoluição de recursos hídricos, o caso da baía da Guanabara. **Faculdade de Engenharia da UFJF. Juiz de Fora – MG**, 2013.

FRANÇA, A. A. C. Processos oxidativos avançados no tratamento de efluente da indústria têxtil. **Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC. Universidade Federal do Piauí – UFPI, Teresina**, 2011.

SCOTTI, R. *et al.* Azul de metileno imobilizado na celulose/TiO₂ e SiO₂/TiO₂: propriedades eletroquímicas e planejamento fatorial. **Química Nova**, v. 29, n. 2, p. 208–212, abr. 2006.

OLIVEIRA, F. C. S. *et al.* / Braz. J. Surg. Clin. Res. Azul de metileno para fins terapêuticos. **Brazilian Journal of Surgery and Clinical Research – BJSCR**. V.27,n.2,pp.66-70 (Jun – Ago 2019).

TESSARO, M. Estudo da remoção do azul de metileno utilizando bagaço de malte como biossorvente. p.11. **Trabalho de conclusão de curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo**, 2015.

LIMA, A. *et al.* Efeito do solvente sobre as propriedades espectroscópicas do azul de metileno. **XI Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação. Universidade do Vale do Paraíba – Univap**, 2007.

CONCEIÇÃO M. M. M. *et al.* Crescimento populacional e geração de resíduos sólidos: o caso da região norte. **Brazilian Journal of Development, Curitiba**, v. 6, n. 2, p. 7936-7947, 2020.

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, 2016.

Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil – **Agência Nacional de Águas. - Brasília: ANA**, 2019.

MORTON, J. Orange.. In: Fruits of warm climates. Julia F. Morton, p. 134–142. Miami-FL, 1987.

FAOSTAT. - Crops and livestock products. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/>>. FAO - Food and Agriculture Organization of United Nations. Data de acesso: 23 out. 2023.

A história da laranja no Brasil. Disponível em: <<https://summitagro.estadao.com.br/historia-da-laranja/>>. Data de acesso: 23 out. 2023.

NASCIMENTO, R. F. *et al.* ADSORÇÃO: aspectos teóricos e aplicações ambientais. **Imprensa Universitária. Universidade Federal do Ceará (UFC). Fortaleza, 2014.**

SANTOS, C. M. Uso de cascas de laranja como adsorvente de contaminantes no tratamento de água. **Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Campus Experimental de Sorocaba, Sorocaba, 2015.**

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Portal cidades. Projeção população para 2019. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/53/49645?ano=2019>>. Acesso em: 23 out. 2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Portal cidades. Projeção população para 2030. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/53/49645?ano=2030>>. Acesso em: 23 out. 2023.

SILVA, A. T. Influência da temperatura na adsorção do corante azul de metileno utilizando serragem de *Pinus elliottii* como um adsorvente alternativo: um modelo para o tratamento de efluentes têxteis. **Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal De Santa Catarina. Florianópolis – SC, 2005.**

CAVALCANTI, A. M., & SANTOS, G. F. A indústria têxtil no Brasil: uma análise da importância da competitividade frente ao contexto mundial. **Exacta. 20(3), 706-726. Jul./Set, 2022.**

FUJITA, R. M. L.; JORENTE, M. J. A Indústria Têxtil no Brasil: uma perspectiva histórica e cultural. **Revista ModaPalavra e-Periódico vol.8, n.15, jan./jul. 2015.**

Abit - Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção. Perfil do setor. Disponível em: <<https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>>. Acesso em: 23 nov. 2023.

Confederação Nacional da Indústria. O setor têxtil e de confecção e os desafios da sustentabilidade. **Confederação Nacional da Indústria, Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção – Brasília: CNI, 2017.**

NUNES, G. R. Geração e tratamento de efluentes da indústria têxtil. **Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.**

ROMOALDO, B. P *et al.* Corantes têxteis: O descarte inadequado e os impactos ambientais. E-book. Disponível em: <<https://vest.saocamilo-es.br/midias/documentos/ebooks/livros/brunela-fagner-e-robertapdf>>. 2010. Acesso em: 26 nov. 2023.

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

LIMA, C. Adsorção: Processo em que moléculas são retidas na superfície de uma substância. **Educa mais Brasil.** Disponível em: <<https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/quimica/adsorcao>>. 2019. Acesso em: 26 nov. 2023.

CARVALHO, L. T. Operações unitárias III – Adsorção. **UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO Escola de Engenharia de Lorena – EEL.** Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7423746/mod_resource/content/1/Adsor%C3%A7%C3%A3o.pdf> Acesso em: 26 nov. 2023.

SOUZA, W. D. M *et al.* Potencial da casca da laranja como bioadsorvente alternativo para remoção de metais pesados em águas residuais. **5º Encontro Regional de Química & 4º Encontro Nacional de Química. Mossoró – RN, 2015.**

SILVA, R. Aplicação do bagaço de cana e casca da laranja para remoção de Cromo(III) da água produzida. **5ª Semana de Pesquisa do Centro Universitário Tiradentes. Maceió – AL, 2017**

SOUZA E. S.; SOUZA, E. S.; ALMEIDA M. M. Utilização da farinha da casca de laranja como bioadsorvente em efluentes têxteis. **III Conapesc. Campina Grande – PB, 2018.**

FORMICA, B. C.; BRUDZINSKI, P. B. Caracterização e avaliação das propriedades adsorptivas da casca de laranja na remoção do corante Direct Blue 86. **Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.**

CALCIOLARI, A. R. *et al.* Remoção do corante azul de metileno de solução aquosa usando biomassa de pele prata de café (coffee silverskin) como bioadsorvente de baixo custo. **Revista Matéria, v.27, n.3, 2022.**

LOPES, C. A.; ROLEDO, C.; REIS, A. G. Moringa oleifera seed husks for methylene blue dye adsorption: kinetic, equilibrium, and thermodynamic analyses. **Rev. Ambiente & Água vol. 17 n. 1, e2812 – Taubaté, 2022**

ANTUNES *et al.* Remoção de corante textil utilizando a casca do abacaxi como adsorvente natural. **Revista HOLOS, Ano 34, Vol. 03, pp. 81-97, 2018.**

GOETZ, N. M. *et al.* Estudo da eficiência do uso de bambu como bioadsorvente na remoção de azul de metileno. **Revista Matéria, v.27, n.3, 2022.**

BELTRAME, L. T. C. Caracterização de Efluente Têxtil e Proposta de Tratamento. **Dissertação de Mestrado, UFRN, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Natal – RN, 2000.**

APÊNDICES

APÊNDICE A – Análise de Variância para corante removido (Qt)

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	F calc	F Tab	Razão Fcal/Ftab	Valor-P
Modelo	8	15,5787	1,9473	549,42	8,845	62,115	0,002
Linear	3	14,7755	4,9252	1389,58	215,707	6,442	0,001
Massa	1	2,606	2,606	735,27	161,448	4,554	0,001
Conc	1	12,059	12,059	3402,32	161,448	21,074	0,000
Tempo	1	0,1104	0,1104	31,16	10,128	3,077	0,031
Interações de 2 fatores	3	0,7381	0,246	69,42	215,707	0,322	0,014
Massa X Conc	1	0,6751	0,6751	190,48	161,448	1,180	0,005
Massa X Tempo	1	0,0076	0,0076	2,13	161,448	0,013	0,282
Conc X Tempo	1	0,0554	0,0554	15,64	161,448	0,097	0,058
Interações de 3 fatores	1	0,0018	0,0018	0,51	161,448	0,003	0,55
Massa X Conc X Tempo	1	0,0018	0,0018	0,51	161,448	0,003	0,55
Curvatura	1	0,0633	0,0633	17,86	18,513	0,965	0,052
Erro	2	0,0071	0,0035	-	-	-	-
Total	10	15,5858	-	-	-	-	-

APÊNDICE B – Análise de Variância para a remoção (%)

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	F Tab	Razão Fcal/Ftab	Valor-P
Modelo	8	1138,17	142,271	69,74	8,845	7,884	0,014
Linear	3	873,9	291,3	142,78	215,707	0,662	0,007
Massa	1	249,29	249,292	122,19	161,448	0,757	0,008
Conc	1	357,43	357,434	175,2	161,448	1,085	0,006
Tempo	1	267,17	267,175	130,96	10,128	12,931	0,008
Interações de 2 fatores	3	233,55	77,849	38,16	215,707	0,177	0,026
Massa X Conc	1	2,04	2,04	1	161,448	0,006	0,423
Massa X Tempo	1	2,85	2,849	1,4	161,448	0,009	0,359
Conc X Tempo	1	228,66	228,659	112,08	161,448	0,694	0,009
Interações de 3 fatores	1	3,51	3,511	1,72	161,448	0,011	0,320
Massa X Conc X Tempo	1	3,51	3,511	1,72	161,448	0,011	0,320
Curvatura	1	27,21	27,208	13,34	18,513	0,721	0,067
Erro	2	4,08	2,04	-	-	-	-
Total	10	1142,25	-	-	-	-	-