



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA
campus Porto Seguro

Licenciatura em Química

**DESENVOLVIMENTO DE ADSORVENTES OBTIDOS A PARTIR DE
VAGEM DA *MORINGA OLEÍFERA* IMPREGNADAS COM LICOR
PRETO**

TAINAH GOMES DE JESUS

PORTO SEGURO (BA)
2023

TAINAH GOMES DE JESUS

**DESENVOLVIMENTO DE ADSORVENTES OBTIDOS A
PARTIR DE VAGEM DA *MORINGA OLEÍFERA*
IMPREGNADAS COM LICOR PRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), Campus Porto Seguro, como requisito parcial à obtenção do título de Licenciada em Química.

Orientador: Prof. Dr. André Rosa Martins

Co-orientador: Prof. Msc. Wellington Correia de Carvalho

PORTO SEGURO (BA)
2023

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO SISTEMA DE BIBLIOTECAS DO IFBA, COM OS
DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

J58d Jesus, Tainah Gomes de.

Desenvolvimento de adsorventes obtidos a partir de vagem da Moringa Oleífera impregnadas com licor preto/ Tainah Gomes de Jesus; André Rosa Martins, Orientador; Wellington Correia de Carvalho, coorientador.-- Porto Seguro: IFBA, 2023.

61 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) -- Instituto Federal da Bahia, 2023.

1.Moringa Oleífera, 2.Carvão Ativado. 3.Corantes têxteis. 4.Adsorção. I.Martins, André Rosa, orient. II.Carvalho, Wellington Correia de, coorient. III. TÍTULO.

CDU:66

DEFESA

FOLHA DE APROVAÇÃO

Tainah Gomes de Jesus

**DESENVOLVIMENTO DE ADSORVENTES OBTIDOS A PARTIR DE VAGEM DA MORINGA
OLEÍFERA IMPREGNADAS COM LICOR PRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial à obtenção do título de Licenciado em Química, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), Campus Porto Seguro, pela seguinte Banca examinadora:

Professor Orientador: André Rosa Martins

Professor Co-Orientador: Wellington Correia de Carvalho

Professor Avaliador: Messias Santos Passos Professor Avaliador: Diego Cerqueira Montes

Porto Seguro, 06 de julho de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **ANDRE ROSA MARTINS, Docente**, em 06/07/2023, às 17:09, conforme decreto nº 8.539/2015.



Documento assinado eletronicamente por **MESSIAS SANTOS PASSOS, Professor(a) do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico - EBTT**, em 06/07/2023, às 17:14, conforme decreto nº 8.539/2015.



Documento assinado eletronicamente por **Diego Cerqueira Montes, Professor(a) do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico - EBTT**, em 06/07/2023, às 17:25, conforme decreto nº 8.539/2015.



Documento assinado eletronicamente por **WELLINGTON CORREIA DE CARVALHO, Professor(a) do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico**, em 10/07/2023, às 10:19, conforme decreto nº 8.539/2015.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site http://sei.ifba.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&acao_origem=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0 informando o código verificador **2994143** e o código CRC **A55A5E3C**.

Dedicatória

Este trabalho eu dedico a minha mãe Lucinha Gomes e a minha irmã Stefany Gomes, por me apoiar, sempre está ao meu lado. *“Porque um cordão de três dobras não se pode romper!”*.

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus por ter me sustentado e me ajudado chegar até aqui. Quero agradecer a minha mãe Luzinete Gomes dona Lucinha, pelos incontáveis esforços, tudo o que sou devo a mulher forte que não mediu barreira ou gigantes para me criar e me apoiar, me amar, agradeço a minha irmã Stefany minha caçula e minha confidente sempre me ajudando e apoiando, arrumando minha bolsa quando chegava correndo do trabalho para ir ao IFBA e ainda arrumava um lanchinho. Tudo o que sou devo a vocês, foi por sempre segurarem na minha mão que pude completar a primeira etapa dessa longa jornada.

Agradeço aos meus amigos (as) além dos muros Amanda Lage, Camila Silva, Lolita Blouzart, por sempre torcerem por mim.

Quero agradecer aos meus queridos amigos (as) da minha turma primaria Vinicius Santos por me arrastar pra estudar cálculo, sempre me ajudando e dizendo que tudo ia dar certo, Quézia Castro, Vanessa Rios, do IF pra vida sempre me ouvindo me apoiando e animando nos dias mais difíceis.

Agradeço as minhas Blogueirinhas, Alice Santos, Lis Souza, Sandy Oliveira sempre compartilhamos momentos incríveis, ninguém solta a mão de ninguém amo vocês. Todas as vezes que eu não conseguia dizer uma palavra, só conseguia chorar vocês estavam sempre comigo me consolando, a minha jornada tem um pouco de cada um de vocês. (Em especial Lis e Quézia)

Agradeço aos amigos (as) que invadiram minha vida inesperadamente e trouxe mais alegria, Amanda Gomes, Lara Farias, Lucas Carvalho, Thaynara Gomes.

Agradeço aos colegas e companheiros de curso Amanda Schneider, Jheferson Santos, Everton Cerqueira, Juliana Santos.

Quero agradecer aos colegas do grupo GEPCEMAH, a minha parceira de laboratório Mayara na reta final do TCC obrigada pela ajuda.

Ao professor/orientador André Rosa Martins toda a minha gratidão, levarei comigo o seu exemplo de sempre apoiar os seus alunos, abraçar, acolher, aconselhar e acreditar, agradeço pela paciência e por está comigo do início ao fim da minha jornada no IFBA.

Ao professor e co-orientador Wellington Carvalho agradeço por depositar em mim uma confiança que nem eu mesma ‘tinha”, obrigada por sempre inspirar e acreditar que somos capazes, e podemos ir além, que podemos vencer a nossa realidade as vezes dura, carregarei comigo o seu exemplo de ser humano e profissional, obrigada pelos conselhos, empatia (e muita paciência).

Meus agradecimentos a Senhora Antônia Oliveira, técnica do laboratório de Química do Estado Sólido e prof. Dr. Cesário das Virgens, coordenador do programa de pós-graduação em química da UNEB, pela contribuição nas etapas de pirólise e análise de TG.

Agradeço a todos os colegas que compartilhei alegrias, tristezas e experiências.

EPÍGRAFE

Mesmo que possamos falhar, vamos tentar.
Independente do que digam, é melhor viver a vida
como quisermos. (*Lutando Pelo Meu Caminho*)

RESUMO

A indústria têxtil brasileira possui uma das maiores e mais completas cadeias têxteis do Ocidente, sendo uma das principais produtoras e consumidoras de jeans no mundo. A produção têxtil requer um alto consumo de água, especialmente na etapa de tintura, o que resulta em uma grande quantidade de resíduos, que são altamente tóxicos e volumosos e muitas vezes descartados inadequadamente. Esses resíduos contêm corantes sintéticos que não se fixam completamente nas fibras durante o processo de tingimento, resultando em contaminação de efluentes. A consequência são danos aos recursos hídricos, uma vez que a maioria dos corantes podem ser tóxicos e bioacumuladores apresentando riscos à saúde humana e ao ecossistema. Uma abordagem prática e de baixo custo para o tratamento dos efluentes é o uso da técnica de adsorção, especialmente com adsorventes do tipo carvão. Esse material possui elevada porosidade e alta capacidade de adsorção. Além disso, o carvão obtido de origem vegetal, biocarvão, e de resíduos industriais contribui para a preservação ambiental. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi produzir adsorventes a partir das vagens da *Moringa oleífera* impregnadas com licor preto, para o tratamento das águas residuais que contenham azul de metileno e índigo carmim, corantes usados na indústria têxtil. O material precursor foi caracterizado através da técnica de Infravermelho por Transformada de Fourier que apresentaram os grupos funcionais presentes na vagem antes e depois da pirólise. A análise termogravimétrica da vagem mostrou eliminação de umidade e voláteis até 140°C, seguida da degradação de celulose e hemicelulose. Os valores baixos de teor de umidade, 8,20 %, e de cinzas, 3,12 %, indicam que o material é promissor para biomassa. Todo material pirolisado foi avaliado na adsorção do azul de metileno e Índigo Carmim. O carvão obtido da vagem impregnada com hidróxido de potássio apresentou uma máxima remoção de 42,61%, e a amostra da vagem da impregnada com licor, na proporção 1:1, apresentou uma remoção de 38,50% para o azul de metileno e 15,85%, na remoção do índigo carmim. Portanto, os estudos mostraram que o material carbonáceo obtido da vagem da moringa apresenta melhor desempenho com corantes catiônicos e a quando impregnado com o hidróxido de potássio.

Palavras-chave: Carvão Ativado, *Moringa Oleífera*, Corantes têxteis, Adsorção.

ABSTRACT

The Brazilian textile industry has one of the largest and most complete textile chains in the West, being one of the main producers and consumers of jeans in the world. Textile production requires a high consumption of water, especially in the dyeing stage, which results in a large amount of waste, which is highly toxic and bulky and is often improperly disposed of. These residues contain synthetic dyes that do not completely fix to the fibers during the dyeing process, resulting in effluent contamination. The consequence is damage to water resources, since most dyes can be toxic and bioaccumulators, presenting risks to human health and the ecosystem. A practical and low-cost approach to effluent treatment is the use of adsorption techniques, especially with coal-type adsorbents. This material has high porosity and high adsorption capacity. In addition, charcoal obtained from plant origin, biochar, and industrial waste contributes to environmental preservation. In this context, the objective of this work was to produce adsorbents from *Moringa oleifera* pods impregnated with black liquor, for the treatment of wastewater containing methylene blue and indigo carmine, dyes used in the textile industry. The precursor material was characterized using the Fourier Transform Infrared technique, which showed the functional groups present in the pod before and after pyrolysis. Thermogravimetric analysis of the pod showed elimination of moisture and volatiles up to 140°C, followed by degradation of cellulose and hemicellulose. The low values of moisture content, 8.20%, and ash, 3.12%, indicate that the material is promising for biomass. All pyrolyzed material was evaluated in the adsorption of methylene blue and indigo carmine. The charcoal obtained from the pod impregnated with potassium hydroxide showed a maximum removal of 42.61%, and the sample of the pod impregnated with liquor, in the proportion 1:1, showed a removal of 38.50% for methylene blue and 15.85%, in the removal of indigo carmine. Therefore, studies have shown that the carbonaceous material obtained from the moringa pod performs better with cationic dyes and when impregnated with potassium hydroxide.

Keywords: Activated Charcoal, *Moringa Oleifera*, Textile dyes, Adsorption.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CA	Carvão Ativado
IFBA	Instituto Federal da Bahia
PCZ	Ponto de carga zero
FTIR	Infravermelho com Transformada de Fourier (do inglês, <i>Fourier Transform Infrared</i>)
TG	Análise Termogravimétrica
AM	Azul de Metileno
IC	Índigo Carmim
TAPPI	<i>Standards: Regulations and Style Guidelines</i>
TGA	Análise Térmica diferencial
PVDE	Fluoreto de polivinilideno

1 INTRODUÇÃO	14
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
3.1 DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO DOS CORANTES	16
3.2 AS INDÚSTRIAS TÊXTIL NO BRASIL.....	17
3.2.1 O PAU-BRASIL E OS CORANTES.....	18
3.3 A QUÍMICA DOS CORANTES SINTÉTICOS.....	19
3.3.1 PRINCIPAIS CORANTES UTILIZADOS NAS INDÚSTRIAS TÊXTIL	20
3.3.1.1 CORANTES AZOS	20
3.3.1.2 CORANTES ANTRAQUINÔNICOS.....	20
3.3.1.3 CORANTES METALIZADOS.....	20
3.3.1.4 CORANTES INDIGÓIDES.....	21
3.3.1.5 CORANTES FTALOCIANINAS	21
3.3.1.6 CORANTES METINA, POLIMETINA E POLIENOS.....	22
3.3.1.7 CORANTES DI E TRIARILMETINA E AZA ANÁLOGOS	22
3.3.1.8 CORANTES NITRO E NITROSOS.....	23
3.3.1.9 CORANTES SULFUROSOS.....	23
3.3.2 CORANTES AZUL DE METILENO E ÍNDIGO CARMIM	26
3.4 OS CORANTES TÊXTIL E O MEIO AQUÁTICO	26

3.5 FENÔMENOS DE ADSORÇÃO	30
3.5.1 PROPRIEDADES IMPORTANTES PARA A ATIVIDADE DOS ADSORVENTES	31
3.5.1.1 A ÁREA ESPECÍFICA	31
3.5.1.2 PH E O POTENCIAL DE CARGA ZERO (PCZ)	31
3.5.1.3 TEMPERATURA.....	32
3.6 CARVÃO ATIVADO E SUA OBTENÇÃO A PARTIR DE BIOMASSA	32
3.6.1 A BIOMASSA COMO MATERIAL CARBONÁCEO	32
3.6.1.1 A MORINGA OLÍFERA	33
3.6.2 O CARVÃO ATIVADO	35
3.6.2.1 A ATIVAÇÃO DO MATERIAL CARBONÁCEO	35
3.6.2.2 LICOR PRETO COMO ATIVADOR QUÍMICO.....	36
4 MATERIAIS E MÉTODOS	37
4.1 COLETA E PREPARO DAS VAGENS DA MORINGA OLEÍFERA.....	37
4.2 IMPREGNAÇÃO.....	37
4.3 PIRÓLISE DA BIOMASSA.....	38
4.4 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL CARBONÁCEO	38
4.4.1 TEOR DE UMIDADE.....	38
4.4.2 TEOR DE CINZAS	38
4.4.3 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA	39
4.4.4 ESPECTROSCOPIA NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO POR TRANSFORMADA DE FOURIER .	39
4.4.5 OBTENÇÃO DO ESPECTRO DE ABSORÇÃO E CURVA DE CALIBRAÇÃO DOS CORANTES.....	39

4.4.6 TESTE DE ADSORÇÃO.....	39
4.4.6 TEOR DE SÓLIDOS LICOR PRETO	40
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
5.1 TEOR DE UMIDADE E TEOR DE CINZAS	41
5.2 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA	41
5.3 DETERMINAÇÃO DO COMPRIMENTO DE ONDA DE MÁXIMA ABSORÇÃO	44
5.4 CURVA DE CALIBRAÇÃO DOS CORANTES AM E IC	45
5.5 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS POR ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER.....	46
5.6 TEOR DE SÓLIDOS DO LICOR PRETO	47
5.7 TESTE DE ADSORÇÃO DAS AMOSTRAS PIROLISADAS	47
5.8 AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO PH NO TESTE DE ADSORÇÃO	49
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

A indústria têxtil no Brasil possui grande participação no setor socioeconômico, sendo a maior e mais completa cadeia têxtil do Ocidente, ficando entre os 5 maiores produtores e consumidores de Denim (jeans) do mundo. (ABIT, 2023). Apenas em 2021 produziu cerca de 2,16 milhões de toneladas (vestuário, meias e acessórios) (IEMI, 2022).

Apesar de benefícios econômicos, o setor têxtil pode causar grandes prejuízos ao meio ambiente. Durante as etapas de produção para cada 1 Kg são necessários 80 L de água, sendo o maior consumo concentrado na etapa de coloração, gerando uma grande porcentagem de resíduos líquidos. (HARRELKAS et al., 2009).

Uma das características desses resíduos é a sua coloração forte, devido aos grandes usos de corantes sintéticos que não se fixam na fibra completamente durante o processo de tingimento. Quando esses efluentes são descartados nos cursos hídricos afetam diretamente o equilíbrio dos ecossistemas. A turbidez da água impede que os raios solares penetrem nas camadas mais profundas afetando o processo de fotossíntese e provocando decaimento de oxigênio (LALNUNHLIMI; KRISHNASWAMY, 2016).

Uma variedade de processos são utilizados para remoção/degradação dos corantes como coagulação, floculação, filtração e processos biológicos. O processo por adsorção apresenta como vantagem o baixo custo e facilidade de aplicação. O principal adsorvente utilizado é o carvão ativado. Esse material apresenta elevadas áreas porosas e alta capacidade de adsorção. Uma das vantagens de se utilizar o carvão ativado é a diversidade de materiais para a sua produção (HAYASHI et al., 2002).

Atualmente estudos estão sendo desenvolvidos como alternativas de baixo custo usando resíduos agrícolas e industriais para a produção de carvão. (HAYASHI et al., 2002). Materiais com a semente da *Moringa oleífera* já são utilizadas para o tratamento e purificação de água, entretanto resíduos como suas cascas e vagens são descartados no lixo, por apresentar um bom teor de celulose interligada com a lignina em sua estrutura, aumenta a sua capacidade de adsorção, tornando a vagem da Moringa um precursor em potencial (MCCONNACHIE et al., 1996). O carvão

produzido precisa ser ativado, de forma a elevar sua área e porosidade. Existem diferentes ativadores químicos, sendo os mais comuns ácidos clorídrico, hidróxido de potássio, o que agrega produção de resíduos e aumento do custo do processo. Dessa forma, ativadores não tão convencionais estão sendo utilizados, como o licor preto, resíduo gerado de indústrias de papéis e celulose, o qual apresenta alto teor de lignina, inorgânicos como sulfatos, tornando um material mais ecológico para a produção de carvão ativado (FENG et al., 2020).

Neste trabalho, propõe-se produzir adsorventes do tipo carvão da biomassa vagens da Moringa Oleífera (Acácia-Branca) impregnada com licor preto, resíduo da indústria de papel e celulose. Além disso, determinar as propriedades físico-químicas e avaliar a eficiência do material no tratamento de efluentes, utilizando o azul de metileno e índigo carmin como moléculas modelo. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver adsorventes a partir das vagens da *moringa oleífera* com o licor preto para remoção de corantes industriais.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Produzir adsorventes do tipo carvão a partir das vagens da *moringa oleífera* impregnada de licor preto, ativos na remoção do azul de metileno e índigo carmin;
- ✓ Determinar as propriedades dos adsorventes utilizando a análise termogravimétrica e espectroscopia na região do infravermelho;

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO DOS CORANTES

A utilização de corantes pelo homem remete aos períodos pré-históricos, com manifestações de pinturas em paredes rochosas, com artes parietais que mostram o uso das cores para representar e descrever a suas práticas do cotidiano como pesca, caça entre outros (MELLO; SUAREZ, 2012).

Chineses e egípcios utilizavam tintas para decorar palácios e templos. Também foram os primeiros a perceber que os minerais ao serem calcinados mudavam as suas respectivas cores (BERKE, 2007). Acredita-se que as primeiras formulações utilizadas para produção de tintas eram obtidas a partir de minerais inorgânicos moídos, como a hematita que é caracterizada pela cor vermelha, geothita a cor amarela e a cor branca a caulinita (MELLO; SUAREZ, 2012).

Os primeiros usos de colorações para a tecelagem manifestaram-se na Índia e na China, ao chegar no continente europeu durante o renascimento houve uma crescente demanda para suprir o comércio local, que exigia cada vez mais tecidos coloridos (MELLO; SUAREZ, 2012).

A obtenção de corantes ocorria exclusivamente pelo uso de plantas, frutas e raízes, produzindo corantes para o mercado global como, índigo (azul), cochonilha (vermelho), cedro (rosa), urucum (laranja), noz (marrom), acácia negra (marrom), açafrão (amarelo) (DIAS, 2018). Com o desenvolvimento da indústria têxtil e o fato de os processos de obtenção de cor naturalmente serem lentos, caros e instáveis, houve início a uma nova pesquisa para a produção de corantes sintéticos. Estes em geral mais estáveis, porém mais poluentes (KUEHNI, 2005).

No século XIX em Londres já estava em pesquisa sínteses orgânicas para dominar as reações complexas e produzir diferentes métodos para fabricação de corantes sintéticos, com a expansão da indústria de carvão e dos gases houve uma batalha intensa entre os países europeus para conseguir o monopólio comercial. Mas o primeiro corante sintético foi desenvolvido em 1856 como alternativa para suprir às demandas do mercado, uma vez que os corantes naturais apresentavam

inconstâncias no fornecimento e na qualidade. O primeiro corante sintético registrado foi desenvolvido pelo jovem químico Willian Henry Perkin, que descobriu inesperadamente a mauveína (malveína) que originou um corante roxo obtido a partir da anilina (KUEHNI, 2005).

Os corantes sintéticos a base de anilina foram bem recebidos na Inglaterra e na França devido ao crescimento da indústria têxtil e da pesquisa laboratorial em química orgânica, imediatamente uma empresa francesa começou a produzir em larga escala, tornando-os mais disponíveis. A descoberta significativa de Perkin despertou grande interesse de outros químicos que também descobriram novos corantes sintéticos incluindo o azul de metileno, alaranjado de metila e vermelho de metila (CHRISTIE, 2015)

3.2 AS INDÚSTRIAS TÊXTEL NO BRASIL

A indústria têxtil no Brasil teve início ainda no período colonial, na qual a prática da tecelagem e o cultivo de algodão já eram comuns entre os indígenas e continuou pelos portugueses. O uso de algodoiras no norte e nordeste do país deu início às muitas outras manufaturas têxteis, que começaram a entrar no processo industrial (NEIRA, 2013). No entanto, o desenvolvimento industrial não era do interesse dos portugueses, que manejavam totalmente o mercado brasileiro. A rainha em 1785 publicou um alvará que proibia o desenvolvimento industrial têxtil, uma vez que a riqueza da colônia provinha dos produtos da terra, não do artesanato. Com a chegada da família real em 1808, o governo português revogou a licença para interromper a industrialização do setor (FUJITA; JORENTE, 2015).

No início do século XX a indústria começou a se desenvolver novamente onde o Brasil começou a exportar algodão não só importar, porém o seu desenvolvimento foi desacelerado com a crise causada com a primeira grande guerra que se estenderia até 1918 (CLEMENTINO, 2012).

A guerra ameaçou as importações e exportações entre vários países, pois afetou as rotas comerciais do Oceano Atlântico. Apesar de uma forte retração nas exportações, a indústria conseguiu se manter devido às demandas do mercado

interno, que na época não conseguia consumir os materiais estrangeiros. A indústria foi atingida novamente pelo colapso da bolsa de valores de Nova York em 1929, e retomou seu crescimento em 50% entre 1931 e 1938 (FUJITA; JORENTE, 2015).

Mas foi durante a segunda guerra mundial que as indústrias tiveram a sua consolidação, o Brasil então se tornou o segundo maior produtor no mundo. Nas décadas de 1980 e 1990, o setor têxtil vivenciou importantes movimentos econômicos e sociais. Na primeira década, o setor experimentou uma recessão significativa, altos índices de desemprego, queda de renda, o setor estava em crise devido ao atraso industrial em relação a Ásia, Europa e Estados Unidos, refletido no modelo de negociação cada vez mais globalizado. Na segunda década, com a abertura da economia, o setor viu gradativamente oportunidades de modernização, recuperação econômica e desenvolvimento em escala internacional (KON; COAN, 2005).

3.2.1 O pau-brasil e os corantes

No Brasil a produção e utilização de tintas eram aplicadas às manifestações culturais, as colorações eram produzidas pelos indígenas a partir do urucum e do jenipapo, usadas para pintar os seus corpos. Com as explorações coloniais e a descoberta do novo mundo, a Europa começou a explorar novas fontes naturais para a produção de corantes, umas das principais fontes foi o Pau-brasil, na qual os indígenas já confeccionavam fibras de algodão coloridos (NEPOMUCENO,2005).

A madeira encontrada pelos portugueses na costa do atual Brasil foi identificada como semelhante ao conhecido paus de sapão indiano. Embora as propriedades desta madeira já fossem conhecidas pelos portugueses, era um uso local para tingir penas e ornamentos. Isso facilitou a extração inicial da madeira, visto que foram os índios que entraram na floresta, identificaram, cortaram e trouxeram para a confecção de tecidos (DIAS, 2018).

A história mundial da tinturaria no século XVIII é marcada pela difusão do uso da madeira brasileira no estado de Pernambuco. Com a explorações coloniais e a descoberta do novo mundo, a Europa começou a explorar novas fontes naturais para a produção de corantes, umas das principais fontes foi o pau-brasil, na qual os índios já confeccionavam fibras de algodão coloridos (NEPOMUCENO,2005).

Um dos principais mercados consumidores de corantes de pau-brasil foi a indústria têxtil, devido à qualidade e variedade de tons obtidos a partir dela, com os diferentes tratamentos envolvendo vários ácidos e leveduras, bem como alcalinização e fervura, que produzem diferentes tonalidades de vermelho (DIAS, 2018).

3.3 A QUÍMICA DOS CORANTES SINTÉTICOS

Por serem substâncias complexas, os corantes podem apresentar diferentes nomenclaturas de acordo com seus grupos funcionais juntamente com centros cromóforos e pela maneira que se fixam na fibra (HASSAN; CARR, 2018).

A maneira mais fácil e adequada para a identificação dos corantes têxteis é pela sua estrutura química ou pelos grupos cromóforos, assim podem ser agrupados de acordo com as suas características estruturais semelhantes. Os corantes possuem dois grupos principais: o cromóforo responsável pela coloração apresentada pelo corante no qual absorve na região ultravioleta e visível do espectro e o auxocromo também chamado de grupo doadores de elétrons é responsável por intensificar e diversificar a cor, quando ligado ao cromóforo alteram o comprimento de onda e a intensidade de absorção do corante, também existem os grupos receptores de elétrons que também agem para intensificar as cores emitidas pelo corante (KIMURA et al., 1999).

A presença de um grupo cromóforo em uma molécula é importante para sua cor e para suas propriedades físicas e químicas, influenciando a reatividade da molécula, tornando-a mais ou menos suscetível a reações químicas específicas (LANGHALS, 2004).

A partir das estruturas químicas, os corantes têxteis foram classificados como corantes AZO, antraquinona, metalizados, indigóides, ftalocianinas, metina, polimetina, polienos, di - triarilmetano, aza análogos, nitro, nitrosos e sulfurosos.

3.3.1 Principais corantes utilizados nas indústrias têxtil.

3.3.1.1 Corantes Azos

Os corantes azos representam 65% dos corantes comerciais, movimentam mais da metade da produção mundial dos corantes. Eles são caracterizados pelo grupo (R-N=N-R) (Figura01), como grupo azo ligado a um carbono hibridizado em sp^2 , estão ligados principalmente ao benzeno e naftaleno. Atualmente são produzidos mais de 3 mil corantes azos devido a facilidade de sua síntese, formando uma estrutura altamente conjugada que gera uma longa faixa espectral de cores, apresentam estabilidade a exposição a luz e alta resistência a degradação (JIAN-HUI *et al*, 2016). Apesar da facilidade de sua produção, alguns países como União Europeia, Canadá, Austrália e Japão proibiram ou restringiram o seu uso, devido a sua toxicidade e natureza cancerígena (CRETTAZ *et al.*, 2020).

3.3.1.2 Corantes Antraquinônicos

A classe de corantes antraquinônicos (Figura 01), foi descoberta pela primeira vez nos tecidos que envolviam as múmias egípcias. São corantes orgânicos e possuem uma estrutura de ressonância, com duas carbonilas ligadas a um sistema conjugado de dois anéis benzênicos. A sua estrutura principal 9,10-antraquinona é naturalmente sem cor, mas permite a adição de grupos (auxocromos) doadores de elétrons, na qual produz diferentes tonalidades principalmente de azuis, como o azul royal. Em sua maioria as antraquinonas são solúveis em água, apresentam estabilidade e brilho, apesar da resistência a luz eles possuem pouco desempenho na etapa de tintura de tecidos (GOMES, [s.d.]).

3.3.1.3 Corantes metalizados

São caracterizados pela presença de um grupo carboxila ou hidroxila na posição orto. Durante o processo de pintura ocorre a interação do metal com os grupos funcionais das fibras protéicas que possuem elétrons livres. Esses corantes são bastantes utilizados devido à alta resistência à exposição à luz. Apesar dos seus inúmeros usos, os corantes metalizados geram preocupação ecológica, por formarem

complexos estáveis como o cromo, uma vez que seus rejeitos tóxicos podem prejudicar e afetar diretamente os recursos hídricos (GUARATINI; ZANONI, 2000).

3.3.1.4 *Corantes indigóides*

Os corantes indigóides também chamados corantes de “cuba” ou “tina” são considerados uma das classes de corantes mais antigas, e atualmente continua sendo muito utilizado, principalmente o índigo ele certifica a cor azul das jaquetas e jeans. A sua estrutura é formada por dois grupos doadores de elétrons (-NH-) e dois grupos receptores de elétrons (C=O) ligados ao anel benzênico, que resulta na sua cor intensa, mesmo sendo uma molécula pequena. Os indigóides possuem baixa solubilidade em meio aquoso devido a sua forte interação intramolecular, causado pela capacidade do seu grupo cromóforo em formar ligações de hidrogênio. Devido a essas características são conhecidos como corantes Vat¹. Para o processo de tingimento o índigo é reduzido a forma leuco (amarela), para que seja solúvel no meio aquoso, após fixado as fibras ocorre a oxidação da forma leuco se transformando novamente a estrutura original (vat) azulada e insolúvel em meio aquoso (VAUTIER; GUILLARD; HERRMANN, 2001).

3.3.1.5 *Corantes ftalocianinas*

A classe dos corantes ftalocianinos são representados por cores características que vão do azul vermelho ao verde amarelado. Grande parte desses corantes formam complexos metálicos, sendo o mais comum o cobre (Cu), semimetálicos com o boro (B), silício (Si), germânio (Ge) e não metais com o fósforo (P), a escolha do metal influencia diretamente nas tonalidades e nas propriedades químicas e físicas dos corantes em sua estabilidade, solubilidade, tornando as cores mais sólidas e duradouras. A sua estrutura é composta por 4 anéis isoindóis semelhante a porfirina, ligados através de átomos de nitrogênio, são considerados compostos de coordenação macro cíclicos fortemente conjugado, sua estrutura planar possui um sistema aromático com 18 elétrons essas interações que caracterizam a coloração (Figura 01). Na sua estrutura original eles são solúveis em água, mas através de reações com ditionito em contato com a fibra, o contato com o ar se torna insolúvel. As ftalocianinas apresentam resistência ao calor, solventes e a luz, além das suas

aplicações nas indústrias têxteis eles são utilizados para produção de tintas e plásticos, devido a sua baixa toxicidade são considerados seguros para a produção de cosméticos e alimentos (MURANAKA; UCHIYAMA, 2021).¹

3.3.1.6 *Corantes metina, polimetina e polienos*

Esses corantes são considerados os mais simples em sua composição e cor, eles são caracterizados pelo grupo metina (-CH=) na configuração trans, os carbonos do grupo metina podem ser facilmente substituídos, por grupos cíclicos, heterocíclicos ou por hidrogênios. Os grupos metina possuem um corante polimetina tendo em suas extremidades um grupo doador e um grupo receptor de elétrons, esses apresentam cadeia ímpar com duplas ligações conjugadas que formam estrutura de ressonância. Os corantes polienos a extremidade da cadeia metina são constituídos por grupos alifáticos ou alicíclicos e apresentam cadeia par. Os principais corantes do grupo polieno são os carotenoides, a sua cadeia longa absorve radiação eletromagnética na região do visível. Eles apresentam tonalidade brilhante de amarelo e vermelho. Os polimetina podem ser classificados através dos grupos doadores e receptores de elétrons, nessa classe os corantes apresentam subdivisões de cianinas, hemicianinas, esteptocianinas e oxonol. As cianinas, hemicianinas e esteptocianinas são catiônicos e o oxonol é aniônico. Os átomos de nitrogênio e oxigênio no final da cadeia metina são responsáveis pela carga do corante, essa classe de polimetina apresentam variação de cores sendo algumas com características fluorescentes (BERRADI et al., 2019). (Figura 01)

3.3.1.7 *Corantes di e triarilmetina e aza análogos*

Os corantes di e triarilmetina são pertencentes à classe dos corantes polimetinas, sendo assim consideradas polimetinas ramificadas, são considerados corantes catiônicos já que a carga positiva está localizada no carbono carbôneo. Os corantes diarilmetinas são formados por dois anéis arila na qual a cadeia de polimetina é inserida e a terceira ramificação é constituída por átomo de hidrogênio (Figura 01). Quando a ligação dos anéis arila acontece por nitrogênio aza (-N=) como

¹ Corantes “Vat”: Também conhecidos como “Tina” ou “Cuba” apresentam-se originalmente na forma insolúvel em água e para que tenham afinidade sobre as fibras durante o tingimento/coloração é necessário realizar uma redução em meio alcalino (Leuco), solubilizando-os (Sal Sódico).

heteroátomo, resulta em outra classe de corantes chamados de azina. Estes corantes apresentam cores intensas, mas apresentam pouca resistência à luz (YAMANAKA, 2016).

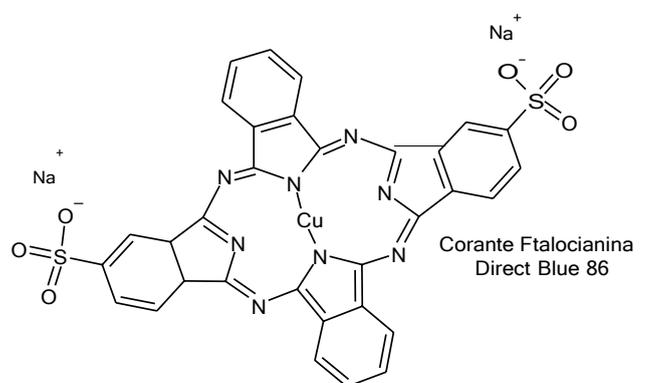
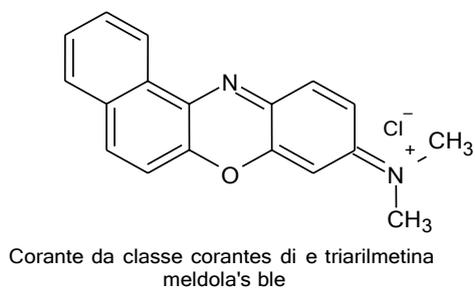
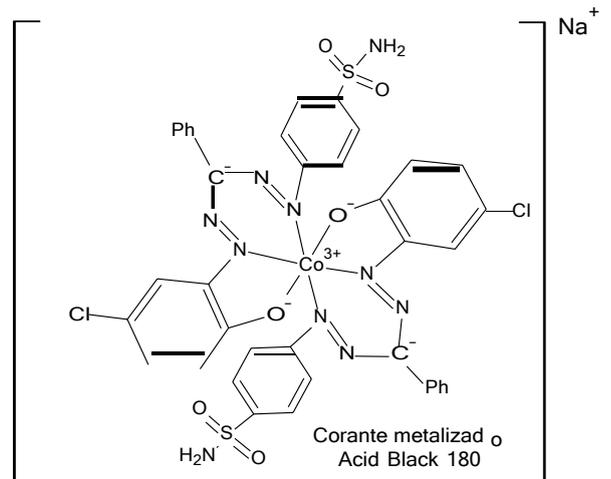
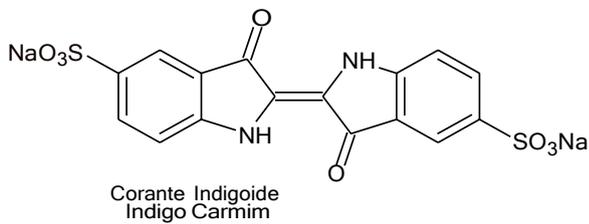
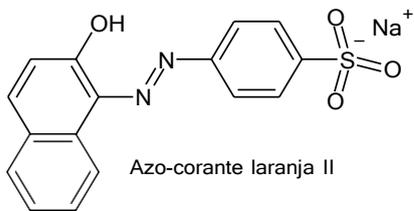
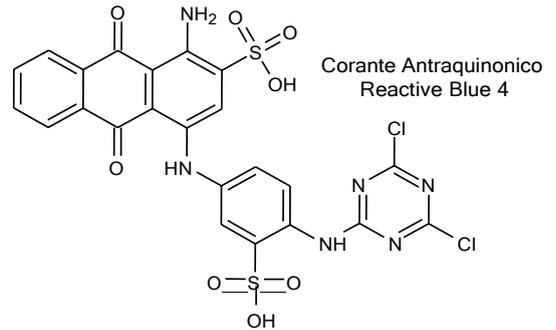
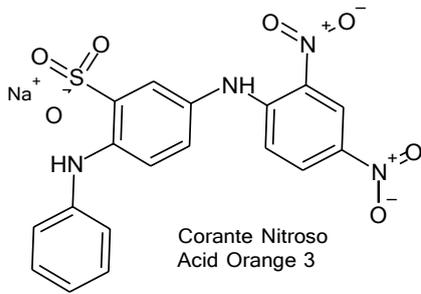
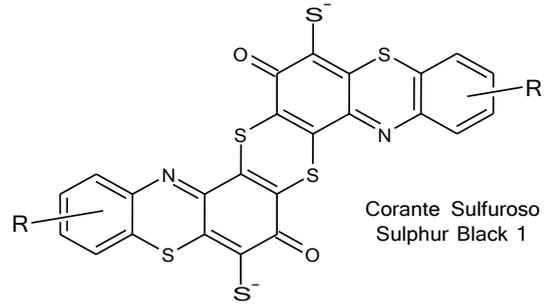
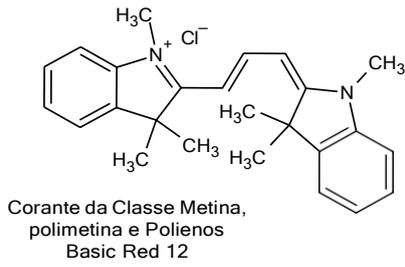
3.3.1.8 *Corantes nitro e nitrosos*

Os corantes que contém nitro são uma classe de corante antiga, devido ao seu baixo custo de produção, alta resistência a luz e alto rendimento durante o processo de tingimento. Esses corantes são utilizados para o tingimento de poliéster as suas pequenas partículas conseguem penetrar e fixar nas fibras mais densas. A sua estrutura é composta por um grupo nitro (-N=O) na posição orto em relação a um grupo doador de elétrons normalmente é um grupo amino. Essa classe de corantes apresenta complexos metálicos, comercialmente são mais utilizados são os complexos de ferro devido a sua facilidade de síntese apresenta baixo custo, sendo usados principalmente para colorir papéis (ARICI et al., 2013). (Figura 01)

3.3.1.9 *Corantes sulfurosos*

Esses corantes são usados para tingir fibra celulósica, eles são insolúveis em água durante o processo de aplicação sobre o substrato é preciso reduzi-lo a sua forma leuco com ditionito de sódio. Na sua forma reduzida o corante se fixa nos poros da fibra, após a coloração da fibra ele volta ao seu estado insolúvel por oxidação ao entrar em contato com o ar. As estruturas desses corantes são compostas por macromoleculares de tiazol onde são sintetizadas a partir do aquecimento de compostos aromáticos e heterocíclicos, como aminas e fenóis (Figura 01). Os corantes sulfurosos apresentam coloração escura, a sua produção é de baixo custo e apresentam alta resistência a luz e a lavagens (ESTEVES; AMORIM, 1999).

Figura 01: Exemplos de estruturas de corantes mais utilizados de cada uma classe de corantes apresentados anteriormente.



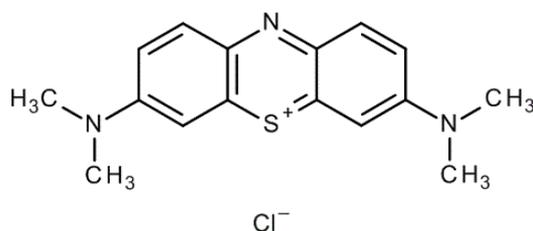
Fonte: Jesus, 2023

3.3.2 Corantes Azul De Metileno e Índigo Carmim

O corante índigo carmim é um corante aniônico da classe dos indigóides (SALGADO et al. 2009), com fórmula molecular $C_{16}H_8N_2Na_2O_8S_2$ (Figura 01) de cor azul até pH 11,4 e amarelo a 13, quando ingerido é nocivo e provoca irritações na pele, nos olhos e gastrointestinais, considerado tóxico e cancerígeno (TEN BOOM et al., 2022). Sendo ainda bastante resistente a biodegradabilidade, apresenta uma alta solubilidade (10 gL^{-1} à 25°C) o que causa bioacumulação nos organismos marinhos remoção em efluentes com os tratamentos comumente utilizados (CHAVES; RODRIGUES MUNIZ; BEMVINDO, 2008).

O Azul de metileno é um corante catiônico pertence a classe das fenotiazinas (ALFREDO et al., 2015), tem a fórmula molecular $C_{16}H_{18}ClN_3S_3H_2O$ (Figura 02) é utilizado como indicador orgânicos redox (SCOTTI et al., 2006). Em ambientes aquáticos afeta diretamente no processo de fotossíntese, fotodegradação e eutrofização (HONORATO et al., 2015). É prejudicial à saúde humana provocando intoxicação gastrointestinal quando ingerido incluindo vômito e diarreia (LIU et al., 2012).

Figura 02: Estrutura molecular do corante Azul de Metileno



Fonte: Jesus, 2023

3.4 OS CORANTES TÊXTIL E O MEIO AQUÁTICO

Nos últimos anos a preocupação com a gestão e qualidade da água se tornou um frequente tema de pesquisa, uma vez que houve crescimento na contaminação do meio aquático, um dos principais contaminantes são os corantes que mesmo sendo passado pelos tratamentos de esgotos não são removidos totalmente da água (VIKRANT et al., 2018).

A presença dos corantes na água reduz a penetração da luz, impedindo que os raios solares alcancem as camadas mais profundas e assim prejudicando o processo de fotossíntese e na concentração de oxigênio dissolvido (MANDRAGUTTI et al., 2021). Além disso, alguns corantes solúveis em água apresentam menor toxicidade, porém os menos solúveis em água apresentam maior toxicidade e são mais suscetíveis a serem absorvidos pelos organismos marinhos, isso pode levar à acumulação desses corantes em organismos aquáticos ao longo do tempo, resultando em efeitos adversos na cadeia alimentar e potencialmente afetando a saúde humana quando consumimos esses organismos contaminados. (MARIA V. [s.d.]

Para o tratamento destes efluentes processos físico-químicos são utilizados, desde os mais clássicos como coagulação e floculação até os mais avançados como filtração por membrana (SILVA et al., 2022).

3.4.1 Processos de Tratamentos para Remoção de Corantes Residuais

Dentre os diferentes métodos para o tratamento e remoção de corantes têxteis podemos destacar alguns, como:

Coagulação e floculação: Nesse processo é utilizado produtos químicos como coagulante, geralmente um sal metálico como sulfato de alumínio ou cloreto férrico adicionado direto ao efluente, o coagulante age neutralizando as cargas elétricas das partículas suspensas fazendo com que elas se juntem e formem flocos maiores e mais densos que facilitam a remoção durante a filtração ou sedimentação (TEH et al., 2016). Dotto et al., 2019 realizaram teste sobre a eficiência de diferentes coagulantes no tratamento de efluentes têxteis com corantes reativos: Vermelho Procion HE-7B e Laranja Procion HER. Eles utilizaram coagulantes orgânicos e coagulantes inorgânicos com sulfato de alumínio, os orgânicos com sementes da Moringa Oleífera com cloreto de sódio e cloreto de potássio (MO-NaCl e MO-KCl) apresentaram resultados de remoção de 82,2% para cor aparente e 83,05% para DQO assim, este estudo demonstrou a eficácia das sementes de Moringa oleífera para o tratamento de efluentes têxteis. Porém essa técnica possui limitações como a formação de lodo, a baixa eficiência quando a concentração do corante é baixa, e a descoloração em alguns corantes (VERMA; DASH; BHUNIA, 2012).

Filtração por membrana: Nesse processo, membranas porosas são utilizadas como barreiras seletivas onde substâncias indesejadas ficam retidas. Existem diferentes tipos de membranas como de microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa. Para remoção de corantes as mais utilizadas são a de ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa.

RASHIDI et al., 2015 estudaram a aplicação de nanomembrana de poliamida para remover corantes reativos de águas residuais, reactive blue 15, reactive red 194, reactive yellow 145, reactive black 5, and reactive orange 16. Os corantes discutidos foram testados em um processo de filtração de 60 min. A eficiência da filtração foi calculada com base em experimentos analíticos. Observou-se que o valor da demanda química de oxigênio nas amostras foi reduzido a zero, representando uma eficiência de remoção de corante de mais de 90%. As desvantagens é o alto custo da técnica já que as membranas sofrem obstruções e incrustações, sendo necessário pré-tratamento dos efluentes antes (EZUGBE; RATHILAL, 2020).

Processos biológicos: O mais utilizado para o tratamento de efluente usando o método biológico é o aeróbio onde os microrganismos consomem a matéria orgânica presente no efluente como alimento utilizando o oxigênio como para a degradação, outro processo é o anaeróbico os microrganismo agem na ausência de oxigênio para a degradação da matéria orgânica.

Lin e Leu (2008) descoloriram o Reactive Red 22 por *Pseudomonas luteola* em conserva de carvão ativado biologicamente, os resultados foram de 89% de descoloração do red 22 reativo. Porém para o desenvolvimento desse processo é necessário muito tempo para a degradação dos compostos, além de não ser efetivo para corantes específicos como alguns sintéticos e a formação de lodo (GUPTA; SUHAS, 2009).

Ozonização: A ozonização é feita através de oxidação química onde ocorre reações químicas com o ozônio (O_3), que promove a degradação e transformação dos poluentes presentes nos efluentes (GHUGE; SAROHA, 2018).

Gharbani et al (2008) investigaram a degradação do vermelho do Congo por ozonização em solução de laboratório que tinha as propriedades químicas das águas

de enxágue das tinturarias da indústria têxtil, observou-se que sua destruição estrutural ocorre em pHs alcalinos. A redução da demanda química de oxigênio e destruição do corante foi superior a 60% e 42%. Mas esse processo apresenta um alto custo de eletricidade, e a formação de subprodutos tóxicos com metais pesados durante a oxidação com metais pesados (STALTER et al., 2010).

Processos oxidativos avançados (POAs): Esses processos envolvem a combinação de diferentes processos de oxidação, a depender da natureza do efluente é necessário mais de um método de oxidação para a decomposição completa do corante (OTURAN; AARON, 2014). Os processos oxidativos avançados compreendem os métodos de ozonização, fotocatalise, processos Fenton e Foto-Fenton.

Fotocatalise: No processo de fotocatalise é utilizado a luz solar ou luz artificial para ativar o material fotocatalítico, onde é gerado radicais hidroxila altamente reativos que oxidam e degradam os contaminantes (KORDOULI et al., 2015). Utilizando um reator fotocatalítico impregnado com catalisador de TiO_2 Bellido et al., 2019 avaliaram a remoção de cor do corante Rodamina B. A eficiência do reator com o pH 5.0 foi de 97,84% de descoloração. As desvantagens desse processo são a dificuldade de penetração da luz e a incrustação do catalisador (GUPTA; SUHAS, 2009).

Fenton: A reação ocorre com íons de ferro (Fe^{2+}) que são usados como catalisadores para decompor o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em radicais hidroxila oxidando os poluentes. (LUSTOSA; MOITA NETO; DA SILVA, 2013) utilizaram a reação fenton, fazendo uso de peróxido de hidrogênio e sais de ferro em diferentes proporções para remoção de cor de efluente têxtil. A remoção de 85,12% de cor dos efluentes. Apesar da facilidade de aplicação o processo fenton é realizado em meio ácido e gera lodo como subproduto (RIBEIRO; NUNES, 2021).

Foto-fenton: Nesse processo, a reação de Fenton é realizada na presença de uma fonte de luz, geralmente luz ultravioleta (UV), que ativa o fotocatalisador, geralmente o dióxido de titânio (TiO_2), que acelera e potencializa a geração dos radicais hidroxila (NOGUEIRA et al., 2007). Em seu trabalho Martins et al., 2011) estudaram a aplicação dos POAs (Fenton, foto-Fenton e UV/ H_2O_2) no tratamento de efluente têxtil sintético contendo o corante Preto Biozol UC. Dentre os processos estudados observou-se que

o mais eficiente foi o foto-Fenton que em pH = 3, que obteve 95,4% de remoção de cor e 73,0% para demanda química de oxigênio (DQO) Uma das principais desvantagens do processo foto-Fenton é o alto custo, eficiência do processo pode ser afetada pela a turbidez do efluente e a presença de matéria orgânica ou sólidos suspensos o processo é restrito a valores de pH ácido (CLARIZIA et al., 2017).

A adsorção é uma técnica eficaz no tratamento de efluentes, oferecendo diversas vantagens. Entre as principais vantagens da adsorção, destacam-se o baixo custo, a alta eficiência na remoção de corantes e compostos orgânicos tóxicos, a capacidade de remoção seletiva de poluentes específicos (RIBEIRO et al., 2017).

3.5 FENÔMENOS DE ADSORÇÃO

Um dos processos mais eficazes para o tratamento de águas residuais é a adsorção, que é utilizada pela indústria para reduzir resíduos orgânicos e inorgânicos perigosos em efluentes. Além disso, é usado para extrair compostos orgânicos e inorgânicos tóxicos de águas subterrâneas poluídas (AHMARUZZAMAN; SHARMA, 2005). Esses processos são bastante utilizados para a descoloração de corantes em águas residuais (ALLEN et al., 2005).

A adsorção é um processo físico-químico de transferência de massa que descreve a concentração de moléculas ou partículas de um material na superfície de outra matéria em estado mais condensado. Por exemplo, a concentração de moléculas de gases na superfície de sólidos. Quanto mais intensas as forças que mantêm as moléculas ou partículas do material retido (adsorvato) sobre aquele que retém (adsorvente) maior o caráter químico do fenômeno. Sendo um fenômeno de superfície, quanto mais alta a superfície do adsorvente maior será a capacidade absorvativa do material precursor. Dessa forma, o aumento de área e porosidade do material favorecem a adsorção (MOREIRA, 2004).

As principais características físicas que influenciam a capacidade de adsorção são porosidade, área superficial específica, volume, distribuição dos tamanhos dos poros e da natureza do material precursor. Enquanto grupos funcionais presentes na superfície do adsorvente podem influenciar especialmente as propriedades químicas,

aumentando a força de interação,(VASQUES et al., 2011). As interações intermoleculares são um fator importante para a adsorção pois assim como a polaridade do adsorvato aumenta a intensidade da interação adsorvente adsorvato e conseqüentemente seu carácter químico (DOMINGUES et al., 2005).

Existem dois tipos de adsorção que podem ser classificados com base em sua intensidade: adsorção física e química. Na adsorção física, a ligação do adsorvato na superfície do adsorvente envolve uma interação fraca que se deve às forças de Van der Waalls, A adsorção química (quimissorção) envolve a troca ou compartilhamento de elétrons entre as moléculas do adsorvato e a superfície do adsorvente, levando a uma reação química. Isso essencialmente cria uma nova ligação química que é ligação muito mais forte que no caso da fissorção (RUTHVEN, 1984).

3.5.1 Propriedades importantes para a atividade dos adsorventes

Alguns fatores podem influenciar no processo de adsorção como a área superficial do material, propriedades do adsorvato e adsorvente, a natureza do solvente e o pH do meio.

3.5.1.1 A Área específica

O grau de adsorção é diretamente proporcional a diminuição ao tamanho das partículas e o aumento de porosidade. (SEKAR; SAKTHI; RENGARAJ, 2004). Essa condição pode ser alterada dependendo dos grupos funcionais envolvidos nos materiais, podendo aumentar ou diminuir a capacidade adsorvativa.

3.5.1.2 pH e o Potencial de Carga Zero (PCZ)

Na medida em que determina o grau de distribuição das espécies químicas, o pH tem um impacto na adsorção. A intensidade desse efeito pode variar dependendo do adsorvente porque as cargas de superfície do adsorvente são determinadas tanto por sua composição química quanto por suas propriedades físicas. Um indicador da tendência de uma superfície para se tornar carregada positivamente ou negativamente, dependendo do pH, é a quantidade necessária para tornar a carga

líquida do adsorvente nula, também conhecida como ponto de carga zero (pH_{Pcz}) (APPEL et al., 2003).

O adsorvente em solução aquosa pode adsorver íons OH^- ou H^+ . O pH da solução influencia diretamente na carga superficial das partículas, sendo assim os grupamentos superficiais de cada sítio ativo do adsorvente podem dissociar ou associar prótons da solução, dependendo das propriedades do adsorvente. Portanto a superfície do sítio ativo é carregada positivamente quando se liga a um próton em solução sob condições ácidas, ou carregada negativamente quando um próton é perdido para a solução em condições alcalinas (ČEROVIĆ et al., 2007).

3.5.1.3 Temperatura

A temperatura nos processos de adsorção influencia principalmente o grau de adsorção, com o aumento da temperatura pode ocorrer o aumento da energia cinética e um aumento na mobilidade das espécies do adsorvato (SARTI JIMENEZ; DAL BOSCO E WAGNER; CARVALHO, 2004).

A solubilidade, densidade, também são influenciados pela temperatura, provocando expansão no adsorvente e o aumento da difusão das moléculas do adsorvato nas camadas internas e externas dos adsorventes devido a diminuição da viscosidade, um o aumento da temperatura pode resultar na abertura dos poros dentro da estrutura do adsorvente, permitindo maior penetração da molécula do adsorvato (DOĞAN et al., 2006).

3.6 CARVÃO ATIVADO E SUA OBTENÇÃO A PARTIR DE BIOMASSA

3.6.1 A biomassa como material carbonáceo

O carvão ativado pode ser gerado a partir de diferentes matérias-primas sendo elas principalmente de origem vegetal, dentre os materiais usados para a obtenção de CA, trabalhos vêm sendo desenvolvidos utilizando resíduos agrícolas como por exemplo sementes de frutas e bagaço de cana-de açúcar, as propriedades do material precursor influenciam diretamente a taxa de adsorção do CA, portanto é necessário

que o material possua elevado teor de carbono fixo, e baixo teor de cinzas (BRUM et al., 2008).

3.6.1.1 A *Moringa Oleífera*

A *Moringa Oleífera* pertence à família (Moringaceae), originária do norte da Índia e amplamente difundida nos países da Ásia, Oriente Médio, África, América Central e América do Sul (Figura 03). A planta foi trazida para o Brasil no ano de 1950, através do pesquisador Warwick Estevam Kerr, como planta ornamental, atualmente a espécie se encontra principalmente no Nordeste (Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Rio grande do Norte, Sergipe), Norte, Centro-Oeste e Sudeste (COPPETEC,2020).

Figura 03 - Árvore da *Moringa oleífera*



Fonte: Jesus 2023, Eunápolis BA

Também conhecida como lírio-branco, árvore-rabanete-de-cavalo quiabo-de-quina, acácia-branca (GUALBERTO et al., 2015). A sua árvore possui subprodutos, vagens, folhas, flores e sementes que lhe permite produzir vários produtos como, alimentos, medicamentos e cosméticos (ARAÚJO, 2008). O óleo extraído da semente da moringa tem sido utilizado para a produção de biodiesel (AZIZ, 2016), as suas folhas apresentam alto teor de vitamina A e C, fósforo, cálcio, ferro e proteínas, sendo

utilizadas para combater a desnutrição e avitaminose; (BEZERRA, 2004, SHIH et al., 2011).

De acordo com Akhtar et al. (2007), a vagem da *Moringa* é composta por 15,6% de celulose, 11,1% de hemicelulose, 10,7% de lignina e 13,8% de fibra bruta. Assim ela apresenta um bom teor de celulose interligada com a lignina em sua estrutura, na qual aumenta a sua capacidade de adsorção, o que a torna um bom precursor para a produção de carvão ativado, por meio de processo de pirólise seguido de ativação química ou física (HAZWAN HUSSIN et al., 2017a).

Adelaja et al. (2011) estudaram a adsorção de Pb^{2+} usando vagens da *Moringa oleífera*. O estudo avaliou as diferentes condições como valor de pH, teor de adsorvente e concentração de contaminantes. A partir dos experimentos de adsorção realizados. Foi confirmado que a adsorção foi afetada pelo pH e pela concentração de poluentes. A remoção máxima alcançada foi de 48,4 % em pH = 7.

Arantes et al. (2014) avaliaram a semente da *Moringa oleífera* como coagulante e verificaram eficácia no clareamento da turbidez da água, sendo a etapa de filtração necessária para a remoção da matéria orgânica.

Quadro 01 - Diferentes aplicações da *Moringa Oleífera*

Semente	Tratamento de resíduos têxteis	(ANA LUÍZA XAVIER CUNHA, 2019)
Semente	Tratamento de efluentes provenientes da indústria de óleo de palmas	(BHATIA; OTHMAN; AHMAD, 2007)
Vagem	Remoção de Diclofenaco em águas residuais	(VIOTTI et al., 2019)
Vagem	Tratamento de águas residuais de curtume	(ABDULRAZAK et al., 2015)
Casca da Vagem	Remoção da fase aquosa de norfloxacin	(WUANA; SHA'ATO; IORHEN, 2016)

Fonte: Jesus, 2023

Diversos materiais podem ser usados para obtenção e carvão ativado como casca de coco, bagaço de cana, vagens de plantas, e subprodutos industriais como alternativa sustentável e renovável

3.6.2 O carvão ativado

O carvão ativado é um material carbonáceo caracterizado por uma estrutura porosa. O tamanho e a forma dos poros têm um papel importante na seletividade da adsorção, pois atuam como uma peneira molecular, permitindo que apenas moléculas determinadas sejam retidas. A alta área específica lhe permite adsorver compostos orgânicos, corantes, metais pesados, compostos aromáticos, espécies de cloro e outros agentes oxidantes, tanto na fase líquida quanto na fase gasosa, sendo assim muito utilizado para filtração, purificação de efluentes, suporte para catalisadores e indústrias farmacêuticas (GORGULHO et al., 2008; SCHETTINO et al., 2007).

3.6.2.1 A Ativação do material carbonáceo

A ativação do carvão é um processo que visa aumentar a sua capacidade de adsorção. Em geral, isso ocorre em função do aumento de área, porosidade e alteração de grupos funcionais que contribuem com a adsorção e seletividade do processo. A ativação se classifica principalmente a partir da natureza física ou química do processo.

A ativação física é realizada comumente através do tratamento térmico do carvão em presença de um agente ativador, como o vapor d'água ou CO₂, onde o material precursor é carbonizado (pirolisado) em atmosfera inerte entre 800° e 1000°, onde ocorre a decomposição da matéria orgânica e liberação dos produtos voláteis. Esse processo resulta na formação de uma rede de poros na estrutura do carvão sem introdução de grupos funcionais na sua superfície (OZDEMIR et al., 2014).

A ativação química envolve a utilização de agentes químicos como ácidos, hidróxidos e sais, para modificar a estrutura do carvão ativado. A principal vantagem da ativação química é o baixo custo energético, já que as temperaturas de ativação podem ser mais suaves, geralmente em torno de 500 °C. A segunda etapa após a impregnação é a carbonização e ativação onde são realizadas na mesma etapa, a

uma temperatura estabelecida. Esse processo resulta na criação de poros de diferentes tamanhos e formas nas superfícies do carvão, aumentando a sua área superficial específica. A ativação química também pode introduzir grupos funcionais na superfície do carvão melhorando sua seletividade para determinadas substâncias (SUDARYANTO et al., 2006).

3.6.2.2 Licor preto como ativador químico

Para a ativação do material carbonáceo existem diferentes ativadores químicos que envolvem ácidos ou bases para modificar a estrutura do carvão, os mais utilizados são, hidróxido de potássio (KOH) (TAN; AHMAD; HAMEED, 2008), Ácido fosfórico (H_3PO_4), e Cloreto de Zinco ($ZnCl_2$) (AHMADPOUR; DO, 1997). Mas alguns trabalhos vêm sendo desenvolvidos com ativadores não tão convencionais como o uso de Ácido clorídrico (HCl), bio-óleo com vinagre de madeira (FENG et al., 2020) e Licor preto (KIM et al., 2020., OLIVEIRA et al., 2021).

Para a obtenção de celulose, a polpação Kraft é o método mais utilizado, esse processo foi desenvolvido na Alemanha em 1879 por Carl F. Dahl, sendo responsável por mais de 95% de toda a produção mundial de celulose química, o qual tem como objetivo extrair a lignina da madeira com o mínimo de degradação da celulose e hemicelulose e a possibilidade de recuperação dos produtos químicos utilizados no processo. No processo de extração, as fibras de celulose são dissociadas em um digestor, onde os cavacos de madeiras são aquecidos e cozidos com o licor branco composto por NaOH, e Sulfeto de sódio (Na_2S) após esse cozimento um subproduto é formado o licor preto (CARDOSO, 2009). A composição do licor preto é rica em lignina e compostos inorgânicos como sulfato usado durante o cozimento, porém o licor preto pode conter diferentes composições químicas, que dependem do processo de cozimento da madeira, o tipo de madeira pois a composição química desta varia de espécie para espécie, e de fábrica para fábrica, sendo assim as propriedades físico-químicas podem ser diferentes quando comparadas de um licor para o outro (GIMÉNEZ; FERREIRA, 2012). Devido a fatores econômicos e ambientais, a recuperação do Licor preto é importante para uma fábrica de celulose, o licor é concentrado em evaporadores em seguida queimado na caldeira de recuperação, a caldeira, além de queimar os compostos orgânicos, promove a redução do Na_2SO_4 a Na_2S gerando vapor em sua combustão normalmente utilizado como fonte de energia.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 COLETA E PREPARO DAS VAGENS DA *MORINGA OLEÍFERA*

Para a realização deste trabalho, utilizou-se como material precursor as vagens da *Moringa Oleífera* coletadas na cidade de Santa Cruz -Cabrália (BA).

As vagens coletadas, foram lavadas com água destilada, para retirada de impurezas, seguida de secagem em estufa a 105 ± 5 °C.

4.2 IMPREGNAÇÃO

As amostras secas foram trituradas em um moinho de facas (Willye, modelo STAR FT-80/2), e passadas no moinho de bolas (SolaB, SL 38) por 60 segundos. Em seguida submetidas à separação granulométrica utilizando um conjunto de peneiras (Lucadema). Utilizou-se as partículas que ficaram retidas na peneira de 600 µm.

Após a classificação granulométrica, as vagens foram impregnadas com licor preto em diferentes proporções (Quadro 02): razão vagem/licor, com uma pequena porção de água destilada para homogeneização e em seguida foram secas a 105 ± 5 °C em estufa, além das amostras impregnadas com licor foi feita uma amostra de referência com hidróxido de potássio..

Quadro 02 - Identificação das amostras com as proporções de vagem e licor preto

Código das amostras	Razões vagem/licor (m/m)
VM	1:0
VML1	1:1
VML2	2:1
VML3	3:1
VMKOH	2:1

*C=carvão; V=vagem moringa e L=licor (Fonte: Jesus, 2023)

Para estas amostras, após o processo de pirolise, ao final dos códigos foi adicionado a letra P.

4.3 PIRÓLISE DA BIOMASSA

O tratamento térmico das amostras foi realizado em forno tipo mufla (Vulcan 3-550), utilizando um reator de quartzo. O material foi aquecido, sob atmosfera de nitrogênio, com fluxo de 60 mL por minuto, e rampa de 10 °C.min⁻¹ por minuto, até 600 °C, mantendo-se nesta temperatura por 30 minutos. Em seguida, o material foi resfriado até a temperatura ambiente, e armazenados em recipientes. Essa etapa foi realizada no laboratório de Química do Estado Sólido da Universidade Estadual da Bahia - *Campus Salvador*.

4.4 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL CARBONÁCEO

4.4.1 Teor de umidade

O teor de umidade das vagens foi determinado utilizando a TAPPI T 258 om-02 pelo método de estufa. Na primeira etapa pesou-se as formas de alumínio, em seguida adicionou-se, aproximadamente, 2 g das vagens. As amostras foram levadas a estufa (Edutec) onde permaneceram por 1h na temperatura de 105 ± °C. Após esse tempo, as amostras foram retiradas, resfriadas e pesadas. Repetiu-se o procedimento até que a massa final permanecesse constante.

Para calcular o teor de umidade, utilizou-se a equação (I):

$$\text{Teor de umidade}(\%) = \frac{\text{massa}_{\text{final}} - \text{massa}_{\text{inicial}}}{\text{massa}_{\text{inicial}}} \times 100 \quad (\text{I})$$

4.4.2 Teor de cinzas

O teor de cinzas da vagem foi determinado utilizando a TAPPI T 211 om-93. Na primeira etapa realizou-se o tratamento dos cadinhos, onde foram lavados, levados à mufla (GP Científica, modelo GP-2000F-A-INOX) a 525° ± 25 C por 1h e, após esse período, os cadinhos foram resfriados em dessecador e pesados. Na segunda etapa, adicionou-se, aproximadamente, 1g da vagem moída nos cadinhos onde elas foram calcinadas na mufla durante 4h a uma temperatura de 525° ± 25 C°. Em seguida, as amostras foram retiradas, esfriadas e pesadas.

4.4.3 Análise Termogravimétrica

Neste ensaio o equipamento utilizado foi o Termoanalisador TG/DTA do modelo Shimadzu TA/60. Foram utilizados cerca de 5 mg da vagem, o programa de aquecimento foi configurado com uma taxa de aquecimento de 10 °C/min em uma faixa de temperatura de 20 °C a 1000 °C. A análise foi realizada em atmosfera de gás nitrogênio com uma taxa de fluxo de 50 mL/min⁻¹.

4.4.4 Espectroscopia na região do infravermelho por transformada de Fourier

As amostras de vagem e dos carvões foram avaliadas através da Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR), utilizando um espectrofotômetro Shimadzu modelo IRAffinity-1S. Para fazer as pastilhas, as amostras foram secas, misturadas na proporção de 100:1 KBr/amostra e prensadas em forma de pastilha. A análise foi realizada na faixa de comprimento de onda de 4000 a 400 cm⁻¹ (região do infravermelho médio – MIR) com resolução 16 cm⁻¹ e 64 varreduras por amostra.

4.4.5 Obtenção do espectro de absorção e curva de calibração dos corantes

A faixa de varredura no espectro visível foi realizada na região do visível, que compreende de 400 a 800 nm, a fim de determinar em qual comprimento de onda ocorre a absorção máxima do corante.

As varreduras e as curvas de calibração foram feitas utilizando espectrofotômetro UV-Vis (Kasuki, modelo IL-226-BI), com cubetas de vidro de 1 cm de caminho óptico.

4.4.6 Teste de Adsorção

Inicialmente foram usados 10 mg dos sólidos para o teste de adsorção em 50 mL de solução 5 mg. L⁻¹ de Azul de Metileno e do Indigo Carmim, com retiradas de alíquotas de 4 mL nos intervalos de tempo pré-determinados de 05, 15, 30, 60, 90, 120 e 150 min e filtradas com membrana de fluoreto de polivinilideno (PDVE) de 0,45 µm, para que não estivesse mais sobrenadante do material. Então, fez-se as medidas de absorbância no espectrofotômetro UV-Vis (Kasuki, modelo IL-226-BI), com cubetas de quartzo de 1 cm de caminho óptico.

A quantidade de Azul de Metileno e de Índigo Carmim adsorvida (q), ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) pelo material carbonáceo foi determinada a partir da Equação (II). (NASCIMENTO, 2014).

$$q = \frac{v(C_0 - C_f)}{w} \quad (\text{II})$$

Onde C_0 e C_f são as concentrações iniciais e finais dos corantes em solução (mg L^{-1}); v é o volume de solução (L) e w a massa de sólido (g).

As concentrações (C_0 e C_f) dos corantes foram obtidas a partir da equação da reta, obtida pela curva de calibração, obedecendo à Lei de Lamber-Beer. utilizando a Equação (II). Para determinação do percentual de adsorção, a Equação (III) foi aplicada.

$$Ads(\%) = \frac{q}{[Cc]} \times 100 \quad (\text{III})$$

Onde q é a concentração do corante adsorvida pelos materiais carbonáceos, determinada através da Equação (II) e $[Cc]$ é a concentração do corante (Azul de Metileno ou do Índigo Carmim utilizada, de 5 mg L^{-1}).

4.4.6 Teor de sólidos Licor Preto

Para a determinação do teor de sólidos totais do licor preto foi feita adaptação da norma TAPPI T650 om-99 "Solids content of Black Liquor", na qual foram pesados 2 mg do licor preto, aproximadamente, e levado para estufa (Edutec) a $105 \pm \text{C}^\circ$. Em seguida, o licor foi retirado, resfriado e pesado. Repetiu-se o procedimento até que a massa final permanecesse constante (o procedimento foi realizado em triplicata).

Para calcular o teor de sólidos utilizou-se a Equação (IV).

$$Sólidos (\%) = \frac{\text{massa de sólidos sedos (g)}}{\text{massa inicial da amostra}} \times 100 \quad (\text{VI})$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 TEOR DE UMIDADE E TEOR DE CINZAS

Para a determinação do teor de umidade o procedimento foi feito em triplicata para melhor precisão dos resultados, conforme mostrado no Quadro 03.

Quadro 03: Média e desvio padrão dos valores obtidos do teor de umidade e teor de cinzas das vagens da *Moringa Oleífera* (n = 3).

Caracterização	Média ± desvio padrão (%)
Teor de Umidade	8,20 ± 0,96
Teor de Cinzas	3,12 ± 0,10

Fonte: Jesus, 2023

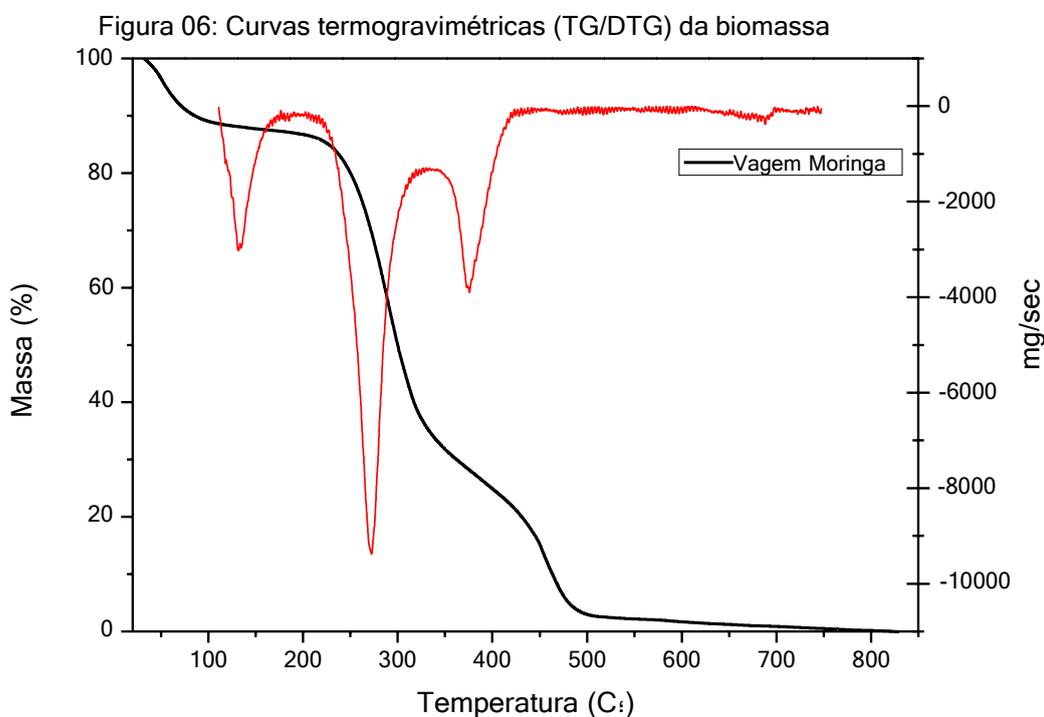
O teor de umidade da vagem da *Moringa* encontrado foi 8,2%, valor menor que aquele medido por Hazwan Hussin et al. (2017) (13,10%). Biomassas que apresentam alto teor de umidade são mais suscetíveis a contaminação biológica e a rápida degradação. Com o baixo teor de umidade favorece o armazenamento e a produção do carvão. Um alto teor de umidade na biomassa dificulta o processo de pirólise, pois quanto maior a quantidade de água presente, maior a quantidade de energia precisa ser gasta para removê-la. Além disso, aumenta a predisposição à oxidação do material e maior o tempo necessário para concluir o processo. O controle de umidade da biomassa é importante pois durante o processo de pirólise, o vapor d'água liberado aumenta a pressão nos poros, tornando os carvões quebradiços e frágeis (EMILIANO, 2019).

Para determinação do teor de cinzas, o procedimento foi feito em duplicata, o valor encontrado foi de 3,12%. Segundo Gomes et al. (2019) a capacidade do adsorvente está diretamente ligada com o material precursor, uma biomassa ideal apresenta um baixo teor de cinzas, no máximo até 5% (quadro 03).

5.2 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA

A Figura 06 apresenta as curvas termogravimétricas da vagem da *Moringa Oleífera*. A curva apresenta comportamento típico de degradação térmica das

biomassas lignocelulósicas, com três principais eventos de perdas de massa definidos.



Fonte: Jesus, 2023

Pelo comportamento das curvas termogravimétricas obtidas, para a biomassa, observa-se que o primeiro estágio de degradação ocorre na faixa de temperatura de 20 a 140°C, principalmente devido a liberação de umidade na forma de vapor d'água onde representa 12% da perda de massa total da amostra. O segundo estágio ocorre na faixa de temperatura de 250 a 450°C e está relacionado com a decomposição simultânea de componentes lignocelulósicos da biomassa, onde se tem a perda de 84% da massa total da amostra, com uma curvatura em 260°C que é característico da decomposição de hemicelulose (BALOGUN et al., 2021). A partir de 450°C começa a degradação mássica e a quebra de alguns compostos residuais, que termina, aproximadamente, em 600°C. A partir desta temperatura deve-se considerar resíduo de cinzas da biomassa, pois todo o material orgânico já foi decomposto, com perda total da biomassa em 850°C.

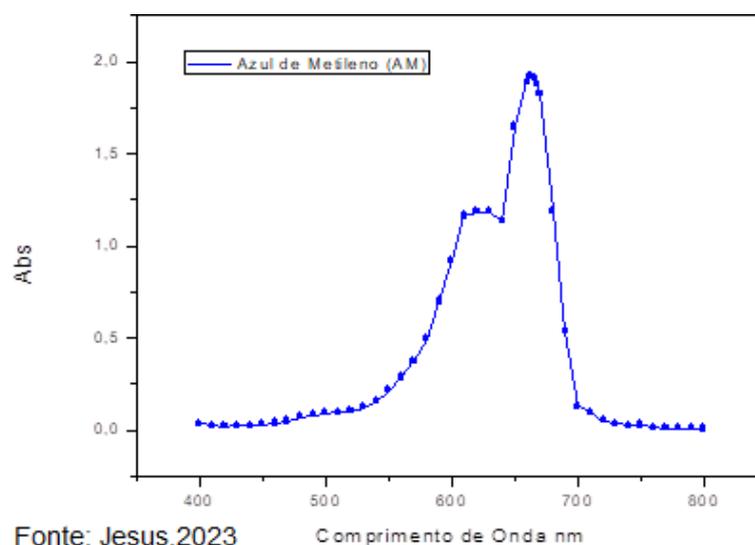
De acordo com os resultados do TG, a biomassa apresentou uma perda de massa igual a 84% respectivamente a partir de 260°C. Esses elevados percentuais de perda correspondem à degradação da hemicelulose, celulose e lignina. A alta perda de massa é atribuída á degradação desses componentes, o que indica que a vagem

da Moringa Oleífera apresenta um baixo rendimento na obtenção do carvão ao final do processo de degradação térmica.

5.3 DETERMINAÇÃO DO COMPRIMENTO DE ONDA DE MÁXIMA ABSORÇÃO

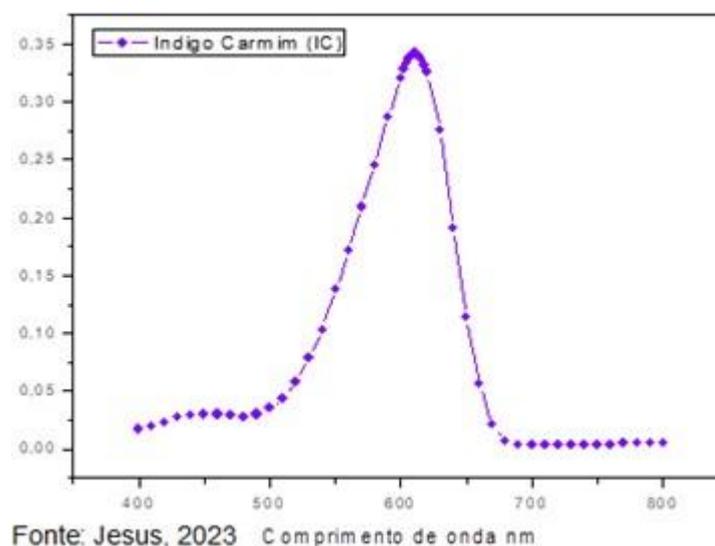
A faixa de varredura no espectro visível foi realizada entre 400 e 800 nm, a fim de determinar em qual comprimento de onda ocorre a absorção máxima de cada corante. De acordo com o fornecedor do azul de metileno (Vetec), o mesmo indica que a absorção desse corante está entre 661-668 nm, na concentração de $3,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ em água. Neste trabalho, a absorbância máxima da solução do corante azul de metileno [$3,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$], foi de 664 nm (Figura 04).

Figura 04 - Espectro de absorção do Azul de Metileno, $3,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$



Já a varredura realizada para o índigo carmim (Greentec) a absorbância máxima da solução foi determinada, indicando o comprimento de onda máximo em 610 nm (Figura 05).

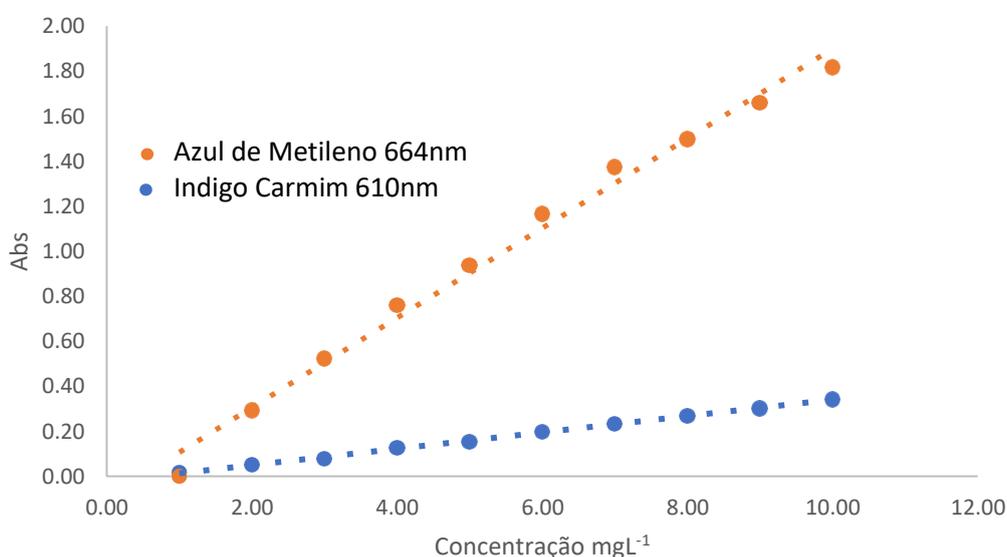
Figura 05 - Espectro de absorção do Índigo Carmim, $3,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$



5.4 CURVA DE CALIBRAÇÃO DOS CORANTES AM E IC

Segundo a lei de Lambert-Beer, a absorção é diretamente proporcional à concentração de uma substância (SKOOG, 2006). A construção da curva de calibração dos corantes foi determinada a partir de 10 soluções em diferentes concentrações (1,0 a 10 mgL⁻¹), preparada a partir de uma solução estoque de 10 mgL de AM e IC, nos comprimentos de onda de 664 nm e 610 nm, respectivamente, conforme apresentado na Figura 07.

Figura 07 -Curva de calibração do Azul de Metileno (AM) e Índigo Carmim (IC)



Fonte: Jesus, 2023

A equação da reta foi determinada pelo método dos mínimos quadrados, obtendo-se a Equação (V) e a regressão linear R^2 sendo o $R^2 = 0,993$ para o Azul de Metileno e $R^2 = 0,9988$ para o Índigo Carmim (ALVES et al., 2008).

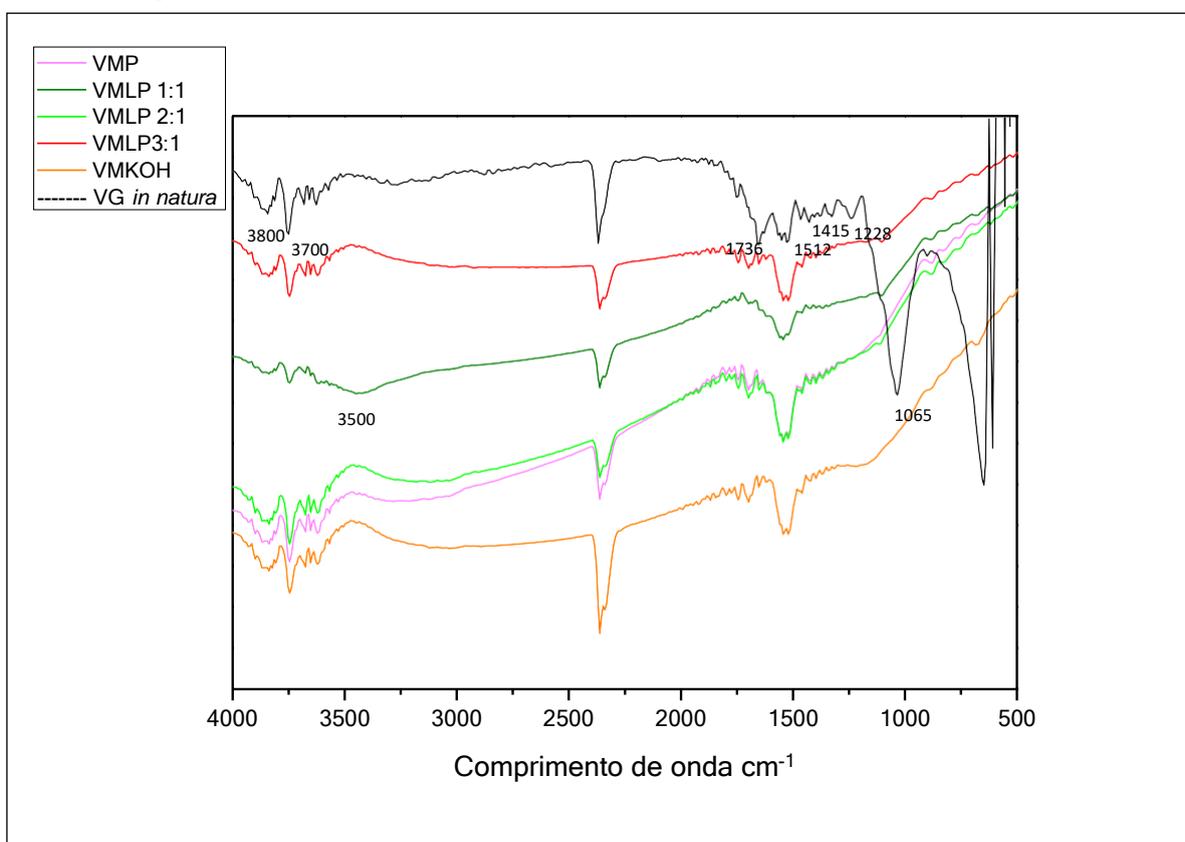
$$\begin{aligned} y &= 0,1862x + 0,1776 \text{ (AM)} \\ y &= 0,0364x - 0,0233 \text{ (IC)} \end{aligned} \quad (V)$$

A partir do coeficiente linear e angular da reta pode-se calcular a concentração das soluções em relação a absorbância, onde y é a absorbância dos corantes e x é a medida de concentração.

5.5 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS POR ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER

A biomassa lignocelulósica tem uma composição orgânica complexa, incluindo diferentes polímeros naturais com diferentes grupos funcionais que absorvem a radiação e diferentes comprimentos de onda infravermelho (BRAGA et al., 2015). A Figura 08 apresenta os espectros infravermelho das amostras: vagem in natura, vagem pura pirolisada e as amostras pirolisadas impregnadas com hidróxido de potássio e licor preto em diferentes proporções.

Figura 08 - Espectros de infravermelho da vagem pura e das amostras pirolisadas



Fonte: Jesus, 2023

No espectro, as bandas entre 1600 e 1500 cm^{-1} são geralmente associadas à lignina, porque as vibrações axiais das ligações $\text{C}_{\text{SP}^2}\text{-H}$ dos anéis aromáticos ocorrem nesta faixa (BRAGA et al., 2015). Na faixa de 1065 cm^{-1} está associado a estrutura de celulose e hemicelulose, nas amostras de carvão que foram pirolisadas esse pico é quase inexistente devido a degradação desses compostos lignocelulósicos durante o tratamento térmico. Em 1512 cm^{-1} os picos são atribuídos às vibrações C-O no anel

aromático (MOHAN; BANERJEE; GOUD, 2015), nas amostras de carvão esses picos ficam mais intensos. A banda em 1736 cm^{-1} , característica da deformação axial do C=O de grupos carbonilas, é um indicativo típico da presença de hemicelulose (SUN; SUN; MA, 2002). As bandas em 1415 e 1228 cm^{-1} nos espectros das da biomassa, representa as vibrações C-H da celulose (MOHAN; BANERJEE; GOUD, 2015), esses picos somem nos espectros das amostras pirolisadas.

Na faixa de 3500 cm^{-1} na amostra VMLP 1:1 aparece uma pequena banda associada a presença de hidroxila O-H, esse aparecimento pode ter sido influenciado pela adsorção de água na superfície do material e pela presença de hidróxidos no licor preto impregnado na vagem.

No entanto, a faixa entre 550 a 400 cm^{-1} não foi analisada na geração dos dados por apresentar muitos ruídos e descontinuidades dos sinais.

5.6 TEOR DE SÓLIDOS DO LICOR PRETO

O licor preto ao sair do processo de cozimento apresenta uma concentração que varia entre 15 a 22% de sólidos secos totais, chamado de licor preto fraco. Neste trabalho, os resultados obtidos do teor de sólidos do licor utilizado está apresentado no Quadro 04.

Quadro 04: Média e desvio padrão dos valores obtidos do teor de sólidos do licor preto.

Caracterização	Média \pm desvio padrão (%)
Teor de Sólidos	$17,53 \pm 0,21$

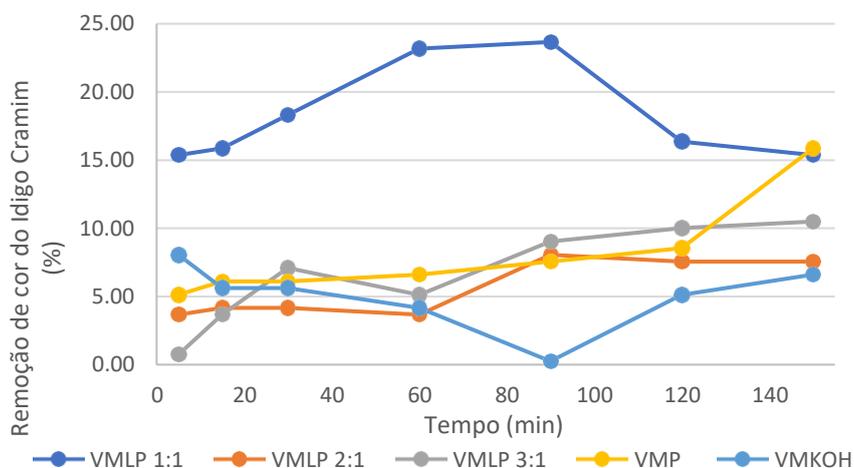
Fonte: Jesus,2023

O licor utilizado para impregnação das vagens é caracterizado como um licor fraco. O licor concentrado, também chamado licor preto forte, apresenta de 60 a 70% de teor de sólidos secos, no qual seria o licor ideal para o processo de tratamento térmico (MARCONDES; ALMEIDA, 1993).

5.7 TESTE DE ADSORÇÃO DAS AMOSTRAS PIROLISADAS

Entre as interações com os dois corantes catiônico e aniônico, a interação com menor taxa de remoção foi com o corante Índigo Carmim (corante aniônico), sendo que a maior remoção desse corante foi com a amostra VMLP 1:1, com a taxa de remoção 18,29% seguido da amostra VMP com a remoção de 15,85, da vagem sem impregnar (Figura 10). A oscilação nos valores de remoção com o tempo na maioria das curvas indica baixa estabilidade. Isso pode estar associado à presença dos sais ativantes, uma vez que a amostra VMP apresentou comportamento mais linear.

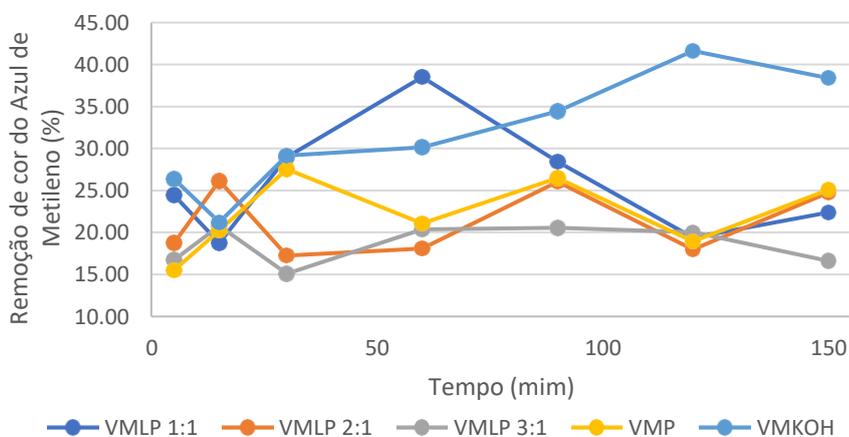
Figura 10: Curvas de adsorção das amostras na remoção do índigo carmim



Fonte: Jesus, 2023

Na remoção do azul de metileno, conforme apresentado na Figura 11, as amostras que apresentaram melhor desempenho foram a VMLP 1:1, com valor de 38,50 % no tempo de 60 min de contato, e a VMKOH, com 42,61% nos 120 min de contato. As demais amostras apresentaram em média 20% de remoção.

Figura 11: Curvas de adsorção das amostras na remoção do azul de metileno



Fonte: Jesus, 2023

A adsorção depende de alguns fatores como a natureza do adsorvente e do adsorbato e as condições experimentais, como massa do adsorvente e pH da solução, a baixa remoção pode estar associada a esses fatores.

O processo de ativação química desempenha um papel importante na capacidade adsorptiva do carvão. A etapa de ativação tem como objetivo aumentar a área superficial específica do material e remover compostos que obstruem os poros (HEYLMANN et al., 2021), a ativação das vagens com o licor preto pode não ter sido suficiente para ativar o material, já que o licor utilizado apresenta apenas 17% de sólidos (licor fraco) e sendo composto principalmente por compostos celulósicos e sulfatos, visto que a lignina, celulose e hemicelulose são degradadas em temperaturas entre 260-450 C°, a quantidade de sais de massa do licor não foi o suficiente para ativação. uma vez que processo de pirólise da obtenção do carvão foi realizado a 600 C°.

Portanto, utilizar o licor preto concentrado, com 70% de sólidos em sua composição, como agente ativante na otimização do carvão ativado é uma alternativa e abordagem interessante na estrutura da biomassa, promovendo a formação de poros e aumentando a área de superfície do carvão ativado uma vez que o licor preto é composto principalmente por hidróxido de sódio, sulfeto de sódio proveniente do licor branco. Esses compostos podem atuar na superfície do carvão aumentando os sítios ativos e promovendo interações de hidrogênio e forças de Van der Waals, facilitando a adsorção de contaminantes (MARCONDES; ALMEIDA, 1993).

5.8 AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO pH NO TESTE DE ADSORÇÃO

O pH afeta diretamente o processo de adsorção, atuando na superfície dos adsorventes e no grau de ionização. Corantes catiônicos tendem a obter uma melhor remoção em valores de pH mais altos, pois a associação dos cátions com os sítios carregados negativamente aumenta a percentagem de remoção (MALL; SRIVASTAVA; AGARWAL, 2006). Ao estudar a adsorção da vagem e da semente da *Moringa Oleífera*, Souza (2016) observou que os fatores que influenciaram a taxa de adsorção com a casca da vagem foram o pH e a massa do adsorvente. No trabalho

da adsorção do índigo Carmim desenvolvido por Fatombi et al. (2019), determinou que a faixa de pH para a melhor remoção do IC é 3.

Hirata et al. (2002) verificaram a influência da superfície química na adsorção, sendo que o azul de metileno em função do seu caráter básico apresenta maior afinidade por superfícies com as mesmas características. Justificando, assim, que a maior adsorção de azul de metileno ocorreu no carvão ativado com KOH. No presente trabalho, verificou-se que durante os testes com o AM e o IC, o pH das soluções dos corantes estavam entre pH 7 - 8, o que pode ter influenciado na baixa remoção. Então, como o rendimento foi baixo, melhorar esse parâmetro implica na possibilidade de realizar o PCz, uma vez que o pH é um fator crucial que influencia a adsorção dos corantes.

O azul de metileno é um corante catiônico, ou seja, apresenta carga positiva na sua estrutura, que interage através de ligações de hidrogênio com os grupos carboxilas (de carga negativa) presentes no carvão. O Índigo Carmim, por outro lado, é um corante aniônico que apresenta carga negativa em sua estrutura nesse caso, a adsorção pode ocorrer entre as cargas positivas presentes na superfície do carvão ativado.

Os testes foram realizados com 10 mg dos sólidos devido ao baixo rendimento, depois do tratamento térmico. Aumentando a massa do adsorvente aumenta a quantidade de sítios ativos disponíveis para interação adsorvente-absorbato, assim aumentando a taxa de remoção do corante da solução (OFOMAJA; HO, 2007).

Outro fator que pode ter influenciado o processo de adsorção dos corantes é a porosidade do carvão, uma das características dos CAs é a alta superfície e micro porosidade, uma vez que a adsorção depende principalmente da porosidade do material, o CA obtido das vagens da *Moringa Oleífera* podem não ter apresentado uma porosidade ideal para adsorver os tamanhos das moléculas dos corantes (HODA; BAYRAM; AYRANCI, 2006).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi possível produzir adsorventes do tipo carvão ativado a partir da vagem da *Moringa Oleífera* impregnada com licor preto.

A determinação das propriedades do carvão através da análise termogravimétrica da vagem *in natura* mostrou a eliminação de umidade e voláteis até 140°C, seguida da degradação de celulose e hemicelulose. Com a espectroscopia na região do infravermelho foi possível verificar os grupos funcionais presente na vagem *in natura* e presentes nos carvões. O material apresentou baixo teor de umidade, 8,20 %, e de cinzas, 3,12 %, indicando que o material é promissor como biomassa.

Nos testes de adsorção do Azul de Metileno e Índigo Carmim, a amostra pirolisada da vagem impregnada com hidróxido de potássio apresentou uma remoção de 42,61%, e a amostra da vagem da impregnada com licor preto apresentou uma remoção de 38,50% para o azul de metileno e 15,85%, na remoção do índigo carmim. Os baixos valores de remoção dos corantes podem ter sido influenciados por diversos fatores, como pH da solução, massa do adsorvente e ativação química ineficiente, diante disso é necessário a otimização do procedimento do material carbonáceo para melhores resultados de adsorção.

Para melhor a taxa de remoção dos corantes azul de metileno e Índigo carmim, a temperatura de pirólise é um parâmetro que influencia diretamente a produção de carvão ativado a partir de biomassa, uma vez que a *Moringa Oleífera* apresentou uma completa e rápida degradação. Assim, é necessário a investigação de diferentes temperaturas de pirólise para determinar a temperatura ideal que potencializa a porosidade, área de superficial e o rendimento do carvão uma vez que pela análise termogravimétrica em 600 C° a perda de massa foi de 98%, sendo assim aumentar a capacidade de adsorção do material, levando a uma melhor remoção dos corantes.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO (ABIT). Disponível em: <www.abit.org.br>. Acesso em: fev. 2023.

ABDULRAZAK, S. et al. Tannery Wastewater Treatment Using Activated Carbon From Moringa Oleifera Pods View project use of rice husk ash and waste glass in producing concrete. **IOSR Journal of Environmental Science**, v. 9, n. 12, p. 96-99, 2015.

ADELAJA, O.; AMOO, I. A.; ADERIBIGBE, A. D. Biosorption of Lead (II) ions from aqueous solution using Moringa oleifera pods. **Archives of Applied Science Research**, v. 3, p. 50-60, 2011.

AHMADPOUR, A.; DO, D. D. The preparation of activated carbon from macadamia nutshell by chemical activation. **Carbon**, v. 35, n. 12, p. 1723-1732, 1997.

AHMARUZZAMAN, M.; SHARMA, D. K. Adsorption of phenols from wastewater. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 287, n. 1, p. 14-24, 2005.

AKHTAR, M. et al. Sorption potential of Moringa oleifera pods for the removal of organic pollutants from aqueous solutions. **Journal of Hazardous Materials**, v. 141, n. 3, p. 546-556, 2007.

ALFREDO, A. P. C. et al. Adsorption of methylene blue in potato peel using batch and fixed-bed column systems. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 6, p. 1909-1920, 1 nov. 2015.

ALLEN, S. J. et al. Mass transfer processes in the adsorption of basic dyes by peanut hulls. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 44, n. 6, p. 1942-1949, 2005.

CUNHA, Ana Luíza Xavier. Tratamento físico-químicos de efluente têxtil utilizando sulfato de alumínio. **Revista GEAMA- Ciências ambientais e Biotecnologia**, v. 5, n. 3 p. 47- 54, 28 dez. 2019.

GUALBERTO, André F; FERRARI, Gláucia M.; D ABREU, Karla Maria P.; PRETO, Bruno de L.; FERRAR, Jéferson L. Características, propriedades e potencialidades da moringa (Moringa oleifera Lam): Aspectos agroecológicos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 5, p. 19-25, 2015.

APPEL, C. et al. Point of zero charge determination in soils and minerals via traditional methods and detection of electroacoustic mobility. **Geoderma**, v. 113, n. 1-2, p. 77-93, 2003.

ARANTES, C. C. et al. Uso de coagulantes naturais à base de moringa oleifera e tanino como auxiliares da filtração em geotêxtil sintético não tecido. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 4, p. 780-788, ago. 2014.

ARAÚJO DA SILVA, F. J.; EVERARDO, J.; DE MATOS, X. **Sobre dispersões de moringa oleifera para tratamento de água** Rev. Tecnol. Fortaleza, v. [s.l: s.n.].

- ARICI, M. et al. Electrochemical and spectroelectrochemical characterization of newly synthesized manganese, cobalt, iron and copper phthalocyanines. **Electrochimica Acta**, v. 87, p. 554-566, jan. 2013.
- BALOGUN, A. O. et al. Kinetics modeling, thermodynamics and thermal performance assessments of pyrolytic decomposition of Moringa oleifera husk and Delonix regia pod. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, 1 dez. 2021.
- BELLIDO, J. D. A. et al. fotocatalise heterogênea aplicada no tratamento do corante rodamina b – uso de catalisador de tio2 sob radiação uv. **e-xacta**, v. 12, n. 1, p. 11, 23 jun. 2019.
- BERKE, H. The invention of blue and purple pigments in ancient times. **Chemical Society Reviews**, v. 36, n. 1, p. 15-30, 2007.
- BERRADI, M. et al. **Textile finishing dyes and their impact on aquatic environs. Heliyon**.Elsevier Ltd, 2019.
- BEZERRA, A. M. E.; MOMENTÉ, V. G.; MEDEIROS FILHO, S. Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de moringa (Moringa oleifera Lam.) em função do peso da semente e do tipo de substrato. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 2, p. 295-299, 2004.
- BHATIA, S.; OTHMAN, Z.; AHMAD, A. L. Pretreatment of palm oil mill effluent (POME) using Moringa oleifera seeds as natural coagulant. **Journal of Hazardous Materials**, v. 145, n. 1-2, p. 120-126, 2007.
- BRAGA, R. M. et al. The energetic characterization of pineapple crown leaves. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 23, p. 18987-18993, 2 dez. 2015.
- BRUM, S. S. et al. Preparação e caracterização de carvão ativado produzido a partir de resíduos do beneficiamento do café. **Química Nova**, v. 31, n. 5, p. 1048-1052, 2008.
- CARDOSO, M.; DE OLIVEIRA, É. D.; PASSOS, M. L. Chemical composition and physical properties of black liquors and their effects on liquor recovery operation in Brazilian pulp mills. **Fuel**, v. 88, n. 4, p. 756-763, 2009.
- ČEROVIĆ, L. S. et al. Point of zero charge of different carbides. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 297, n. 1-3, p. 1-6, 5, 2007.
- CHAVES, K. O.; RODRIGUES MUNIZ, C.; BEMVINDO, R. Adsorption of indigo Carmine on dead biomass of Aspergillus niger carlo rannyêr lopes monteiro. **Eng. sanit. ambient.** v. 13, n. 4, p. 351-355, 2008.
- CHRISTIE, R. M. **Colour chemistry**. 2015, v. 2
- CLARIZIA, L. et al. Homogeneous photo-Fenton processes at near neutral pH: A review. *Applied Catalysis B: Environmental*.Elsevier B.V., 2017.
- CLEMENTINO, M. L. M. **A evolução da indústria têxtil no contexto da afirmação do imperialismo americano**, 2012.

CRETTAZ, S. et al. Survey on hazardous non-regulated aromatic amines as cleavage products of azo dyes found in clothing textiles on the Swiss market. **Journal fur Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit**, v. 15, n. 1, p. 49-61, 2020.

DA SILVA, F. J. A.; DE MATOS, J. E. X. Sobre dispersões de moringa oleifera para tratamento de água. **Revista Tecnologia**, [S. l.], v. 29, n. 2, 2009. Disponível em: <https://ojs.unifor.br/tec/article/view/30>. Acesso em: maio. 2023.

DIAS, T. A. The brazilwood business, the mercantile society purry, mellish and devisme and the global dye market: Mercantile scales, institutions and overseas agents in the eighteenth century. **Revista de Historia**, n. 177, 2018.

DIAS, T. A. The brazilwood business, the mercantile society purry, mellish and devisme and the global dye market: Mercantile scales, institutions and overseas agents in the eighteenth century. **Revista de Historia**, n. 177, 8 mar. 2018.

DOĞAN, M. et al. Adsorption kinetics of maxilon blue GRL onto sepiolite from aqueous solutions. **Chemical Engineering Journal**, v. 124, n. 1-3, p. 89-101, 2006.

DOMINGUES, V. et al. **Sorption behaviour of bifenthrin on cork**. Journal of Chromatography A. **Anais**. 2005.

DOTTO, J. et al. Performance of different coagulants in the coagulation/flocculation process of textile wastewater. **Journal of Cleaner Production**, v. 208, p. 656-665, 20 jan. 2019.

DOUGLAS M. RUTHVEN. **Principles of Adsorption and Adsorption Processes**. New York: John Wiley & Sons, 1984

EMILIANO, S. A. **Caracterização, produção e avaliação da capacidade adsortiva do carvão ativado obtido da pirólise a vácuo da espécie Dipteryx alata (Baru)**. Maceió : Universidade Federal de Alagoas , 2019.

ESTEVES, M. DE F.; AMORIM, M. T. P. DE. **Tingimento com novos corantes sulfurosos: contribuição para uma tecnologia mais limpa**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/1822/2920>>. Acesso em: 18 maio. 2023.

EZUGBE, E. O.; RATHILAL, S. **Membrane technologies in wastewater treatment: A review**. **Membranes** MDPI AG, , 1 maio 2020.

FATOMBI, J. K. et al. Adsorption of Indigo Carmine from Aqueous Solution by Chitosan and Chitosan/Activated Carbon Composite: Kinetics, Isotherms and Thermodynamics Studies. **Fibers and Polymers**, v. 20, n. 9, p. 1820-1832, 1 set. 2019.

FENG, P. et al. Biomass-based activated carbon and activators: Preparation of activated carbon from corncob by chemical activation with biomass pyrolysis liquids. **ACS Omega**, v. 5, n. 37, p. 24064-24072, 2020.

FUJITA, R. M. L.; JORENTE, M. J. A indústria têxtil no Brasil: uma perspectiva histórica e cultural. **Modapalavra e-periódico**, v. 8, n. 15, p. 153-174, 2015.

GHARBANI, P.; TABATABAI, ; S M; MEHRIZAD, ; ; A. Removal of Congo red from textile wastewater by ozonation. **Int. J. Environ. Sci. Tech**, v. 5, n. 4, p. 495-500, 2008.

GHUGE, S. P.; SAROHA, A. K. Catalytic ozonation of dye industry effluent using mesoporous bimetallic Ru-Cu/SBA-15 catalyst. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 118, p. 125-132, 1 ago. 2018.

GIMÉNEZ BARAÑANO, A.; FERREIRA DA COSTA JUNIOR, E.; OLIVEIRA SOUZA DA COSTA, A. Obtenção de dados experimentais e análise da elevação do ponto de ebulição de licor preto nacional descrição da dinâmica de coletor solar para aquecimento de água salobra ou salgada View project Modelagem e Otimização de Processos View project. Búzios, RJ: 2012. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/319173811>>. Acesso em 20 de maio 2023.

GOMES DE MORAES, S.; SANCHES FREIRE, R.; DURÁN, N. Degradation and toxicity reduction of textile effluent by combined photocatalytic and ozonation processes. **Chemosphere**, v. 40, n. 4, p. 369-373, 2000.

GOMES, M. C. S. et al. **Reaproveitamento de semente de maracujá para a produção de carvão ativado com ativação química**. CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS. Anais. Belém- Pará: 2019.

GORGULHO, H. F. et al. Characterization of the surface chemistry of carbon materials by potentiometric titrations and temperature-programmed desorption. **Carbon**, v. 46, n. 12, p. 1544-1555, 2008.

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

GUPTA, V. K.; SUHAS. **Application of low-cost adsorbents for dye removal - A review**. **Journal of Environmental Management**, jun. 2009.

HARRELKAS, F. et al. Treatment of textile dye effluents using coagulation-flocculation coupled with membrane processes or adsorption on powdered activated carbon. **Desalination**, v. 235, n. 1-3, p. 330-339, 2009.

HASSAN, M. M.; CARR, C. M. **A critical review on recent advancements of the removal of reactive dyes from dyehouse effluent by ion-exchange adsorbents**. **Chemosphere**, Elsevier Ltd, 2018.

HAYASHI, J. et al. Activated carbon from chickpea husk by chemical activation with K₂CO₃: preparation and characterization. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 55, n. 1, p. 63-68, 2002.

HAZWAN HUSSIN, M. et al. **Preparation and characterization of activated carbon from moringa oleifera seed pod 2017**. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/315838447>>. Acesso em 15 de março 2023.

HAZWAN HUSSIN, M. et al. Preparation and characterization of activated carbon from moringa oleifera seed pod Wastewater treatment through adsorption View project Sustainable Development and Application of Renewable Chemicals from Biomass and Waste" View Project 2017. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/315838447>>. Acesso em 21 fevereiro 2023

HEYLMANN, K. K. A. et al. Production, characterization, and application of activated charcoal from peach kernel in textile effluent treatment. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 26, n. 3, p. 485-494, 2021.

HODA, N.; BAYRAM, E.; AYRANCI, E. Kinetic and equilibrium studies on the removal of acid dyes from aqueous solutions by adsorption onto activated carbon cloth. **Journal of Hazardous Materials**, v. 137, n. 1, p. 344-351, 1 set. 2006.

HONORATO, A. C. et al. Biosorption of methylene blue using agro-industrial residues. **Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental**, v. 19, n. 7, p. 705-710, 28 jul. 2015.

KIM, Y. J. et al. Preparation and characterization of black liquor-derived activated carbon by self-chemical activation. **Carbon Letters**, v. 30, n. 2, p. 115-121, 2020.

KIMURA, I. Y. et al. Efeito do pH e do tempo de contato na adsorção de corantes reativos por microesferas de quitosana. **Polímeros**, v. 9, n. 3, p. 51-57, 1999.

KON, A. C. D. C. Transformações da indústria têxtil brasileira: a transição para a modernização. **Revista de Economia Mackenzie**, p. 11-34, 2005.

KORDOULI, E. et al. The mechanism of azo-dyes adsorption on the titanium dioxide surface and their photocatalytic degradation over samples with various anatase/rutile ratios. **Catalysis Today**, v. 252, p. 128-135, 29 maio 2015.

KUEHNI, R. The Measurement of Sensation. **Color Research & Application**, v. 30, n. 1, p. 72-73, 2005.

LALNUNHLIMI, S.; KRISHNASWAMY, V. Decolorization of azo dyes (Direct Blue 151 and Direct Red 31) by moderately alkaliphilic bacterial consortium. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 47, n. 1, p. 39-46, 2016.

LANGHALS, H. Color Chemistry. Synthesis, Properties and Applications of Organic Dyes and Pigments. 3rd revised edition. By Heinrich Zollinger. **Angewandte Chemie International Edition**, v. 43, n. 40, p. 5291-5292, 2004.

LIN, Y. H.; LEU, J. Y. Kinetics of reactive azo-dye decolorization by *Pseudomonas luteola* in a biological activated carbon process. **Biochemical Engineering Journal**, v. 39, n. 3, p. 457-467, 1 maio 2008.

LIU, T. et al. Adsorption of methylene blue from aqueous solution by graphene. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 90, n. 1, p. 197-203, 1 fev. 2012.

LUSTOSA, G. M. M. M.; MOITA NETO, J. M.; DA SILVA, C. E. Degradation of textile effluente by fenton reaction. **Revista Virtual de Quimica**, v. 5, n. 5, p. 973-980, 2013.
M. AZIZ, S. T. A. A. J. H. R. A. A. Transesterification of moringa oleifera oil to biodiesel over potassium flouride loaded on eggshell as catalyst, 2016.

MALL, I. D.; SRIVASTAVA, V. C.; AGARWAL, N. K. Removal of Orange-G and Methyl Violet dyes by adsorption onto bagasse fly ash - Kinetic study and equilibrium isotherm analyses. **Dyes and Pigments**, v. 69, n. 3, p. 210-223, 2006.

MANDRAGUTTI, T. et al. Molecular characterization of marine bacterial isolates of Visakhapatnam coast—efficacy in dye decolorization and bioremediation of cadmium. **Journal of Genetic Engineering and Biotechnology**, v. 19, n. 1, 2021.

MARCONDES, A. P.; OTERO, M. L.; ALMEIDA, D. **Densidade de licor negro Método para altos teores de sólidos**. [s.l: s.n]

MARTINS, L. M. et al. Aplicação de Fenton, foto-Fenton e UV/H₂O₂ no tratamento de efluente têxtil sintético contendo o corante Preto Biozol UC. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 16, n. 3, p. 261-270, set. 2011.

MCCONNACHIE, G. L. et al. **Activated carbon from Moringa husks and pods**. [s.l: s.n.].

MELLO, V. M.; SUAREZ, P. A. Z. The expressive ink formulations through history. **Revista Virtual de Quimica**, Sociedade Brasileira de Quimica, , 2012.

MELLO, V. M.; SUAREZ, P. A. Z. **The expressive ink formulations through history**. **Revista Virtual de Quimica** Sociedade Brasileira de Quimica, 2012.

MOHAN, M.; BANERJEE, T.; GOUD, V. V. Hydrolysis of bamboo biomass by subcritical water treatment. **Bioresource Technology**, v. 191, p. 244-252, 1 set. 2015.

MOREIRA, C. S. **Adsorção competitiva de cádmio, cobre, níquel e zinco em solos 2004**. Dissertação (mestrado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba.

Moringaceae in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB598022>>. Acesso em: 25 mai. 2023.

MURANAKA, A.; UCHIYAMA, M. Development of phthalocyanine-based functional molecules with tunable optical and chiroptical properties. Bulletin of the Chemical Society of Japan **Chemical Society of Japan**, 2021.

NEIRA, L. G. Design, educação, cultura. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 6, n. 1, p. 78-88, 27, 2013.

NOGUEIRA, R. F. P. et al. Fundamentos e aplicações ambientais dos processos fenton e foto-fenton. **Quim. Nova**. [s.l: s.n.].

OFOMAJA, A. E.; HO, Y. S. Equilibrium sorption of anionic dye from aqueous solution by palm kernel fibre as sorbent. **Dyes and Pigments**, v. 74, n. 1, p. 60-66, 2007.

OTURAN, M. A.; AARON, J. J. Advanced oxidation processes in water/wastewater treatment: Principles and applications. **A review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, 2 dez. 2014.

OZDEMIR, I. et al. Preparation and characterization of activated carbon from grape

stalk by zinc chloride activation. **Fuel Processing Technology**, v. 125, p. 200-206, 2014.

RASHIDI, H. R. et al. Synthetic reactive dye wastewater treatment by using nano-membrane filtration. **Desalination and Water Treatment**, v. 55, n. 1, p. 86-95, 3 jul. 2015.

RIBEIRO, ET AL., 2008. Planilha de Validação: Uma Nova Ferramenta Para Estimar Figuras De Mérito na Validação de Métodos Analíticos Univariados. **Quim. Nova**, v. 31, n. 1, p. 164-171, 2008.

RIBEIRO, G. A. C. et al. Removal of Remazol brilliant violet textile dye by adsorption using rice hulls. **Polimeros**, v. 27, n. 1, p. 16-26, 1 jan. 2017.

RIBEIRO, J. P.; NUNES, M. I. Recent trends and developments in Fenton processes for industrial wastewater treatment – A critical review. Environmental Research. **Academic Press Inc.**, 1 jun. 2021.

SARTI JIMENEZ, R.; DAL BOSCO E WAGNER, S. M.; CARVALHO, A. Remoção de metais pesados de efluentes aquosos pela zeólita natural esolecita-influência da temperatura e do Ph na adsorção em sistemas monoelementares **Quim. Nova**, 2004.

SCHETTINO, M. A. et al. Preparação e caracterização de carvão ativado quimicamente a partir da casca de arroz **Quim. Nova**, v. 30, n. 7, p. 1663-1668, 2007.

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, 2006.

SEKAR, M.; SAKTHI, V.; RENGARAJ, S. Kinetics and equilibrium adsorption study of lead(II) onto activated carbon prepared from coconut shell. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 279, n. 2, p. 307-313, 2004.

SHIH, M. C. et al. Effect of different parts (leaf, stem and stalk) and seasons (summer and winter) on the chemical compositions and antioxidant activity of Moringa oleifera. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 12, n. 9, p. 6077-6088, 2011.

SILVA, S. K. C. et al. Adsorption of BF-5G reactive blue dye using Manihot Esculenta Crantz. **Revista Materia**, v. 27, n. 1, 2022.

SKOOG, D. A. **Fundamentos da química analítica**. 8^o ed. [s.l.] 2006, 2006.

SOUZA, Héllen Karoline Spricigo de. **Utilização da semente, casca e vagem da Moringa oleifera Lam no processo de biossorção para remoção de Diuron® de águas contaminadas**. 2016. 100 páginas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá - PR.

SUDARYANTO, Y. et al. High surface area activated carbon prepared from cassava peel by chemical activation. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 5, p. 734-739, 2006.

TAN, I. A. W.; AHMAD, A. L.; HAMEED, B. H. Adsorption of basic dye on high-surface-area activated carbon prepared from coconut husk: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. **Journal of Hazardous Materials**, v. 154, n. 1-3, p. 337-346, 2008.

TAPPI, Technical Association of the Pulp and Paper Industry. TAPPI Standards: Regulations and Style Guidelines. Disponível em: <http://www.tappi.org/content/pdf/standards/tm_guidelines_complete.pdf>. Acesso em: maio de 2023.

VASQUES, A. R. et al. Adsorção dos corantes RO16, RR2 e RR141 utilizando lodo residual da indústria têxtil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 16, n. 3, p. 245-252, 2011.

VAUTIER, M.; GUILLARD, C.; HERRMANN, J. M. Photocatalytic degradation of dyes in water: Case study of indigo and of indigo carmine. **Journal of Catalysis**, v. 201, n. 1, p. 46-59, 2001.

VIKRANT, K. et al. **Recent advancements in bioremediation of dye: Current status and challenges**. **Bioresource Technology** Elsevier Ltd, 2018.

VINHAL, J. O. et al. Modeling, kinetic, and equilibrium characterization of paraquat adsorption onto polyurethane foam using the ion-pairing technique. **Journal of Environmental Management**, v. 156, p. 200-208, 2015.

VIOTTI, P. V. et al. Diclofenac removal from water by adsorption on Moringa oleifera pods and activated carbon: Mechanism, kinetic and equilibrium study. **Journal of Cleaner Production**, v. 219, p. 809-817, 2019.

WUANA, R. A.; SHA'ATO, R.; IORHEN, S. Preparation, characterization, and evaluation of Moringa oleifera pod husk adsorbents for aqueous phase removal of norfloxacin. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 25, p. 11904-11916, 2016.

YAMANAKA, M. V. B. Z. H. (ORGS.). **Corantes Caracterização química, toxicológica, métodos de detecção e tratamento**. Cultura Acadêmica ed. São Paulo: Editora Cultura Acadêmica.