



FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA
TRABALHO DE LICENCIATURA

**Avaliação do Desempenho do Carvão Activado a Base de Sabugo de Milho e Folhas
de Eucalipto no Tratamento de Águas Residuais**

Autor: Ndeve, Auziane da Glória Tomás

Supervisor: Prof. Doutor Afonso Daniel Macheca, Eng.^o

Co-Supervisor: Doutor Adolfo Condo, Eng.^o

Maputo, 2024



FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA
TRABALHO DE LICENCIATURA

Avaliação do Desempenho do Carvão Activado a Base de Sabugo de Milho e Folhas de Eucalipto no Tratamento de Águas Residuais

Autor: Ndeve, Auziane da Glória Tomás

Supervisor: Prof. Doutor Afonso Daniel Macheca, Eng.º

Co-Supervisor: Doutor Adolfo Condo, Eng.º

Maputo, 2024



FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

TERMO DE ENTREGA DO RELATÓRIO DE TRABALHO DE LICENCIATURA

Declaro que o estudante finalista Auziane da Glória Tomás Ndeve, entregou no dia ___/___/2024 as ___ cópias do relatório do seu trabalho de licenciatura intitulado:

Avaliação do Desempenho do Carvão Activado a Base de Sabugo de Milho e Folhas de Eucalipto no Tratamento de Águas Residuais

Maputo, ___ de _____ de 2024

A chefe da Secretária

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Auziane da Glória Tomás Ndeve, declaro por minha honra que o presente trabalho foi realizado inteiramente por mim, no Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane, no âmbito da conclusão do curso de Licenciatura em Engenharia Química.

Maputo, ___ de _____ 2024

(Auziane da Glória Tomás Ndeve)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho, aos meus pais Tomás Malaulane Albino e Glória José Albino pelo amor e carinho demonstrado durante o período de formação e ao longo da vida, por eles serem a minha maior motivação, a razão de eu lutar a cada dia, por serem a fonte de inspiração e pelo apoio incalculável que proporcionaram até eu poder alcançar esta conquista.

AGRADECIMENTOS

Sobre tudo e sobre todos, agradeço a Deus pelo dom da vida e por cada dia poder contemplar a beleza da sua criação, pela oportunidade de realizar um grande sonho e pela fé de que dias veem dias melhores.

Agradeço aos meus pais Tomás Malaulane Albino e Glória José Albino pelos ensinamentos, educação, paciência, por serem meus exemplos de vida, investirem em mim, acreditarem em mim até quando vivia duvidando de mim mesmo e por nunca desistirem de mim.

Aos meus irmãos, amigos e familiares em particular mano Leonel Micas Chihale e aos tios Adolfo Albino, Ilídio Miguel, tia Isabel Malaulane muito obrigado por toda a força, conselhos e carinho demonstrado por todos esses anos.

Aos meus supervisor e co-supervisor, Prof. Doutor Afonso Daniel Macheca e Doutor Adolfo Condo pelo apoio, confiança, paciência, instrução e por sempre estarem presentes em cada etapa da elaboração deste trabalho, o meu muito obrigado.

Aos professores do Departamento de Engenharia Química da faculdade de engenharia, que tiveram um papel muito importante durante a minha formação profissional. Em especial ao Prof. Doutor Borges Chambal, Doutor Estêvão Júnior Pondja e ao Eng.º Lucrécio Biquiza, agradeço pela inspiração.

Agradeço a todos meus colegas e amigos da faculdade, em particular a Victor Magaia Jr, Valdimiro Fiosse, Paulo Salvador Cossa, Henrinques Tsinine, José Luís Paulo Fernando, Daniela Mandlate e a todos membros do meu grupo “Team Chapadora” nomeadamente Ngaugake Tsamanea, Valente Tamele, Pedro Chibulacho, Paulino Júlio, Roberto Come, a todos pelo suporte, companheirismo e por partilharem comigo momentos de felicidade e tristeza.

A todos que aqui não foram mencionados, mas que de alguma forma contribuíram para o meu desenvolvimento académico, professores, colegas e funcionários da faculdade, sintam-se abraçados e agradecidos.

RESUMO

Água é um recurso natural e renovável através do ciclo hidrico, que perfaz 70% da superfície do planeta terra. Do total de água existe enfrenta o problema da deterioração da qualidade devido aos efeitos da contaminação causada por actividades antropogénicas. Para sua reutilização segura, tecnologias como o carvão activado são empregues para purificar a água, protegendo o meio ambiente e a saúde humana. Carvões activados, são uma forma de carbono obtida pelos processos de activação física ou química, são materiais extremamente importantes porque são utilizados como adsorvente em inúmeros processos e não só. Nesse estudo foi utilizado o bio carvão de sabugo de milho e bio carvão de folhas de eucalipto. O bio carvão de sabugo de milho foi pré-misturado com bio carvão de folhas de eucalipto sp em diferentes proporções massicas (15, 30 e 50%) e submetido as mesmas condições de activação. Para avaliar os efeitos das modificações promovidas pela pré-mistura, foram feitos testes de adsorção em água contaminada com o corante azul de metileno e empregue dois modelos cinéticos; modelo cinético de pseudo primeira ordem e pseudo segunda ordem. Tendo se verificado que CA1 se adequa ao modelo de primeira ordem e (CA2, CA3 e CA4) ao modelo de segunda ordem. A medida que agumenta a percentagem do bio carvão de folhas de eucalipto na matriz do carvão, aumenta a tendência a adequação ao modelo de segunda ordem e com isso a quimissorção. Esse aumento da percentagem na mistura, promoveu a redução capacidade maxima de adsorção de (260, 175, 206 e 170 mg g⁻¹) para os adsorventes CA1, CA2, CA3 e CA4 respetivamente.

Palavras-chave: Água; Carvão activado; pré-mistura; Sabugo de milho; Folhas de eucailpto; Adsorção.

ABSTRACT

Water is a natural and renewable resource through the hydrological cycle, covering 70% of the Earth's surface. Of the total water available, it faces the problem of quality deterioration due to contamination caused by anthropogenic activities. For its safe reuse, technologies such as activated carbon are employed to purify water, protecting the environment and human health. Activated carbons are a form of carbon obtained through physical or chemical activation processes, and they are extremely important materials as they are used as adsorbents in numerous processes. In this study, biochar from corn cob and biochar from eucalyptus leaves were used. The biochar from corn cob was pre-mixed with biochar from eucalyptus leaves in different mass proportions (15%, 30%, and 50%) and subjected to the same activation conditions. To evaluate the effects of the modifications promoted by the pre-mixing, adsorption tests were conducted using water contaminated with methylene blue dye, employing two kinetic models: the pseudo-first order kinetic model and the pseudo-second order kinetic model. It was found that CA1 fits the first-order model, while CA2, CA3, and CA4 fit the second-order model. As the percentage of biochar from eucalyptus leaves in the carbon matrix increases, the tendency to fit the second-order model increases, along with chemisorption. This increase in the mixture percentage led to a reduction in the maximum adsorption capacity of (260, 175, 206, and 170 mg g⁻¹) for adsorbents CA1, CA2, CA3, and CA4, respectively.

Keywords: Water; Activated carbon; pre-mixing; Corn cob; Eucalyptus leaves; Adsorption.

ÍNDICE

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	i
LISTA DE FIGURAS	ii
LISTA DE GRÁFICOS.....	iii
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE EQUAÇÕES.....	v
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objectivo Geral	2
1.2. Objectivo Específicos.....	2
1.3. Justificativa.....	2
1.4. Metodologia.....	3
2. REVISÃO BIBLIGRÁFICA	4
2.1. Água.....	4
2.1.1. Águas residuais e suas características.....	4
2.1.2. Gestão de águas residuais	5
2.1.3. Águas residuais e os seres humanos e meio ambiente.....	5
2.1.4. Tecnologias de tratamento de águas residuais	6
2.2. Carvão Activado.....	6
2.3. Milho	7
2.4. Eucalipto	10
2.5. Corantes	11
2.6. Adsorção.....	12
2.6.1. Tipos de Adsorção.....	13
2.6.2. Factores que Influenciam a Adsorção	14
2.4.3. Isotermas de Adsorção	20
2.4.4. Modelos cinéticos	25

3. PARTE EXPERIMENTAL E PROCEDIMENTOS	28
3.1. Obtenção da matéria-prima.....	28
3.2. Pré-tratamento	28
3.3. Pirólise ou Carbonização primária	29
3.4. Moagem e classificação	29
3.5. Activação ou carbonização final.....	30
3.6. Lavagem e secagem do adsorvente	31
3.7. Caracterização do adsorvente	31
3.7.1. Densidade ou Massa específica.....	31
3.7.2. Teor de Humidade.....	31
3.8. Teste de Adsorção	32
3.8.1. Curva de Calibração.....	32
3.8.2. Teste de Remoção do Corante.....	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1. Rendimento.....	34
4.2. Destribuição do Tamanho de Particulas	34
4.3. Activação e Lavagem.....	36
4.4. Caracterização.....	36
4.5. Teste de adsorção	37
4.5.1. Curva de calibração.....	37
4.5.2. Remoção	39
4.5.3. Modelos cineticos	40
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	43
5.1. conclusões	43
5.2. recomendações.....	43
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

7. ANEXOS.....	49
7.1. Anexo 1.....	A
7.2. Anexo 2.....	B
7.3. Anexo 3.....	D
7.4. Anexo 4.....	F

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

CA1	Carvão activado com 100% sabugo de milho
CA2	Carvão activado com 85% sabugo e 15% folhas de eucalipto
CA3	Carvão activado com 70% sabugo e 30% folhas de eucalipto
CA4	Carvão activado com 50% sabugo e 50% folhas de eucalipto
C_0	Concentração inicial
C_e	Concentração de equilíbrio
C_t	Concentração em função do tempo
q	Capacidade de adsorção
q_{max}	Capacidade maxima de adsorção
AM	Azul de metileno
UV	Ultra violeta
Abs	Absorbância
m_{ads}	Massa do adsorvente
V	Volume da solução
pH	Potencial hidrogeniónico
Ppm	Partes por milhão
R%	Eficiência da Adsorção
IUPAC	International union of pure and applied chemistry
IUFRO	União Internacional de Organizações de Pesquisa Florestal
MADER	Ministério da Agricultura e Desenvolvimento Rural
ABNT	Associação Brasileira De Normas Técnicas
WWAP	World Water Assessment Programme

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Espiga de milho (- CEAGESP -).....	9
Figura 2: componentes externos do sabugo do milho (Roberto et al., 2018).....	9
Figura 3: Representação estrutural da molécula de Azul de metileno (Morais, 2014).....	12
Figura 4: Esquema apresentando os diferentes tipos de poros em um sólido quanto à forma: (T) poro de transporte, (A) poro aberto, (F) poro fechado e (G) poro tipo gaiola (Gregg & Sing, 1982)	16
Figura 5: Estrutura química de grupos funcionais com oxigênio na superfícies do CA: (A) Anidrido carboxílico, (B) Peróxido cíclico, (C) Carboxila, (D) Lactona, (E) Fenol, (F) Carbonila, (G) Éter, (H) Pirona e (I) Benzopirano (Marsh & Reinoso, 2006)	18
Figura 6: Tipos de Isoterma de adsorção (Lima et al., (2014) citado por Marcelino, (2020))	21
Figura 7: Fluxograma de actividades	28
Figura 8: moagem e classificação	30
Figura 9: lavagem dos adsorventes	31
Figura 10: Adsorção do azul de metileno	33
Figura 11: Bio-carvão de sabugo de milho e Bio-carvão de folhas de eucalipto	34
Figura 12: varredura do comprimento de maior absorbância.....	38
Figura 13: Resultado da adsorção para os carvões CA1, CA2, CA3 e CA4	40

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Classificação das partículas	35
Gráfico 2: Curva de calibração	39
Gráfico 3: Remoção em função do tempo.....	40
Gráfico 4: Cinética de pseudo primeira ordem	41
Gráfico 5: Cinética de pseudo segunda ordem	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: características gerais que distinguem a adsorção física da adsorção química .	14
Tabela 2: Tamanhos de poros típicos do carvão activado	17
Tabela 3: Correlação entre o fator de separação (RL) e o tipo de isoterma	23
Tabela 4: Resumo das caracterização dos adsorventes	37
Tabela 5: parâmetros referentes aos modelos cinéticos	42
Tabela A1- 1: Densidade dos carvões.....	A
Tabela A2- 1: Resultados da remoção do AM em função para o CA1.....	B
Tabela A2- 2: Resultados da remoção do AM em função para o CA2.....	B
Tabela A2- 3: Resultados da remoção do AM em função para o CA3.....	C
Tabela A2- 4: Resultados da remoção do AM em função para o CA4.....	C
Tabela A3- 1: Resultados da comparação dos valores experimentais aos calculados usando os modelos cinéticos lineares pseudo primeira ordem e pseudo segunda ordem para CA1.....	D
Tabela A3- 2: Resultados da comparação dos valores experimentais aos calculados usando os modelos cinéticos lineares pseudo primeira ordem e pseudo segunda ordem para CA2.....	D
Tabela A3- 3: Resultados da comparação dos valores experimentais aos calculados usando os modelos cinéticos lineares pseudo primeira ordem e pseudo segunda ordem para CA3.....	E
Tabela A3- 4: Resultados da comparação dos valores experimentais aos calculados usando os modelos cinéticos lineares pseudo primeira ordem e pseudo segunda ordem para CA4.....	E

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Isoterma de Langmuir	22
Equação 2: Equação linearizada do modelo de Langmuir	22
Equação 3: Factor de separação	23
Equação 4: Isoterma de Freundlich.....	24
Equação 5: Equação linearizada do modelo de Freundlich	24
Equação 6: modelo cinético de pseudo primeira ordem.....	26
Equação 7: Modelo Cinético Linear de Pseudo Primeira Ordem	26
Equação 8: modelo cinético de pseudo segunda ordem.....	27
Equação 9: modelo cinético não linearizado de segunda ordem	27
Equação 10: modelo cinético linearizado de segunda ordem	27
Equação 11: Rendimento da Carbonização primaria	29
Equação 12: Taxa de impregnação	30
Equação 13: determinação da massa específica.....	31
Equação 14: Remoção percentual	33
Equação 15: Capacidade de adsorção em função do tempo.....	33

1. INTRODUÇÃO

Água é um recurso natural e renovável por meio do ciclo hidrológico, sendo encontrada principalmente no estado líquido e que cobre cerca de setenta por cento da superfície do planeta terra. É uma substância essencial a todas as formas de vida, sendo a sua disponibilidade um dos factores mais importantes para a definição dos ecossistemas.

A pesar de sua importância, a água tem enfrentado uma grande contaminação devido rápido crescimento populacional, intensificação das atividades agrícolas e industriais, urbanização e factores climáticos (Benedini & Tsakiris, 2013). Os efluentes da indústria têxtil, estão entre os poluentes que mais contamina em termos de composição e volume gerado o que afecta a qualidade da água e conseqüentemente sua disponibilidade em todo o mundo (Arslan et al., 2016)

Esses efluentes podem causar sérios problemas ambientais e preocupações com a saúde pública se forem descartados de maneira inadequada. Esses componentes altamente coloridos, quando descarregados com águas residuais nos corpos de água, interrompem a capacidade de reoxigenação da água receptora e bloqueiam a entrada de luz solar, perturbando assim a actividade biológica na vida aquática (Kumbasar & Körlü, 2016).

A remoção da cor tem sido uma questão desafiadora devido à falta de um método economicamente viável e eficaz para descolorir corantes. É crucial desenvolver novas tecnologias ou aprimorar as existentes para melhorar a descolorização de águas residuais

Nesse contexto, surge a ideia de se produzir carvão activado usando a mistura do subugo de milho (um residuo agrícola abundante e subutilizado) e folhas de eucalipto que são um residuo da industria madeireira. O que pode não apenas contribui para o desenvolvimento de soluções mais eficientes e sustentáveis para o tratamento de efluentes contaminados por corantes, mas também pode abrir caminho para o aproveitamento de recursos naturais renováveis e o desenvolvimento de tecnologias mais acessíveis.

1.1. Objectivo Geral

- Avaliar o desempenho e o potencial do carvão activado a base do sabugo de milho e folhas de eucalipto no tratamento de águas residuais da industria têxtil.

1.2. Objectivo Específicos

- Produzir carvão activado a partir da mistura de sabugo de milho e folhas de eucalipto (15, 30 e 50%);
- Caracterizar as amostras de carvão activado produzidas;
- Avaliar o desempenho das amostras de carvão activado na remoção do contaminante azul de metileno em solução aquosa.

1.3. Justificativa

A poluição das águas por corantes de efluentes industriais representa um sério problema ambiental, pois esses compostos podem ser tóxicos e persistentes, afectando negativamente os ecossistemas aquáticos e a biodiversidade. O carvão activado convencional, eficaz na remoção de contaminantes como corantes, é produzido a partir do carvão mineral e madeira, contribuindo ao desmatamento, perda de biodiversidade e degradação do solo. Em contraste, o carvão activado derivado de fontes renováveis, como o sabugo de milho e as folhas de eucalipto, promove a sustentabilidade ao reduzir a dependência de recursos não renováveis e minimizar o impacto ambiental associado à produção de adsorventes convencionais.

A pesquisa sobre o desempenho do carvão activado à base do sabugo de milho e folhas de eucalipto no tratamento de corantes promove a inovação tecnológica no campo do tratamento de água, estimulando o desenvolvimento de novas soluções e abordagens para enfrentar os desafios ambientais globais. Portanto, a investigação neste tema é justificada pela sua relevância ambiental, social e económica, bem como pelo potencial de contribuir para o desenvolvimento de soluções sustentáveis para o tratamento de efluentes contaminados por corantes.

1.4. Metodologia

A metodologia aplicada para a realização do presente trabalho de licenciatura está descrita nos pontos seguintes:

- Revisão Bibliográfica que consistiu na sistematização de informações obtidas em livros, artigos científicos, trabalhos de licenciatura, dissertações, páginas web, entre outros documentos relacionados ao tema em estudo;
- Parte experimental que consistiu na produção dos carvões activados, sua caracterização e respectiva avaliação do desempenho no tratamento das águas residuais textéis;
- Análise e discussão dos resultados obtidos; e
- Elaboração do Trabalho de Licenciatura.

2. REVISÃO BIBLIGRÁFICA

2.1. Água

A água desempenha um papel crucial em diversas actividades cotidianas, como o abastecimento doméstico e industrial, a irrigação agrícola, o fornecimento para animais, a preservação da vida aquática, o lazer e a recreação, a criação de espécies aquáticas, a geração de energia eléctrica, a harmonia paisagística, a navegação e o transporte de resíduos. No entanto, o mundo enfrenta desafios significativos devido ao aumento da demanda por água potável, impulsionada pelo crescimento populacional. A disponibilidade de água doce não tem acompanhado esse ritmo acelerado de crescimento. A escassez hídrica é particularmente crítica na irrigação agrícola, que representa aproximadamente 70% do uso total de água doce globalmente (WWAP, 2012)

Em diversas regiões do mundo, as actividades industriais, agrícolas e domésticas são as principais fontes de águas residuais. Essas águas residuais são coletadas por meio de sistemas de esgoto, compostos por tubos subterrâneos, e direcionadas para uma ou mais estações de tratamento. No entanto, em muitas cidades e vilas, os sistemas de tratamento de águas residuais têm se mostrado ineficazes. Isso se deve frequentemente ao facto de serem arcaicos, inadequados para tratar determinados tipos de efluentes, ou simplesmente pela inexistência de sistemas apropriados para esse fim (Popa et al., 2012).

2.1.1. Águas residuais e suas características

A água pelas suas propriedades como solvente natural e sua capacidade de transportar mais partículas, incorpora em si muitas impurezas que afectam sua qualidade. Devido ao seu uso no abastecimento doméstico, abastecimento industrial, geração de energia eléctrica, irrigação, navegação, abastecimento animal, harmonia da paisagem, preservação da vida aquática, diluição e transporte de resíduos, recreação e lazer, etc., é muito importante que estas águas sejam tratadas antes da sua reutilização (Cavalline & Campos, 2013). As características químicas, físicas ou bacteriológicas variam de região para região dependendo da sua localização geográfica. Estudos da qualidade da água em vários efluentes revelaram que as actividades antropogénicas têm um impacto externamente negativo na qualidade da água a jusante de muitos rios e isso resulta de efeitos cumulativos do desenvolvimento a montante, mas também da existência de

estações de tratamento de águas inadequados. A qualidade da degradação da água é geralmente avaliada através de parâmetros tais como demanda química de oxigênio (DQO), sólidos suspensos totais (SSTs), nitrogénio total (NT), fósforo total (FT), ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn), Chumbo (Pb) etc., que resultam das águas residuais lançadas nos rios ou outros cursos de água (Popa et al., 2012).

2.1.2. Gestão de águas residuais

Desde o início do século 21, o mundo enfrenta uma crise de qualidade da água resultante do contínuo crescimento populacional, urbanização, mudança no uso da terra, industrialização, práticas de produção de alimentos, aumento do padrão de vida e más práticas de uso da água com más estratégias de gestão (National Research Council (NRC), 2012). A gestão de águas residuais tem impacto directo na diversidade biológica da vida aquática. Melhorar o saneamento e o ambiente marinho através da redução da poluição constitui uma ferramenta importante e faz parte do rol de vários Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

2.1.3. Águas residuais e os seres humanos e meio ambiente

Algumas águas residuais, especialmente as águas residuais industriais ou domésticas, contêm numerosos e complexos poluentes, incluindo corantes, fenóis, bifenilos policlorados, éter metil-terc-butílico, plastificantes, metais pesados, produtos farmacêuticos e de cuidados pessoais, compostos halogenados, poluentes orgânicos persistentes, produtos químicos bioacumulativos e tóxicos, como pesticidas, microrganismos patogénicos e ocasionalmente material radioativo de ocorrência natural (Barceló, 2005; Wang et al., 2008, Huang et al., 2012). Estes poluentes constituem um perigo para os seres humanos, animais, plantas e o meio ambiente. Muitos deles podem ser tóxicos para os seres humanos e a vida aquática, radioativos ou corrosivos. Podem igualmente prejudicar a saúde dos ecossistemas ao esgotar o oxigênio ou causar proliferação de algas, ou podem interagir com desinfetantes nas estações de tratamento de água potável, formando produtos químicos secundários causadores de cancro (Hammer et al., 2012). As doenças mais comuns resultantes do consumo ou exposição das águas contaminadas destacam-se as doenças diarreicas de veiculação hídrica, como, por exemplo, febre tifoide, cólera, salmonelose, shigelose e outras gastroenterites,

poliomielite, hepatite A, verminoses, amebíase, giardíase dentre outras (Leser et al., 1985).

2.1.4. Tecnologias de tratamento de águas residuais

O tratamento de águas é a opção de gestão mais complexa. As águas resultantes do processo de tratamento podem ter vários destinos dentre os quais o despejo ou descarte, aplicações industriais distintas ou mesmo água para o consumo (Kılıç, 2020).

segundo Aisan et al. (2018) diz que a remoção de corantes da água de forma económica continua a ser um desafio importante para os cientistas. Processos como coagulação/floculação, filtração por membrana, troca iônica e adsorção também são usados para tratar águas residuais contendo corantes. Mas a adsorção ganha destaque devido à sua eficiência comprovada, à facilidade de uso e à insensibilidade a materiais tóxicos sem resultar na formação de substâncias nocivas, bem como à disponibilidade de uma ampla gama de adsorventes (Yahya et al., 2015).

A adsorção pelo carvão activado tem sido amplamente utilizada para tratamento de águas residuais devido à sua área superficial e volume de microporos excepcionalmente elevados, bem desenvolvida microporosidade interna, distribuição favorável do tamanho dos poros e alta eficiência de adsorção juntamente com a disponibilidade de recursos de baixo custo, como resíduos vegetais. Recentemente, uma enorme variedade de resíduos agrícolas tem sido usada como precursores de carvão ativado, incluindo casca de arroz, caroço de fruta, casca de palmeira, casca de amêndoa, casca de coco, casca de pistache, bagaço de cana-de-açúcar, folhas de chá gastas, folhas de eucalipto capim, sabugo de milho, etc.

2.2. Carvão Activado

Carvão activado em seu sentido mais amplo é um termo que inclui uma ampla gama de compostos amorfos. Materiais carbonáceos que exibem um alto grau de porosidade, uma variedade de grupos funcionais e uma extensa área de superfície interparticulada. Devido as suas características e propriedade têm sido amplamente utilizados como adsorvente em diversos segmentos (Bansal & Goyal, 2005).

Bansal & Goyal (2005) diz que produzir carvão activado envolve dois etapas: Carbonização de materiais carbonáceos a temperaturas abaixo de 800°C, numa atmosfera inerte e a activação do produto da carbonização. Durante o processo de carbonização, a maioria dos elementos não carbonosos, como oxigênio, hidrogênio e nitrogênio, são eliminados como espécies gasosas voláteis pela decomposição pirolítica do material de partida. Os átomos de carbono elementares residuais agrupam-se em pilhas de folhas planas e aromáticas, reticuladas de maneira aleatória. Essas folhas aromáticas estão dispostas irregularmente, o que deixa interstícios livres. Esses interstícios dão origem a poros, que tornam os carvões activados excelentes adsorventes. Esta estrutura de poros no carvão carbonizado é ainda mais desenvolvida e aprimorada durante o processo de activação, que converte a matéria-prima carbonizada em uma forma que contém o maior número possível de poros distribuídos aleatoriamente de vários tamanhos e formas, semelhante a uma rede de túneis que se bifurcam em sucessivos canais menores dando origem a uma superfície extremamente alta.

A activação pode ser classificada em dois grandes grupos; a activação física e a activação química (Soares, 2001).

A activação física do carvão geralmente é realizada em atmosfera de ar, CO₂ ou vapor na faixa de temperatura de 800°C a 900°C (Bansal & Goyal, 2005). A activação química envolve a impregnação de agentes desidratantes como bases (NaOH, KOH) e ácidos (H₃PO₄, HCL, H₂SO₄). No caso das bases geralmente a activação é feita sobre o precursor pré-carbonizado enquanto que, no caso dos ácido sobre o precursor ainda não carbonizado com posterior carbonização a temperaturas superiores a 400°C (Soares, 2001).

Após a activação, o material passa por um processo de lavagem que ajuda na remoção do agente activante e de produtos resultantes da decomposição, contribuindo assim na desobstrução da estrutura porosa (Marsh & Reinoso, 2006).

2.3. Milho

Conforme Vilanculo (2016) milho é uma planta da família das gramíneas, oriunda da América, da faixa tropical do hemisfério norte. Há indícios que seu surgimento tenha

ocorrido no México, América Central ou sudoeste dos Estados Unidos, sendo que já era cultivado desde a Argentina até o Canadá quando os europeus chegaram ao continente.

O milho se configura como um cereal de grande importância, cultivado em muitos países, sendo fundamental na cadeia produtiva de vários sectores, pois se destina tanto para o consumo humano como por ser empregado para alimentação de animais (Vilanculo, 2016).

A produção mundial de milho em 2021 superou 1,2 trilhão de toneladas e entre 2000 e 2021 aproximou-se de 20 trilhões de toneladas. Estados Unidos e China se estabeleceram como maiores produtores nos períodos considerados (Aragão & Contini, 2022).

Em Moçambique o milho é uma cultura estratégica, devido ao alto grau de relevância do cereal na alimentação humana e animal, segurança alimentar, desenvolvimento regional e nas relações comerciais, apresentando maiores níveis de produção nas províncias de Manica e Tete sendo produzido em média escala na zona sul do país, tanto na produção de subsistência assim como para o comércio (Jasse, 2013).

A espiga do milho é formada pela fusão de várias espiguetas femininas em um eixo comum, fusão que dá origem ao sabugo; pelas sementes e por brácteas (a palha do milho) que protegem o interior da espiga. A barba do milho é formada por estigmas de cada flor feminina (cada flor apresenta um estigma) (Figura 1). O sabugo de milho é a parte central da espiga de milho, onde estão presos os grãos de milho. Estruturalmente, o sabugo de milho dividi-se em quatro partes fundamentais: palha fina, a região externa do sabugo; palha grossa, camada que se segue à palha fina; anel lenhoso, região interna que constitui mais de 50% do sabugo; e medula região interna do anel lenhoso (Figura 2) (Foley & Vander-Hooven, 1981). A palha fina constitui aproximadamente 5% do sabugo de milho em peso; a palha grossa 33%; o anel lenhoso 60% e a medula, 2%. Contudo, estas proporções e as características físicas de cada parte do sabugo de milho podem variar de acordo com o cultivar.

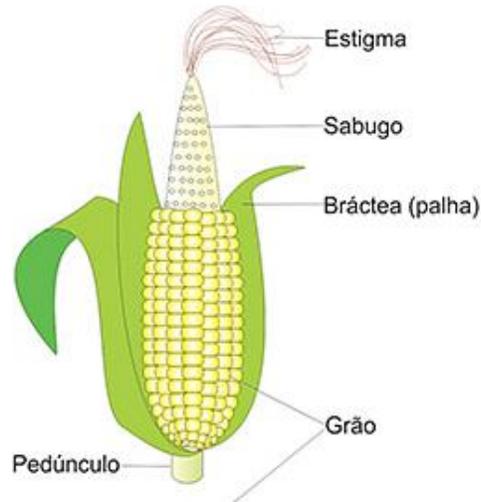


Figura 1: Espiga de milho (- CEAGESP -)

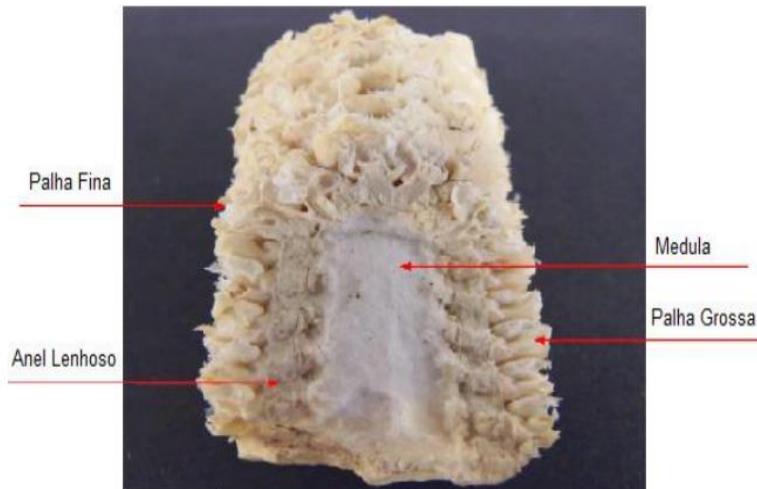


Figura 2: componentes externos do sabugo do milho (Roberto et al., 2018).

O sabugo vem tendo grande utilidade para vários produtos químicos, como o plásticos, colas adesivas, compostos de borracha e pneus, isso por ser inerte e devido à sua dureza e resistência; o sabugo é utilizado também como abrasivo e polidor em produtos de limpeza, fabricação de tijolos e cerâmica. Ainda no âmbito industrial, uma das utilizações

do sabugo de milho é a produção do composto químico furfural (Foley & Vander-Hooven, 1981).

Algumas das utilizações do sabugo provem da utilização da farinha obtida a partir desse subproduto. Dependendo da granulometria dessa farinha, pode-se usar até na produção de explosivos; usar ainda como veículos de vitaminas; em veterinária e ração animal; e utilizar também para o polimento de materiais associados a produtos químicos (Foley & Vander-Hooven, 1981).

2.4. Eucalipto

Eucalyptus sp. originária da Austrália, pertence a um grande gênero, com cerca de 600 espécies, as quais apresentam a capacidade de se desenvolver nos mais variados climas; desértico, tropical, nos ambientes sub-alpinos da Austrália, sendo cultivada em muitos outros climas ao redor do mundo e estando atualmente entre as plantas mais cultivadas do mundo (Doughty, 2000).

A produção do eucalipto tem sido uma das alternativas associadas à preservação ambiental e ao aumento do nível de emprego e renda têm sido geradas visando à melhoria da qualidade de vida dos produtores e sociedade em geral. O plantio de florestas de eucalipto tem sido utilizado como um Sistema Agroflorestral, que consiste na combinação de cultivos simultâneos e/ou seqüenciais de espécies arbóreas naturais e/ou introduzidas com culturas agrícolas anuais através de culturas frutíferas, pastagens, etc. (Rodigheri, 1998).

As árvores de eucalipto cobrem cerca de 20 milhões de hectares em mais de 90 países ao redor do mundo, com grandes centros no Brasil (5,7 milhões de hectares), Índia (3,9 milhões de hectares) e China (4,5 milhões de hectares). Os eucaliptos são amplamente cultivados em plantações comerciais para a produção de matéria-prima para a indústria (celulose e papel, carvão vegetal, madeira serrada, painéis de madeira), mas também em pequenos lotes para produção de lenha e carvão para uso doméstico (IUFRO, 2018). O Brasil continua na topo da produção mundial de eucalipto, mas atualmente com 7,55 milhões de hectares de área plantada segundo.

Entre 2010 e 2020 Moçambique ocupou a 10^a entre os países com maiores perdas médias anuais de área florestal, como forma de combater essas perdas o governo Moçambicano através do projecto “Floresta em Pé ” pretender fazer o reflorestamento (usando Eucalipto) numa área de 8,9 milhões de hectares, que compreende 16 distritos nas províncias de Cabo Delgado e Zambézia. Estima-se que Moçambique tenha uma plantação de Eucalipto em torno de 70.721,18 hectares e se espera restaurar 1 milhão de hectares de florestas até 2030 (Romua, 2023; MADER, 2021; World Bank, 2017;MADER, 2017).

Segundo Ambiente Brasil, (2008) citado por (Brum, 2010) As espécies de eucalipto são compostas por tronco, cascas, flores, frutos e folhas. As folhas são distribuídas em folhagem persistente e são cobertas de glândulas que segregam óleo. Quando jovens as suas folhas são arredondadas e ocasionalmente, sem pecíolo. Depois de um a dois anos de crescimento, a maior parte das espécies passa a apresentar folhas alternadas, lanceoladas a falciformes (com forma semelhante a uma foice), estreitas e pendidas a partir de longos pecíolo.

O eucalipto é utilizado em diversos segmentos comerciais e industriais, onde toda a planta é aproveitada. Das folhas, extrai-se o óleo essencial empregado em produtos de limpeza e alimentícios, em perfumes e na indústria farmacêutica. A casca oferece tanino, usado no curtimento do couro. O tronco fornece madeira para sarrafos, lambris, ripas, vigas, postes, varas, esteios para minas, mastros para barco, tábuas para embalagens e móveis. Sua fibra é utilizada como matéria-prima para a fabricação de papel e celulose (EMBRAPA, 2008).

2.5. Corantes

Os corantes sintéticos são compostos orgânicos extensivamente usados em diversas áreas, dentre as quais podemos destacar a indústria têxtil, farmacêutica, de cosméticos, de plásticos, de couro, fotográfica, automobilística, de papel e alimentícia. Eles são usados em detrimento dos corantes naturais desde 1856 após a primeira síntese de um corante artificial levada a cabo por W. H. Perkin na Inglaterra. O emprego de corantes sintéticos em detrimento dos naturais tem sido justificado pelo baixo custo de produção, pela infinita hipótese de síntese com grupos cromóforos e auxocrômicos diferenciados

que ampliam a diversidade de cores e tonalidades, pelo maior grau de pureza, fidelidade da cor e pelo maior grau de pureza. Estima-se que anualmente são produzidas milhões de toneladas que movimentam um mercado de US\$7.7 bilhões/ano.

O azul de metileno é um corante orgânico que foi sintetizado pela primeira vez em 1876 por Heinrich Caro. Sua molécula é usada como modelo em diversos estudos de adsorção entre eles a avaliação do material quanto a sua meso porosidade que, segundo a IUPAC, corresponde ao diâmetro entre 2 a 50 nm. Tem de fórmula química $C_{16}H_{18}N_3SCl$ e de massa molecular 318,8g/mol. Azul de metileno

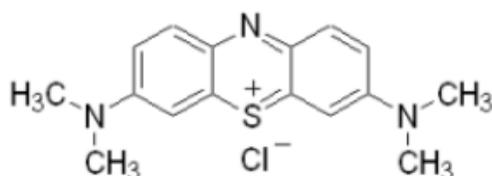


Figura 3: Representação estrutural da molécula de Azul de metileno (Morais, 2014).

Segundo (Aygün et al., 2003), o corante azul de metileno é um dos compostos mais utilizados em teste de adsorção porque é considerado um composto modelo para o estudo da remoção de contaminantes orgânicos de soluções aquosas. Em relação aos riscos ambientais, se o azul de metileno for lançado em lagos ou em rios sem tratamento adequado, pode gerar alterações na atividade fotossintética, pois de certa forma impede a passagem de radiação solar. Dessa forma, provoca modificações na biota aquática e causa toxicidade aguda e crônica desses ecossistemas (Honorato et al., 2015)

2.6. Adsorção

A adsorção é uma operação de transferência de massa, que estuda a capacidade que certos sólidos têm de concentrar na sua superfície determinadas substâncias existentes em fluidos líquidos ou gasosos, possibilitando a separação dos componentes desses fluidos. Uma vez que os componentes adsorvidos, concentram-se sobre a superfície externa, quanto maior for esta superfície externa por unidade de massa sólida, tanto mais favorável será a adsorção. Por isso, geralmente os adsorventes são sólidos com partículas porosas (Ruthven, 1984). Os materiais adsorventes são sólidos que exibem um alto grau de porosidade. Adsorvato ou adsorbato é normalmente denominada a espécie

que se acumula na interface do material e adsorvente ou adsorbente a superfície sólida na qual o adsorvato se acumula (Ruthven, 1984).

2.6.1. Tipos de Adsorção

Segundo Nascimento et al. (2014) dependendo da força de ligação envolvida entre o adsorvente e o adsorvato, a adsorção pode ser classificada em dois tipos designadamente adsorção física e adsorção química.

2.6.1.1. Adsorção Física

Na adsorção física ou fisissorção ou adsorção de van der Waals, as moléculas adsorvidas não entram na rede cristalina do sólido nem se dissolvem nela, mas concentram-se apenas na superfície do sólido. No entanto, se o sólido for altamente poroso, a substância adsorvida pode, por vezes, entrar nos poros. A adsorção física é causada por forças intermoleculares de atração entre as moléculas do adsorvente e as da substância adsorvida. Durante a adsorção de gases, o calor liberado é da ordem do calor de sublimação do gás. A adsorção física é um processo altamente reversível e a substância adsorvida pode ser facilmente dessorvida diminuindo a pressão ou aumentando a temperatura (Nascimento et al., 2014).

2.6.1.2. Adsorção Química

Processo frequentemente irreversível, é o resultado da interação química entre o sólido e a substância adsorvida. A força da união química geralmente é muito maior que a observada na adsorção física, podendo variar consideravelmente levando a mudanças da substância original. A mesma substância, que em condições de baixa temperatura, sofreria essencialmente adsorção física sobre um sólido, algumas vezes exibem quimissorção a temperaturas mais elevadas. Além disso, os dois fenômenos podem ocorrer ao mesmo tempo. O calor libertado durante a quimissorção é grande, é semelhante ao calor de uma reação química (Nascimento et al., 2014).

Tabela 1: características gerais que distinguem a adsorção física da adsorção química

Critério	Adsorção Física	Adsorção Química
Calor de adsorção (ΔH)	Baixo calor de adsorção (2 á 3 vezes menor que o calor latente de vaporização).	Alto calor de adsorção (2 á 3 vezes maior que o calor latente de vaporização).
Área específica	Não específica.	Altamente específica.
Camadas formadas	Monocamadas ou multiplas camadas; sem dissociação das espécies adsorvidas.	Monocamadas; pode ocorrer dissociação das espécies adsorvidas.
Temperatura	Significativa a temperaturas reactivamente baixas.	Ocorre em uma ampla faixa de temperatura.
Natureza do processo	Rápido, reversível.	Pode ser lento, irreversível.
Tipo de ligação	Sem transferência de eléctrones, embora possa ocorrer a polarização do adsorvato	Com transferência de eléctrones e formação de fortes ligações químicas entre o adsorvato e a superfície.

Fonte: adaptado de (Ruthven, 1984)

2.6.2. Factores que Influenciam a Adsorção

A adsorção é um fenômeno que resulta da combinação de forças envolvidas na adsorção química e na adsorção física. Portanto, são inúmeros factores que influenciam o processo de adsorção como: natureza do adsorvente, do adsorvato e das condições operacionais. As características do adsorvente incluem: área superficial, tamanho do poro, densidade, grupos funcionais presentes na superfície e hidrofobicidade do material. Por outro lado, a natureza do adsorvato depende da polaridade, do tamanho da molécula, da solubilidade e da acidez ou basicidade. As condições operacionais incluem, principalmente, temperatura, pH e natureza do solvente (Cooney, 1999).

2.6.2.1. Propriedades do Adsorvente

Todos os materiais carbonáceos podem ser convertidos em material adsorvente (carvão activado ou bioadsorvente), embora as propriedades do produto final variem dependendo da matéria-prima de origem, do histórico de preparação, que inclui agente de activação, condições do processo de activação e tratamentos que venham a ser feitos (Bansal & Goyal, 2005)

A natureza físico-química do adsorvente é fator decisivo, uma vez que a taxa e a capacidade de adsorção dependem das características texturais como área superficial específica, porosidade, volume específico de poros, distribuição do tamanho de poros, dos grupos funcionais presentes na superfície e da natureza do material precursor (Domingues, 2005).

2.6.2.1.1. Porosidade

Os carvões ativados, em geral, têm uma superfície interna que compreende poros de diferentes tamanhos e formas (Bansal & Goyal, 2005). A porosidade é uma das propriedades físico-químicas mais importantes para um bom desempenho de um carvão activado, pois é nos poros que a maior parte do processo de adsorção ocorre. O tamanho e forma dos poros influenciam na acessibilidade das moléculas de adsorvato à superfície interna do (Gonçalves, 2012).

Dubinín citado por Bansal & Goyal (2005) propôs uma classificação quanto à dimensão dos poros que foi adotada pela International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). Estabelece que os poros são divididos em três tamanhos: microporos, mesoporos e macroporos. Os microporos possuem dimensões moleculares menores que 2 nm que contribuem para a maior parte da área superficial. Os mesoporos são caracterizados de 2 a 50 nm, importantes para a adsorção de grandes moléculas. E os macroporos, que possuem poros maiores que 50 nm, os quais contribuem no transporte de moléculas, não sendo interessantes para o processo da adsorção.

Em relação a forma, os poros do carvão activado são classificados em poros abertos, fechados, de transporte ou tipo gaiola. Os poros abertos são aqueles que se comunicam com a superfície externa, enquanto os poros fechados, são buracos isolados.

Os poros de transporte são aqueles que permitem o fluxo de um fluido através do sólido poroso, podendo apresentar braços que são chamados de gaiolas e que não contribuem para o fenômeno de transporte.

A figura 4 é uma ilustração da forma das poros encontrados no carvão activado, enquanto a tabela 2 apresenta detalhes da classificação dos poros quanto à dimensão.

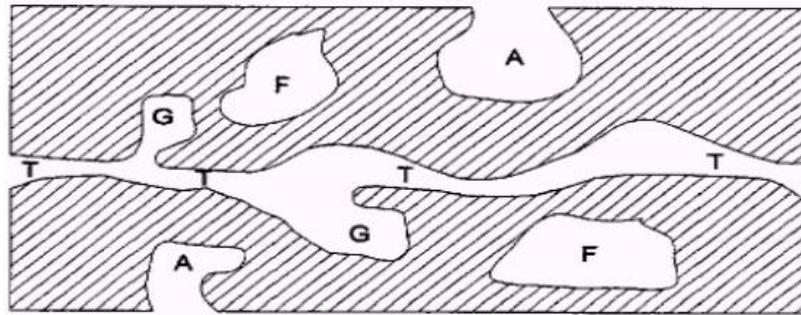


Figura 4: Esquema apresentando os diferentes tipos de poros em um sólido quanto à forma: (T) poro de transporte, (A) poro aberto, (F) poro fechado e (G) poro tipo gaiola (Gregg & Sing, 1982)

Tabela 2: Tamanhos de poros típicos do carvão activado

Tipo de poros	Densidade da partícula 0.6-0.9 (cm ³ /g); porosidade 0.4-0.6			
	Diâmetro medio (Å)	Volume de poro (cm ³ /g)	Área superficial (m ² /g)	Função principal
Micróporos	< 20	0.15-0.5	100-1000	Contribuir para maior área superficial e na adsorção de moléculas pequenas.
Mesoporos ou poros de transição	20-500	0.02-0.1	10-100	Contribuem para maior área superficial em carvões impregnados com produtos químicos e na adsorção de moléculas grandes.
Macróporos	>500	0.2-0.5	0.5-2	Sem importância para adsorção, servem como meio de transporte para as moléculas.

Fonte: adaptado de (Ruthven, 1984)

2.6.2.1.2. Área superficial específica

A intensidade da adsorção é proporcional à área superficial específica, visto que a adsorção é um fenómeno de superfície. Para partículas maiores, a resistência à difusão é menor e grande parte da superfície interna da partícula não é disponibilizada para adsorção (Sekar et al., 2004).

A área superficial compreende as superfícies interna e externa do carvão ativado. A primeira representa as paredes dos microporos com uma área superficial bastante elevada. A segunda constitui as paredes dos mesoporos e macroporos, com área superficial variando entre 10 e 200 m²/g, comparativamente muito menor a que dos

microporos. Os carvões ativados amplamente utilizados como adsorventes têm uma área superficial específica da ordem de 800 a 1500 m²/g (Bansal & Goyal, 2005).

2.6.2.1.3. Estrutura Química

Um outro factor importante para o desempenho do carvão ativado como adsorvente é a sua estrutura química superficial, que compreende ligações orgânicas, principalmente pela associação de átomos de carbono com heteroátomos de hidrogênio (H), oxigênio (O), nitrogênio (N) e enxofre (S), além de componentes inorgânicos que formam as cinzas (Bansal & Goyal, 2005).

Entre os heteroátomos que mais influenciam as propriedades dos carvões ativados destaca-se o oxigênio, o qual tem atuação direta nos processos de adsorção e degradação, podendo conferir um caráter ácido ou básico na superfície do carvão. A figura 4 mostra exemplos de grupos funcionais de oxigênio a serem encontrados em superfícies de carbono (Marsh & Reinoso, 2006).

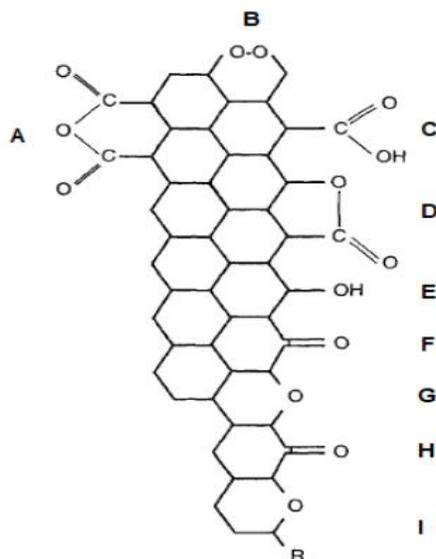


Figura 5: Estrutura química de grupos funcionais com oxigênio na superfícies do CA: (A) Anidrido carboxílico, (B) Peróxido cíclico, (C) Carboxila, (D) Lactona, (E) Fenol, (F) Carbonila, (G) Éter, (H) Pirona e (I) Benzopirano (Marsh & Reinoso, 2006)

2.6.2.1.4. Natureza do precursor

Todos os materiais carbonáceos podem ser convertidos em carvão activado, a natureza do precursor, o agente activador e as condições do processo de activação são determinantes no processo de adsorção uma vez que cada material irá garantir propriedades específicas e singulares ao adsorvente (Bansal & Goyal, 2005).

2.6.2.2. Propriedades do Adsorvato

O tamanho da espécie a ser adsorvida é sempre importante quando a taxa de adsorção é dependente do transporte intraparticular. Outra característica de forte influência é a polaridade do adsorvato, uma vez que uma espécie polar terá mais afinidade para o solvente ou para o adsorvente, conforme a polaridade (Domingues, 2005).

Os grupos polares (hidroxilas, carboxílicos, aminas etc) são bastante comuns em materiais lignocelulósicos. Esses grupos funcionais têm uma afinidade por metais bastante conhecida, promovendo uma melhor interação entre o íon metálico e a superfície do adsorvente (Nghah & Hanafiah, 2008).

2.6.2.3. Condições operacionais

2.6.2.3.1. Temperatura

Nos processos de adsorção, o efeito da temperatura sobre o sistema é muito importante e afecta, principalmente, a constante de velocidade de adsorção. O aumento da temperatura leva ao aumento da velocidade de difusão das moléculas do adsorvato em toda camada limite externa e interna nos poros da partícula do adsorvente, devido à diminuição na viscosidade da solução. Além disso, a variação da temperatura altera o estado de equilíbrio da adsorção para um determinado adsorvato (Doğan et al., 2006).

Um aumento da temperatura pode produzir uma desobstrução de poros no interior da estrutura do adsorvente, permitindo a penetração de moléculas maiores do adsorvato (Doğan et al., 2006).

2.6.2.3.2. Potencial Hidrogenio (pH)

Segundo Čerović et al. (2007) o pH é um parâmetro fundamental no processo de adsorção em solução, pois afecta a adsorção na medida em que determina a carga da superfície do adsorvente e governa as interações electrostáticas entre o adsorvente e o adsorvato. Esse efeito pode ser maior ou menor conforme o adsorvente, uma vez que as cargas da superfície do adsorvente dependem da sua composição e das características da superfície (Nascimento et al., 2014).

Materiais com carga superficial negativa terão maior afinidade por espécies positivas. O mesmo princípio se aplica aos materiais com carga superficial positiva.

2.6.2.3.3. Densidade

Densidade é uma propriedade física que relaciona a quantidade de massa que um material ocupa num determinado volume, sendo característica de cada substância. Medidas de densidade são afectadas por alterações de pressão, temperatura e composição química (PA, 2008).

2.4.3. Isotermas de Adsorção

Segundo Nascimento et al. (2014) isoterma de adsorção é um modelo matemático usado para estudar o processo de adsorção, e que mostra a relação de equilíbrio entre a concentração na fase fluida e a concentração no sólido adsorvente a uma dada temperatura. Para gases, a concentração é dada em percentagem molar como uma pressão parcial. Para líquidos, a concentração geralmente é expressa em unidades de massa. A concentração do adsorvido no sólido é dada como massa adsorvida por unidade de massa do adsorvente. Os gráficos obtidos através dessa relação de equilíbrio podem apresentar-se de várias formas, fornecendo informações importantes sobre o mecanismo de adsorção como demonstrado na Figura 6.

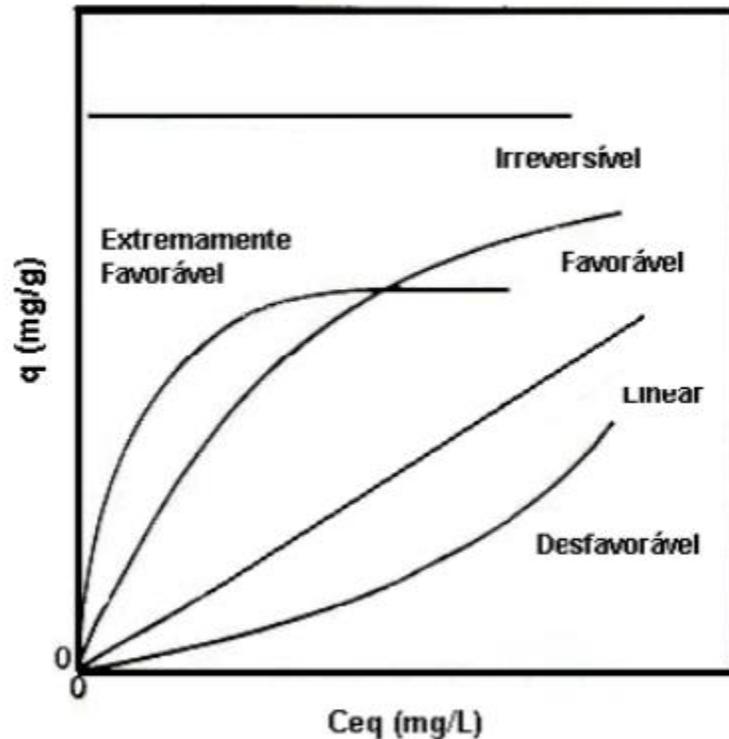


Figura 6: Tipos de Isoterma de adsorção (Lima et al., (2014) citado por Marcelino, (2020))

- Isoterma linear: a massa de adsorvato retida no adsorvente é proporcional à concentração de equilíbrio do adsorvato na fase fluida;
- Isoterma favorável: a massa de adsorvato retida no adsorvente é alta para uma baixa concentração de equilíbrio do adsorvato no meio;
- Isoterma extremamente favorável: a massa de adsorvato retida no adsorvente é extremamente alta para uma baixa concentração de equilíbrio do adsorvato no meio;
- Isoterma desfavorável: a massa de adsorvato retida no adsorvente é baixa mesmo para uma alta concentração de equilíbrio do adsorvato no meio;
- Isoterma irreversível: a massa de adsorvato retida no adsorvente é independente da concentração de equilíbrio do adsorvato no meio.

2.4.3.1. Isoterma de Langmuir

A equação da isoterma de Langmuir é a primeira isoterma de adsorção desenvolvida teoricamente. Muitas das equações propostas posteriormente e que se ajustam aos resultados experimentais em uma ampla faixa são baseadas nesta equação, ou essas equações foram desenvolvidas usando o conceito de Langmuir. Assim, a equação de Langmuir ainda mantém uma posição importante na fisissorção, bem como nas teorias de quimissorção (Bansal & Goyal, 2005).

Para derivar a equação, o cientista americano Irving Langmuir assumiu o seguinte:

- A superfície adsorvente é composta por um número finito de locais activos;
- A superfície adsorvente é perfeitamente lisa e homogênea;
- O modelo Langmuir é derivado teoricamente;
- Cada local activo acomoda apenas uma molécula adsorvida;
- Adsorção em monocamada;
- Não há interação entre moléculas adjacentes;
- O estado de energia de cada molécula adsorvida é o mesmo ao longo da superfície independente da presença ou ausência de outras moléculas adsorvidas em locais vizinhos.

A isoterma de Langmuir é representado pela seguinte equação1:

$$q_e = \frac{q_{max}K_L C_e}{1 + K_L C_e}$$

Equação 1: Isoterma de Langmuir

Frequentemente a equação 1 é rearranjada para a forma linear com o objectivo de determinar os parâmetros de K_L e Q_{max} , como mostrado na Equação 2.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max}} C_e + \frac{1}{K_L q_{max}}$$

Equação 2: Equação linearizada do modelo de Langmuir

q_e - quantidade de soluto adsorvida por grama de adsorvente no equilíbrio (mg g^{-1});

q_{max} - capacidade máxima de adsorção (mg g^{-1});

K_L - constante de interação adsorvato/adsorvente (L mg^{-1});

C_e - concentração do adsorvato no equilíbrio (mg L^{-1}).

Segundo Langmuir o grau de desenvolvimento do processo de adsorção é determinado pelo parâmetro de equilíbrio ou factor de separação (R_L), calculado a partir dos valores de q_{max} e K_L obtidos, aplicando a equação 1. Na Tabela 3, são apresentados os valores de R_L e os tipos de isotermas segundo o grau de desenvolvimento do processo de adsorção (Ortiz, 2000).

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_0}$$

Equação 3: Factor de separação

C_0 : concentração inicial (mg L^{-1}).

Tabela 3: Correlação entre o fator de separação (R_L) e o tipo de isoterma

Factor de separação (R_L)	Tipo de isoterma
$R_L = 0$	Irreversível
$0 < R_L < 1$	Favorável
$R_L = 1$	Linear
$R_L > 1$	Desfavorável

Fonte: (Marcelino, 2020)

2.4.3.2. Isoterma de Freundlich

O modelo proposto por Freundlich foi um dos primeiros a equacionar a relação entre a quantidade de material adsorvido e a concentração do material na solução em um modelo com características empíricas. Este modelo empírico pode ser aplicado a sistemas não

ideais, em superfícies heterogêneas e adsorção em multicamada (Ciola, 1981; Mckay, 1996).

O modelo considera o sólido heterogêneo, ao passo que aplica uma distribuição exponencial para caracterizar os vários tipos de sítios de adsorção, os quais possuem diferentes energias adsortivas (Freundlich, 1906; Febrianto et al., 2009).

A equação da isoterma de Freundlich assume a forma:

$$q_e = K_F C_e^{1/n}$$

Equação 4: Isoterma de Freundlich

A equação acima pode ser expressa na forma linearizada, tomando o logaritmo de cada lado, tornando-a:

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e$$

Equação 5: Equação linearizada do modelo de Freundlich

Em que:

q_e : quantidade de soluto adsorvido (mg g^{-1});

C_e : concentração de equilíbrio em solução (mg L^{-1})

$1/n$: constante relacionada à heterogeneidade da superfície;

K_F : constante de capacidade de adsorção de Freundlich ($\text{mg}^{1-(1/n)} (\text{g}^{-1}) \text{L}^{1/n}$).

Assim, para a determinação dos parâmetros K_F e $1/n$, a partir de regressão linear, um gráfico de q_e versus $\log C_e$ fornecerá uma inclinação de $1/n$ e um intercepto $\log K_F$ (Febrianto et al., 2009).

Analisando os pressupostos sugeridos pelo presente modelo e sua equação, é interessante comentar duas coisas a respeito. Primeiro, o modelo de Freundlich não impõe qualquer exigência de que a cobertura deve se aproximar de um valor constante, correspondente à formação de uma monocamada completa, à medida que C_e aumenta. Além disso, a forma da equação mostra que o valor de q pode continuar a aumentar, à medida que C_e aumenta. Contudo, analisando o processo de adsorção, vemos que isso é

fisicamente impossível, o que podemos concluir que dados experimentais que possuem elevados valores de C_e não são bem ajustados à equação de Freundlich (Cooney, 1999).

2.4.4. Modelos cinéticos

Cinética de adsorção é expressa como a taxa de remoção do adsorvato na fase fluida em relação ao tempo, envolvendo a transferência de massa de um ou mais componentes contidos em uma massa líquida externa para o interior da partícula do adsorvente, os quais deverão migrar através dos macroporos até as regiões mais interiores desta partícula. Em princípio, a cinética de adsorção pode ser conduzida por diferentes processos:

- a) Transferência de massa externa: a qual corresponde a transferência de moléculas da fase fluida para superfície externa da partícula adsorvente, por intermédio de uma camada de fluido que envolve a partícula.
- b) Difusão no poro: a qual é ocasionada pela difusão de moléculas no fluido para o interior dos poros.
- c) Difusão na superfície: a qual corresponde à difusão das moléculas totalmente adsorvidas ao longo da superfície do poro.

A primeira etapa da adsorção pode ser afetada pela concentração do adsorvato e pela agitação. Portanto, um aumento da concentração do soluto pode acelerar a difusão dos mesmos da solução para a superfície do sólido. A capacidade máxima de adsorção é obtida da isoterma de adsorção em equilíbrio.

A segunda etapa é geralmente considerada a etapa determinante, especialmente no caso de adsorventes microporosos. A velocidade de adsorção pode ser afetada pela temperatura, pH, força iônica, concentração inicial do adsorvato, agitação, tamanho das partículas e distribuição do tamanho dos poros.

Vários modelos cinéticos lineares são utilizados para examinar o mecanismo controlador do processo de adsorção, tais como reação química, controle da difusão e transferência de massa. Contudo, os modelos empregados com maior frequência são os de pseudoprimeira ordem e de pseudossegunda ordem (Rocha et al., 2012).

Para o estudo da cinética de adsorção normalmente se empregam os modelos cinéticos de Pseudo primeira ordem e Pseudo segunda ordem

2.4.4.1. Modelo cinético de Pseudo primeira ordem

Segundo Toledo et al. (2005), o modelo cinético Pseudo primeira ordem caracteriza-se por não haver partilha ou trocar eletrões entre o metal e o adsorvente. Este modelo considera que a velocidade de adsorção é proporcional ao número de sítios livres (Mimura et al., 2010), descrevendo um processo de adsorção física.

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t)$$

Equação 6: modelo cinético de pseudo primeira ordem

Onde:

k_1 : constante da taxa de adsorção de pseudoprimeira ordem (min^{-1});

q_e e q_t : são as quantidades adsorvidas por grama de adsorvente no equilíbrio e no tempo t , respectivamente (mg g^{-1}).

Após a integração da equação 6 e aplicando-se condições de contorno: $q_t = 0$, $t = 0$; quando $q_t = q_t$, $t = t$ obtém-seu

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t$$

Equação 7: Modelo Cinético Linear de Pseudo Primeira Ordem

O valor de k_1 pode ser determinado através do gráfico de $\ln(q_e - q_t)$ versus t .

2.4.4.2. Modelo cinético de pseudo segunda ordem

O modelo cinético Pseudo segunda ordem, diferentemente do Pseudo primeira ordem assume que a etapa determinante da velocidade compreende o mecanismo de interação do adsorvato com o adsorvente sendo dependentes das interações físico-químicas entre os entes adsorvente-adsorvato, descrevendo um processo de adsorção química (Mimura et al., 2010).

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2$$

Equação 8: modelo cinético de pseudo segunda ordem

Onde:

k_2 : constante da taxa de adsorção de pseudossegunda ordem
 $k_2(\text{g} \cdot \text{mg}^{-1} \text{min}^{-1})$.

Integrando a equação 8, similarmente à equação 6, obtém-se:

$$\frac{t}{(q_e - q_t)} = \frac{1}{q_e^2} + k_2 t$$

Equação 9: modelo cinético não linearizado de segunda ordem

Linearizando a equação 9, tem-se a equação 10:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}$$

Equação 10: modelo cinético linearizado de segunda ordem

Os valores de q_e e k_2 podem ser obtidos através do intercepto e da inclinação da curva apresentada no gráfico (t/q_t) versus t . Se o modelo cinético de pseudossegunda ordem for aplicável

3. PARTE EXPERIMENTAL E PROCEDIMENTOS

A figura 6 apresenta de forma resumida a sequência de etapas seguidas na elaboração presente trabalho.

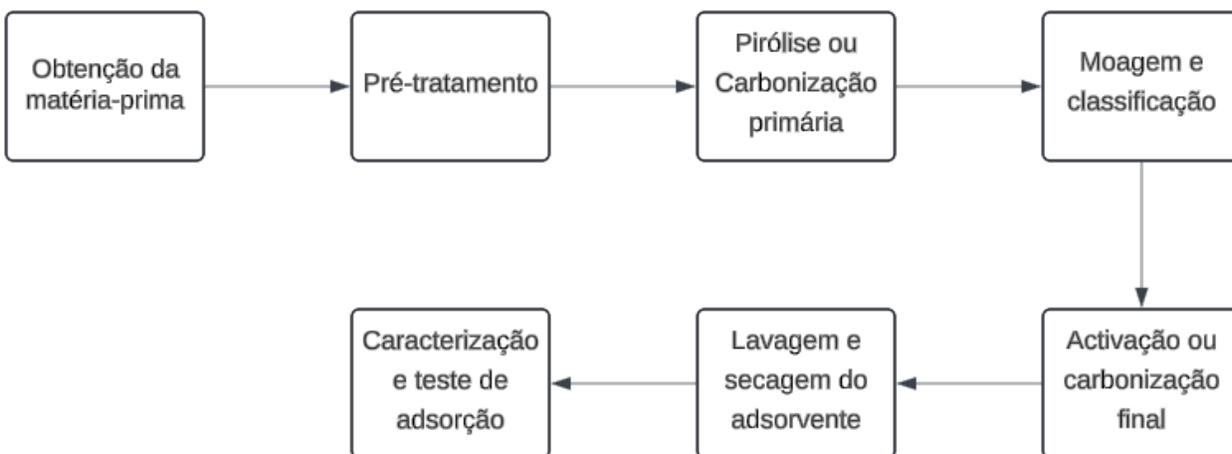


Figura 7: Fluxograma de actividades

3.1. Obtenção da matéria-prima

As biomassas foram obtidas na província de Maputo; o sabugo de milho foi gentilmente oferecido pelos agricultores da vila da Namaacha, enquanto que as folhas de eucalipto foram colectadas no bairro de Malhampsene. Todos os materiais, reagentes e equipamentos foram fornecidos pelo Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Engenharia.

3.2. Pré-tratamento

Fez-se a remoção de impurezas contidas na superfície do sabugo de milho (alguns grãos de areia, pedra, milho podre, entre outros), e com auxílio de um almofariz e pilão tradicional, feita a redução do tamanho das partículas de modo que estivessem adequadas à entrada do moinho. Em seguida, fez-se a moagem da amostra usando o moinho de facas (Moinho Crompton Series 2000) por forma a garantir um tamanho ainda mais reduzido. Após a redução de tamanho, classificou-se a amostra de modo que não tivesse um tamanho inferior a 1mm. Por fim, a amostra foi lavada e seca em uma estufa a 105 °C durante 24h.

No caso das folhas de eucalipto, fez-se a secagem ao ar livre por aproximadamente 7 dias, em seguida foram moídas usando um moinho de facas (Moinho Crompton Series 2000). Após serem moídas, as folhas de eucalipto foram classificadas de modo que não tivessem um tamanho inferior a 0.25mm. Por fim, a amostra foi lavada e seca em uma estufa a 105 °C durante 24h.

3.3. Pirólise ou Carbonização primária

Com auxílio de uma Balança, pesa-se uma quantidade de amostra que seja suficiente para encher o Reactor, depois que se preenche o reactor, tapa-se e leva-se à Mufla. A carbonização das amostras do sabugo de milho e folhas de eucalipto foi realizada separadamente seguindo diferentes perfil de temperatura em um forno mufla de laboratório(Termolab), sem gás inerte.

O perfil que será seguido durante a carbonização do sabugo de milho é o seguinte, partindo de uma temperatura inicial de 30°C até uma temperatura final de 500°C a uma taxa de aquecimento de 2.5 °C por minuto e se deixará na temperatura final durante 3h conforme proposto por (De Sales et al., 2015).

Após a carbonização será determinado o rendimento através da equação abaixo:

$$Rend = \frac{m_{precursor}}{m_{bio\ carvão}}$$

Equação 11: Rendimento da Carbonização primária

3.4. Moagem e classificação

Após a carbonização, o carvão foi moído com auxílio de um almofariz e pilão de laboratório, de seguida colocou-se o carvão moído no topo da série de peneiros entre 25-60 mesh e fez-se a sua agitação durante um tempo suficiente para que se alcançasse a homogeneidade como apresentado na figura 8.



Figura 8: moagem e classificação

3.5. Activação ou carbonização final

Nesta etapa, os materiais previamente carbonizados e classificados são misturados com KOH. A razão de impregnação (agente activante x matéria pirolisada) em proporções mássicas é de (3:1) conforme sugerido por (Bansal & Goyal, 2005).

A taxa de impregnação é estimada de acordo com a seguinte equação:

$$IR = \frac{W_{KOH}}{W_{Char}} \times \text{grau de pureza do KOH}$$

Equação 12: Taxa de impregnação

Onde:

W_{KOH} é a massa em (g) das peletas de KOH, W_{Char} é a massa do carvão (g), e o grau de pureza do KOH é de 85%. A água destilada é usada para dissolver as peletas de KOH.

Os materiais impregnados são transferidos para um reactor de aço inoxidável que é levado ao forno mufla de laboratório sem gás inerte (Termoleb), onde a activação é realizada de acordo com o seguinte perfil de temperatura:

- Partindo da temperatura ambiente a mufla foi aquecida até 300 °C a uma taxa de aquecimento de 2.5 °C /minuto;
- No estágio isotérmico, a temperatura de 300°C foi mantida por um período de 360 minutos para permitir o contacto íntimo do material impregnado com KOH;
- A temperatura da mufla foi de seguida elevada a uma taxa de aquecimento de 10 °C /minuto a partir de 300°C para a temperatura final de 800°C e mantida por um

período de 60 minutos.

3.6. Lavagem e secagem do adsorvente

Após a activação, os carvões activados obtidos foram neutralizados adicionando gotas de ácido clorídrico a água de lavagem, de seguida filtrada. Após a neutralização, os carvões foram misturados água destilada, fervidos a 100 °C durante 5 minutos e filtrados. Isso se repetiu até que o pH da água de lavagem estivesse entre 6.5-7.5. Por fim os carvões activados foram secos em uma estufa a 110 °C durante 6 horas, levados ao dissecador e então armazenados em recipiente herméticos para posterior caracterização e uso.



Figura 9: lavagem dos adsorventes

3.7. Caracterização do adsorvente

3.7.1. Densidade ou Massa específica

Primeiro pesou-se a proveta vazia, de seguida, colocou-se amostra na proveta, faz-se uma compactação por forma a reduzir espaços vazios, depois pesou-se a proveta contendo amostra a fim de ver a massa contida num volume de 20 ml.

A densidade será estimada de acordo com a seguinte equação:

$$\text{Massa Específica} = \frac{\text{Massa do material}}{\text{Volume ocupado}}$$

Equação 13: determinação da massa específica

3.7.2. Teor de Humidade

Para determinação do teor de humidade, usou-se uma balança analisadora de humidade (Sartorius MA 100), na qual colocou-se uma placa/pratinho de alumínio, tarou-se e foi se adicionando amostra até perfazer 1g, de seguida aquecida até a temperatura de 105 °C deixou-se estabilizar e por fim feita a leitura da humidade.

3.8. Teste de Adsorção

Os testes de adsorção serão realizados a temperatura ambiente e próximo de pH 7

3.8.1. Curva de Calibração

Para determinação da curva de calibração, preparou-se uma solução mãe de 100 ppm de azul de metileno, que foi diluída em soluções de concentrações (1, 2, 3, 4, 5, 6 e 10 ppm), em seguida retirou-se alíquotas e fez-se varredura no espectrofotômetro Agilent Cary 60 UV-Vis com vista a encontrar o comprimento de onda de maior absorvância da solução de azul de metileno. Descoberto o comprimento de maior absorvância, retirou-se amostras das mesmas soluções, fez-se a leitura de suas absorvâncias no comprimento de onda de maior absorvância e por fim foi determinada a curva de calibração que faz a relação entre a absorvância e a concentração da solução.

3.8.2. Teste de Remoção do Corante

Para o estudo da eficiência na remoção do corante, preparou-se uma solução de corante azul de metileno de concentração inicial 100 ppm, em seguida adicionou-se 100 mL da solução de corante preparada e 0.05 g dos materiais adsorventes erlenmeyer e fez-se agitação em uma placa agitadora (AGIMATIC-N). Depois tirou-se pequenas quantidades das soluções nos intervalos de tempo de 5, 10, 20, 30, 50 e 70 minutos, que foram deixadas em repouso por 24h em tubos de ensaio e depois fez-se leitura das absorvâncias no espectrofotômetro Agilent Cary 60 UV-Vis. Por fim determinada a concentração final das soluções relacionando as absorvâncias lidas no espectrofotômetro Agilent Cary 60 UV-Vis e a curva de calibração previamente construída. A percentagem de corante removida e a capacidade de adsorção foram determinadas através das equações 14 e 15:



Figura 10: Adsorção do azul de metileno

$$R\% = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100\%$$

Equação 14: Remoção percentual

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t)V}{m_{ads}}$$

Equação 15: Capacidade de adsorção em função do tempo

Onde temos que:

$R\%$: eficiência de remoção;

C_0 : concentração inicial do AM (mg L^{-1});

C_t : concentração do AM na solução num instante t em (mg L^{-1})

q_t ; capacidade de adsorção no instante t em (mg g^{-1});

m_{ads} : massa do adsorvente (g);

V : volume da solução (L).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Rendimento

O rendimento obtido na pré-carbonização foi de aproximadamente 29% para o sabugo de milho que está acima do relatado por Marcelino, (2020) que teve um rendimento de 22,5% porque o ambiente no qual efectuou a carbonização não era totalmente inerte. Para as folhas de eucalipto o rendimento foi de 31.21% que conforme relatado por (Grima-Olmedo et al., 2016) as folhas de eucalipto são térmicamente estáveis. A figura 11 mostra o sabugo de milho e as folhas de ecucalipto após pré-carbonização.

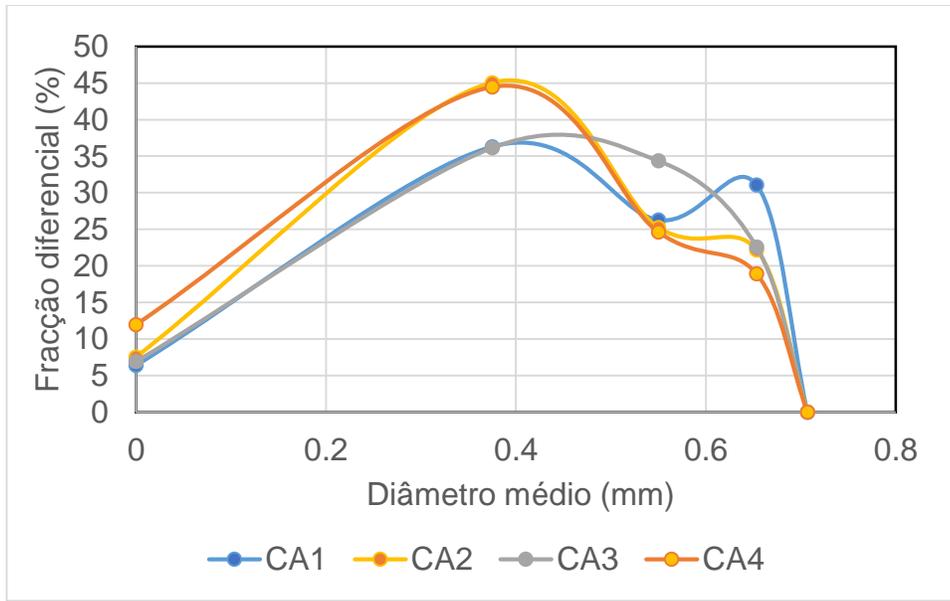


Figura 11: Bio-carvão de sabugo de milho e Bio-carvão de folhas de eucalipto

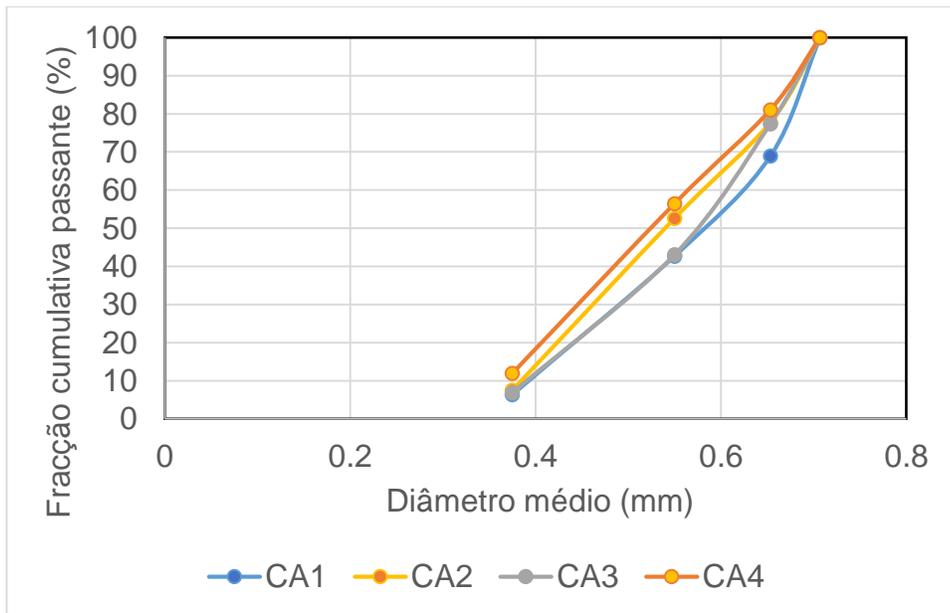
4.2. Destribuição do Tamanho de Particulas

Dos resultados obtidos observou-se que na curva de fracção diferencial a peneira de 0.25 mm reteve maior quantidade de amostra para todos os carvões comparativamente aos outros peneiros e a mínima quantidade na base da série gráfico 1: (a).

Com a evolução da fracção cumulativa passante durante a moagem foi possível verificar que a fracção cumulativa passante aumenta com o aumento do diâmetro gráfico1: (b).



(a)



(b)

Gráfico 1: Classificação das partículas

4.3. Activação e Lavagem

O rendimento obtido na ativação química foi de (51.32, 44.38, 43.76 e 41.37%) para as amostras CA1, CA2, CA3 e CA4 respectivamente, que mostra uma diminuição conforme aumenta a percentagem de folhas na mistura o que sugere que as folhas podem estar a ter uma maior interacção com o activante. Gao et al. (2015) citado por Marcelino, (2020) afirma que uma maior perda de massa pode ser justificada quando há uma desidratação culminando em baixo rendimento.

O material impregnado com solução de KOH, aquecido a temperatura 300°C, onde há desidratação e começa a activar o carvão, promovendo a abertura inicial dos poros sem causar a volatilização excessiva do potássio metálico que é formado durante o processo. Uma parte do potássio é removida da matriz de carbono por evaporação (ponto de ebulição do K: 759°C), outra se intercala no carvão e abre os poros do material, criando uma rede de microporos e mesoporos (Kwiatkowski, 2011).

Depois da activação os carvões foram lavados para reduzir o excesso de KOH e desobstruir os poros. Os carvões activados CA1, CA2, CA3 e CA4 após o processo de lavagem tiveram os seguintes valores de pH 6.85, 7.04, 6.98 e 6.91 respectivamente. Quando as águas residuais tratadas são reutilizadas, por exemplo, na irrigação ou em processos industriais, um pH neutro é frequentemente um requisito para garantir a compatibilidade com as plantas, os solos e os equipamentos industriais. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (World Health Organization., 2006).

4.4. Caracterização

4.4.1. Densidade

Os carvões activados CA1, CA2, CA3 e CA4 têm os seguintes valores de densidade de 289.6, 280, 284.5 e 277.4 kg/m³ um resultado próximo ao do obtido por Basheer Hasan et al., (2011) para o sabugo de milho que foi de 299.3 kg/m³. os resultados experimentais estão nas Tabelas 4 e Tabela A1- 1 do Anexo 1.

4.4.2. Humidade

Os carvões activados CA1, CA2, CA3 e CA4 tiveram valores de humidade (4.10, 4.28, 3.69 e 3.98%), que estão dentro do valor estabelecido pela (ABNT, 1991) através da

norma EB-2133 que diz que a humidade máxima no carvão activado utilizado na adsorção de impurezas no tratamento de água é de 8,0 % pois o excesso de humidade compromete a capacidade adsortiva do Carvão Ativado, visto que os espaços vazios que deviam ser preenchidos pelas moléculas do adsorvato estão a principio preenchidos por moléculas de água. os resultados experimentais estão nas Tabelas 4 e Tabela A1- 2 do Anexo 1.

Tabela 4: Resumo das caracterização dos adsorventes

Amostra	CA1	CA2	CA3	CA4
Rend. Activação(%)	51.32	44.38	43.76	41.37
pH	6.85	7.04	6.98	6.91
Densidade (kg/m ³)	289.60	280.00	284.50	277.40
Humidade (%)	4.10	4.28	3.69	3.98

4.5. Teste de adsorção

4.5.1. Curva de calibração

Realizada varredura nas soluções de azul de metileno (1, 2, 3, 4, 5, 6 e 10 ppm), no intervalo de comprimento de onda 200-1100 nm em um Espectrofotómetro UV-Vis Agilent Cary 60, foi possível observar que o comprimento de onda de maior absorvância para solução de azul de metileno é de 665 nm, valor esperado pois, vários pesquisadores encontraram o mesmo valor e tem sido usado como padrão para leitura da absorvância das soluções de azul de metileno. A figura abaixo mostra o resultado da varredura da solução de azul de metileno.

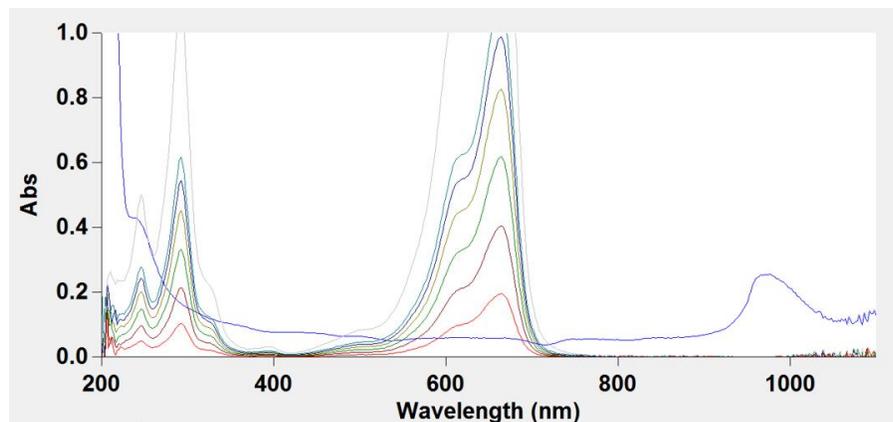


Figura 12: varredura do comprimento de maior absorvância

Determinado o comprimento de onda de maior absorvância para solução do azul de metileno, determinou-se a curva de calibração para estimar os valores das concentrações das diferentes soluções de azul de metileno, seguindo a lei de Lambert Beer, realizando as leituras das absorvâncias em um Espectrofotômetro UV-Vis Agilent Cary 60 no comprimento de onda de 665 nm, utilizando concentrações da solução de azul de metileno (1, 2, 3, 4, 5, 6 e 10 ppm).

O grafico 2 apresenta a relação entre a absorvância e a concentração do azul de metileno. O valor do coeficiente de correlação (R^2) obtido foi de 0.9962, um valor que mostra alto grau de linearidade entre os dados

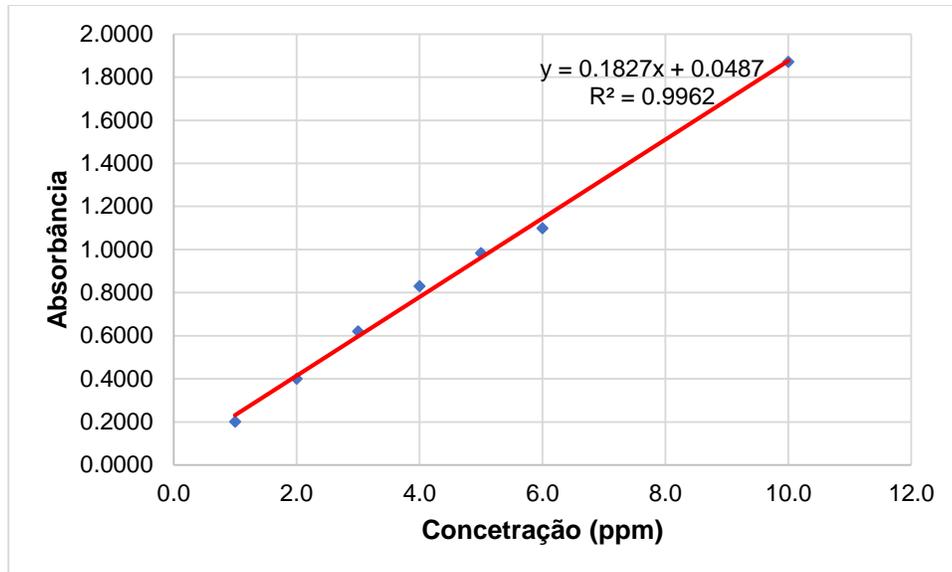


Gráfico 2: Curva de calibração

4.5.2. Remoção

O Gráfico 3 mostra a adsorção do Azul de Metileno nos carvões activados CA1, CA2, CA3 e CA4 respectivamente. A partir da gráfico 2 e a figura 13 é possível notar que todos carvões removeram de forma satisfatória o contaminante. A remoção do azul de metileno pelos carvões CA2, CA3 e CA4 se deu de forma rápida nos primeiros 5 minutos e foi aumentando ligeiramente com o tempo de contacto até atingir o equilíbrio, enquanto que a remoção do azul de metileno pelo carvão CA1 aconteceu de forma mais lenta, aumentando com o tempo de contacto e esteve sempre abaixo da percentagem de remoção dos carvões CA2, CA3 e CA4 até próximo de 50 minutos onde a percentagem de remoção é praticamente a mesma para todos eles. Embora não exista diferenças significativas no pH e granulometria dos carvões, observa-se que para todos os carvões preparados a partir da mistura de folhas de eucalipto e sabugo de milho (CA2, CA3 e CA4), a remoção do azul de metileno foi mais rápida. Isto sugere que as folhas podem estar a aumentar o número de sítios activos disponíveis inicialmente, facilitando a adsorção rápida. Contudo, esses sítios podem se saturar rapidamente por conta de possíveis fenômenos de resistência a difusão no interior dos poros. (Ho & Mckay, 1998) mencionam que a diminuição da taxa de adsorção pode estar relacionada à diminuição do

número de locais disponíveis de alta energia e que a difusão no interior do adsorvente é um factor limitante na taxa de adsorção.



Figura 13: Resultado da adsorção para os carvões CA1, CA2, CA3 e CA4

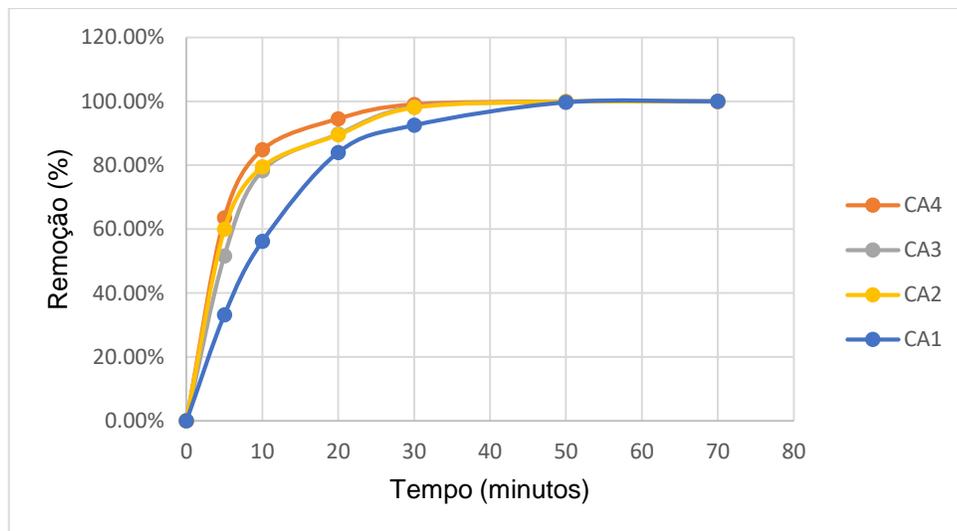


Gráfico 3: Remoção em função do tempo

4.5.3. Modelos cineticos

Os modelos cinéticos de pseudo primeira ordem e pseudo segunda ordem foram aplicados para as difentes amostras de carvão activado gráficos 4 e 5. Tendo se obtido valores do coeficiente de correlação (R^2) de 0.9955, 0.9993, 0.9985 e 0.9994 para os carvões CA, CA2, CA3 e CA4 respetivamente. Os valores de (R^2) obtidos e que estão apresentados na Tabela 5 sugerem que a cinética de adsorção para CA1 é melhor

descrita pelo modelo de pseudo primeira ordem e para CA2, CA3 e CA4 pelo modelo de pseudo segunda ordem. O melhor ajuste de CA1 ao modelo cinético de Pseudo primeira ordem permite inferir que o processo adsorção é dominado pela difusão na superfície do adsorvente, onde a adsorção envolve reações físicas, em vez de químicas. Ele implica que o controle do processo é governado pela taxa de transferência de massa, sem necessariamente envolver a formação de ligações químicas fortes (Ho & Mckay, 1998). O melhor ajuste de CA2, CA3 e CA4 ao modelo cinético de Pseudo segunda ordem permite inferir que o processo que controla a cinética de adsorção é a quimissorção, as moléculas unem-se a superfície dos adsorventes através de ligações químicas e tendem a se acomodar em sítios que propiciam o maior número de coordenação possível com o substrato (Eren, 2008).

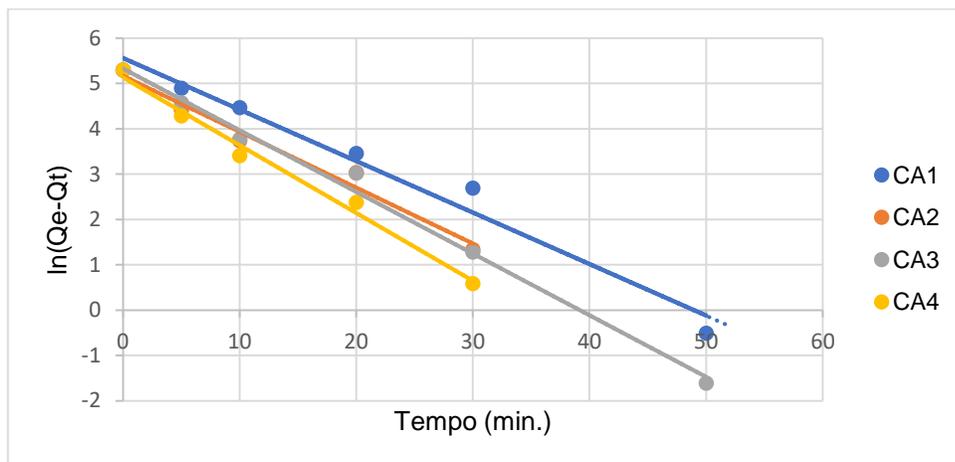


Gráfico 4: Cinética de pseudo primeira ordem



Gráfico 5: Cinética de pseudo segunda ordem

Tabela 5: parâmetros referentes aos modelos cinéticos

Amostra	Modelo cinético pseudo primeira ordem			Modelo cinético pseudo segunda ordem		
	$k_1(\text{min}^{-1})$	$q_{max}(\text{mg g}^{-1})$	R^2	$k_2(\text{g} \cdot \text{mg}^{-1} \text{min}^{-1})$	$q_{max}(\text{mg g}^{-1})$	R^2
CA1	0.1136	260.369	0.9955	4.29E-04	232.558	0.9929
CA2	0.1232	175.300	0.9776	1.37E-03	212.766	0.9993
CA3	0.1361	206.831	0.9926	1.18E-03	212.766	0.9985
CA4	0.1496	170.068	0.9886	2.06E-03	208.333	0.9994

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. conclusões

Neste trabalho, avaliou-se o efeito da mistura das folhas de eucalipto ao sabugo de milho para preparação de carvão activado e seu respectivo impacto nos processos de adsorção do corante azul de metileno.

- Todos adsorventes são eficientes na remoção do azul de metileno;
- Os carvões activados que foram preparados a partir da mistura dos dois precursores (folhas de eucalipto e sabugo de milho) apresentam maior tendência a quissorção;
- O aumento da percentagem das folhas de eucalipto contribui para o aumento da resistência a difusão;
- O aumento da percentagem das folhas de eucalipto, reduz a capacidade máxima de adsorção do adsorvente.

5.2. recomendações

Recomenda-se a pesquisa posteriores:

- Estudar a Adsorção e desorção de gases para avaliar a porosidade, área superficial, volume de poros;
- Fazer a Microscopia eletrónica de varredura dos adsorventes obtidos para ter uma imagem dos poros, a morfologia e composição química;
- Fazer a Espectroscopia de infravermelho para o conhecimento dos grupos funcionais existentes;
- Análise do efeito do pH, da concentração inicial do contaminante na capacidade de adsorção.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aisan, K., Mousavi, H. Z., Alimorad, R., & Shir Khanloo, H. (2018). Nitrogen-modified nanoporous activated carbon from eucalyptus leaves for ultrasound-assisted removal of basic dyes using derivative spectrophotometric method. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 83(5), 651–668. <https://doi.org/10.2298/JSC170827112K>
2. Aragão, A., & Contini, E. (2022). *O Agro no Brasil e no Mundo*.
3. Arslan, S., Eyvaz, M., Gürbulak, E., & Yüksel, E. (2016). *A Review of State-of-the-Art Technologies in Dye Containing Wastewater Treatment – The Textile Industry Case*.
4. Aygün, Y., Karakas, S. Y., & Duman, I. (2003). Production of granular activated carbon from fruit stones and nutshells and evaluation of their physical, chemical and adsorption properties. *Microporous and Mesoporous Materials*, 18–195.
5. Bansal, R. C., & Goyal, Meenakshi. (2005). *Activated Carbon Adsorption*. Taylor & Francis.
6. Barceló, D. (2005). Emerging organic pollutants in waste waters and sludge. In *Springer Science & Business Media*.
7. Basheer Hasan, uddeen, Mohammed, I. A., & Jibril, B. Y. (2011). Kinetics of Methylene blue Adsorption on KOH-Activated Carbon Using Corn Cobs. In *Malaysian Journal of Science* (Vol. 30, Issue 3).
8. Benedini, M., & Tsakiris, G. (2013). Water Quality Modelling for Rivers and Streams. *Springer, Water Science and Technology Library Series*, 70.
9. Brum, L. F. W. (2010). *Obtenção e Avaliação de Extratos de Folhas de Eucalipto (Eucalyptus dives) como Potenciais Antioxidantes em Alimentos*. Universidade Federal de Santa Catarina .
10. Cavalline, G. S. ., & Campos, S. (2013). Tratamento de efluentes para fins de reuso. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry* 93(8):1-13. DOI:10.1080/03067319.2012.702274.
11. Čerović, L. S., Milonjić, S. K., Todorović, M. B., Trtanj, M. I., Pogožhev, Y. S., Blagoveschenskii, Y., & Levashov, E. A. (2007). Point of zero charge of different carbides. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 297(1–3), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2006.10.012>
12. Ciola, R. (1981). *Fundamentos da catálise*. Moderna .

13. Cooney, D. O. (1999). Adsorption Design for Wastewater Treatment. In *CRC Press* .
14. Doğan, M., Alkan, M., Demirbaş, Ö., Özdemir, Y., & Özmetin, C. (2006). Adsorption kinetics of maxilon blue GRL onto sepiolite from aqueous solutions. *Chemical Engineering Journal*, 124(1–3), 89–101. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2006.08.016>
15. Domingues, V. M. (2005). *Utilização de um produto natural (cortiça) como adsorvente de pesticidas piretróides em águas*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
16. Doughty, R. W. (2000). *The Eucalyptus: a Natural and Commercial History of the Gum Tree* .
17. Eren, E. (2008). Removal of copper ions by modified Unye clay, Turkey. *Journal of Hazardous Materials*, 159(2–3), 235–244. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.02.035>
18. Febrianto, J., Kosasih, A. N., Sunarso, J., Ju, Y.-H., Indraswati, N., & Ismadji, S. (2009). Equilibrium and kinetic studies in adsorption of heavy metals using biosorbent: A summary of recent studies. *Journal of Hazardous Materials*, 162, 616–645.
19. Foley, K. M., & Vander-Hooven, D. I. B. (1981). Properties and Industrial Uses of Corncoobs (Cereals – a renewable resource). In *The American Association of Cereal Chemists*.
20. Gonçalves, N. S. (2012). Size strain study of NiO nanoparticles by X-ray powder diffraction line broadening. *Materials Letters*, 72, 36–38.
21. Gregg, S. J., & Sing, K. S. W. (1982). *Adsorption, Surface Area, and Porosity* (Second Edition). Academic Press INC (London) LTD.
22. Grima-Olmedo, C., Ramírez-Gómez, Gómez-Limón, D., & Clemente-Jul, C. (2016). Activated carbon from flash pyrolysis of eucalyptus residue. *Heliyon*, 2(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2016.e00155>
23. Hammer, R., VanBriensen, J., & Levine, L. (2012). In fracking's wake: new rules are needed to protect our health and environment from contaminated Wastewater. In *Nat Resour Def Counc*:11.
24. Ho, Y., & Mckay, G. (1998). Sorption of dye from aqueous solution by peat. In *Chemical Engineering Journal* (Vol. 70).
25. Honorato, A., Machado, J., Celante, G., Borges, W., Dragunski, D., & Caetano, J. (2015). Biossorção de azul de metileno utilizando resíduos agroindustriais. *Revista* 26.

Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental – UAEA/UFCG, Campina Grande, PB, 19.

26. Huang, L., Chan, Q., Wu, X., Wang, H., & Liu, Y. (2012). The simultaneous photocatalytic degradation of phenol and reduction of Cr (VI) by TiO₂/CNTs. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*.
27. IUFRO. (2018). *Eucalyptus 2018: Managing Eucalyptus plantations under global changes* (J.-P. Laclau, E. Mignard, J.-M. Bouvet, & L. Mareschal, Eds.; Cirad).
28. Jasse, A. (2013). *Cadeia de valor de cereais e oleaginosas*.
29. Kılıç, Z. (2020). The importance of water and conscious use of water. *International Journal of Hydrology*, 4(5), 239–241. <https://doi.org/10.15406/ijh.2020.04.00250>
30. Kumbasar, E. P. A., & Körlü, A. E. (2016). *Textile Wastewater Treatment* (E. P. A. Kumbasar & A. E. Körlü, Eds.).
31. Kwiatkowski, J. F. (2011). *Activated Carbon Classifications, Properties and Applications*. Nova Science Publishers, Inc. .
32. Leser, W., Barbosa, V., Barazzi, R., Ribeiro, M., & Franco, L. (1985). Elementos de Epidemiologia Geral. In *Atheneu*.
33. MADER. (2017). *MozFIP*. <https://www.fnfs.gov.mz/index.php/pt/nossos-projectos/listagem-de-projectos/mozfip>
34. MADER. (2021). *Mapeamento de Empresas Silvícolas de Moçambique*.
35. Marcelino, N. V. A. (2020). *Reaproveitamento de Sabugo de Milho para Potencial Remoção de Formulação Comercial de Glifosato em Fase Aquosa pela Técnica de Adsorção*.
36. Marsh, H., & Reinoso, F. R. (2006). *Activated Carbon* (1st Edition). Elsevier Science & Technology Books.
37. Mckay, G. (1996). Use of adsorbents for the removal of pollutants from wastewaters. In *CRC Press*.
38. Mimura, A. M. S., Vieira, T. V. de A., Martelli, P. B., & Gorgulho, H. de F. (2010). Aplicação da casca de arroz na adsorção dos íons Cu²⁺, Al³⁺, Ni²⁺ e Zn²⁺. *Quimica Nova, São Paulo*, 33(6), 1279–1284.
39. Morais, E. V. (2014). *Produção de Carvão ativado a partir do mesocarpo do coco da Baía (cocosnuciferalinn) utilizando H₃PO₄, CH₃CONa e KOH como ativantes*.

40. Nascimento, R. F. do, Lima, A. C. A. de, Vidal, C. B., Melo, D. de Q., & Raulino, G. S. C. (2014). *Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais*. Imprensa Universitaria.
41. National Research Council (NRC). (2012). Understanding water reuse: Potential for expanding the Nation's water supply through reuse of municipal wastewater. In *National Academies Press*.
42. Ngah, W. S. W., & Hanafiah, M. A. K. M. (2008). Biosorption of copper ions from dilute aqueous solutions on base treated rubber (*Hevea brasiliensis*) leaves powder: kinetics, isotherm, and biosorption mechanisms. *Journal of Environmental Sciences*, 20(10), 1168–1176.
43. Ortiz, N. (2000). *Estudo da utilização de magnetita como material adsorvedor dos metais Cu^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} e Cd^{2+} , em solução*. Instituto de pesquisas energéticas e nucleares.
44. PA. (2008). *Química Aplicada* (2ª edição).
45. Pego, M. F. F. (2016). *Modificação Superficial de Carvão Ativado Utilizando Tratamento Corona*.
46. Popa, A., Timoft, M., Dragan, S., & Voiculescu, M. (2012). Study of Physico-Chemical Characteristics of Wastewater in an Urban Agglomeration in Romania. *The Scientific World Journal* . <https://doi.org/10.1100/2012/549028>
47. Roberto, J., Moreno, S., & Ferreira, A. (2018). Avaliação Das Propriedades Térmicas De Um Compósito Polimérico Com Sabugo De Milho Triturado. In *Rev. Iberoam. Polímeros y Materiales* (Vol. 19, Issue 3).
48. Rocha, S., Rossiter, O., Nascimento, G., Campos, N., Silva, V., Menezes, M. M., & Duarte, B. (2012). Avaliação do Processo Adsorptivo Utilizando Mesocarpo de Coco Verde Para Remoção do Corante Cinza Reativo BF-2R. In *Quim. Nova* (Vol. 35, Issue 7).
49. Rodigheri, H. R. (1998). Viabilidade econômica de plantios florestais solteiros e de sistemas agroflorestais. In *Embrapa* . Centro Nacional de Pesquisas de Florestas.

50. Romua, C. L. (2023). *Atividade de Silvicultura na Província de Niassa, Moçambique: Estratégias para um plano de Desenvolvimento*. Universidade Federal de Santa Maria .
51. Ruthven, D. M. (1984). *Principles of Adsorption And Adsorption Processes*. A Wiley-Interscience Publication.
52. Sekar, M., Sakthi, V., & Rengaraj, S. (2004). Kinetics and equilibrium adsorption study of lead(II) onto activated carbon prepared from coconut shell. *Journal of Colloid and Interface Science*, 307–313.
53. Soares, A. G. (2001). *Adsorção de gases em carvão ativado de celulignina*. Universidade Estadual de Campinas.
54. Toledo, I. B., García, M. A. F., Utrilla, J. R., Castilla, C. M., & Fernández, F. J. V. (2005). Bisphenol A Removal from Water by Activated Carbon. Effects of Carbon Characteristics and Solution Chemistry. *Environmental Science & Technology* , 39(16), 6246–6250.
55. Vilanculo, J. (2016). *Análise da Rentabilidade Económica de produção de Milho no Distrito de Manica, caso de estudo da Farma Organizações Oliveira, no período de 2010- 2014*.
56. Wang, L., Wang, N., Zhu, L., Yu, H., & Tang, H. (2008). Photocatalytic reduction of Cr (VI) over different TiO₂ photocatalysts and the effects of dissolved organic species. *Journal of Hazardous Materials*.
57. World Bank. (2017). *Mozambique Forest Investment Project (MozFIP)*.
58. World Health Organization. (2006). *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta, and greywater*. World Health Organization.
59. WWAP. (2012). *Managing Water under Uncertainty and Risk*.
60. Yahya, M., Al-Qodah, Z., & Ngah, C. (2015). *Renew. Sustainable Energy Rev.*

7. ANEXOS

7.1. Anexo 1

Tabela A1- 3: Determinação da densidade dos carvões

Amostra	CA1		CA2		CA3		CA4	
20 ml	5.7543	0.2877	5.5862	0.2793	5.7024	0.2851	5.5675	0.2784
	5.8554	0.2928	5.6928	0.2846	5.6977	0.2849	5.5128	0.2756
	5.7648	0.2882	5.5222	0.2761	5.6715	0.2836	5.5659	0.2783
Media	0.2896		0.2800		0.2845		0.2774	
Desvio padrão	0.0023		0.0035		0.0007		0.0013	

Tabela A1- 4: Determinação da humidade dos carvões

Amostr	CA1			CA2			CA3			CA4		
a	m_{ads} (g)	t(min)	T(°C)									
	1.002	2.6	107	1.003	3.8	105	1.005	3.4	105	1.003	3.4	105
Hp(%)	4.10			4.25			3.69			3.98		

7.2. Anexo 2

Nota: Para a leitura da absorbância nos primeiros 20 minutos era sempre necessário diluir as soluções do azul de metileno porque acima de 5 ppm a absorbância dava valores acima de 1, não se aplicando a lei de Lambert Beer. A diluição se dava da seguinte forma, se retirava 1 ml da solução e se adicionava a 29 ml de água destilada perfazendo 30 ml e se fazia a leitura. Feita a leitura, se relacionava o valor da absorbância a concentração que era depois multiplicada por 30 e se conhecia assim a concentração da solução desconhecida. As capturas das leituras se encontram no anexo 4

Remoção (%)

Tabela A2- 1: Resultados da remoção do AM em função do para o CA1

CA1							
Tempo(min.)	Concentração inicial (ppm)	Absorbância				Concentração final (ppm)	Remoção (%)
		A1	A2	A3	A		
0	100	0	0	0	0	0	0
5	100	0.4709	0.4706	0.4180	0.4532	66.9	33.13
10	100	0.1527	0.3279	0.4198	0.3001	43.8	56.15
20	100	0.1395	0.1389	0.0673	0.1152	16.0	83.97
30	100	1.3969	1.5521	1.5878	1.5123	7.5	92.46
50	100	0.1102	0.0521	0.0960	0.0861	0.4	99.61
70	100	0.0244	0.0314	0.0201	0.0253	0.1	99.92

Tabela A2- 2: Resultados da remoção do AM em função do para o CA2

CA2							
Tempo (min.)	Concentração inicial (ppm)	Absorbância				Concentração final (ppm)	Remoção (%)
		A1	A2	A3	A		
0	100	0	0	0	0	0	0
5	100	0.2783	0.2670	0.2788	0.2747	41.4	58.65
10	100	0.1691	0.1195	0.1465	0.1450	21.2	78.80
20	100	0.0782	0.0852	0.0712	0.0782	10.5	89.54
30	100	0.4019	0.5087	0.2990	0.4032	2.0	98.02
50	100	0.0398	0.0257	0.0197	0.0284	0.1	99.90
70	100	0.0241	0.0262	0.0334	0.0279	0.1	99.90

Tabela A2- 3: Resultados da remoção do AM em função do para o CA3

CA3							
Tempo (min.)	Concentração inicial (ppm)	Absorbância				Concentração final (ppm)	Remoção (%)
		A1	A2	A3	A		
0	100	0	0	0	0	0	0
5	100	0.2437	0.4872	0.2597	0.3302	48.4	51.63
10	100	0.1641	0.1073	0.1888	0.1534	21.8	78.23
20	100	0.0568	0.0960	0.0783	0.0770	10.3	89.72
30	100	0.1671	0.6560	0.2842	0.3691	1.8	98.19
50	100	0.0204	0.0251	0.0580	0.0345	0.1	99.87
70	100	0.0144	0.0174	0.0212	0.0177	0.0	99.96

Tabela A2- 4: Resultados da remoção do AM em função do para o CA4

CA4							
Tempo (min.)	Concentração inicial (ppm)	Absorbância				Concentração final (ppm)	Remoção (%)
		A1	A2	A3	A		
0	100	0	0	0	0	0	0
5	100	0.3005	0.1888	0.2648	0.2514	36.5	63.49
10	100	0.1072	0.1140	0.1078	0.1097	15.2	84.81
20	100	0.0595	0.0361	0.0404	0.0453	5.5	94.49
30	100	0.2822	0.1679	0.1851	0.2117	1.0	98.98
50	100	0.0218	0.0337	0.0310	0.0288	0.1	99.90
70	100	0.0242	0.0280	0.0334	0.0285	0.1	99.90

7.3. Anexo 3

Modelos cinéticos

Tabela A3- 1: Resultados da comparação dos valores experimentais aos calculados usando os modelos cineticos lineares pseudo primeira ordem e pseudo segunda ordem para CA1

CA1						
Tempo(min.)	Conc. (ppm)	$q_t(\text{mg g}^{-1})$	$q_{t1}(\text{mg g}^{-1})$	$q_{t2}(\text{mg g}^{-1})$	$\ln(q_e - q_t)$	$\frac{t}{q_t}$
0	0	0	0	0	5.2973	-
5	66.9	66.200	86.5818	59.9400	4.8949	0.0755
10	43.8	112.400	135.6440	92.2153	4.4705	0.0890
20	16	168.000	179.1995	126.1894	3.4595	0.1190
30	7.5	185.000	193.1851	143.8560	2.6946	0.1622
50	0.4	199.200	199.1179	162.0000	-0.511	0.2510
70	0.1	199.800	199.7297	171.2571	-	0.3504

Tabela A3- 2: Resultados da comparação dos valores experimentais aos calculados usando os modelos cineticos lineares pseudo primeira ordem e pseudo segunda ordem para CA2

CA2						
Tempo(min.)	Conc. (ppm)	$q_t(\text{mg g}^{-1})$	$q_{t1}(\text{mg g}^{-1})$	$q_{t2}(\text{mg g}^{-1})$	$\ln(q_e - q_t)$	$\frac{t}{q_t}$
0	0	0	0	0	5.2973	-
5	41.4	117.200	91.8879	115.4474	4.414	0.0427
10	21.2	157.600	141.5166	146.3384	3.7424	0.0635
20	10.5	179.000	182.7982	168.9406	3.0350	0.1117
30	2	196.000	194.8404	178.1104	1.3350	0.1531
50	0.1	199.800	199.3780	186.1955	-	0.2503
70	0.1	199.800	199.7641	189.8897	-	0.3504

Tabela A3- 3: Resultados da comparação dos valores experimentais aos calculados usando os modelos cineticos lineares pseudo primeira ordem e pseudo segunda ordem para CA3

CA3						
Tempo(min.)	Conc. (ppm)	$q_t(\text{mg g}^{-1})$	$q_{t1}(\text{mg g}^{-1})$	$q_{t2}(\text{mg g}^{-1})$	$\ln(q_e - q_t)$	$\frac{t}{q_t}$
0	0	0	0	0	5.2983	-
5	48.4	103.2	98.7273	108.2569	4.5726	0.0484
10	21.8	156.4	148.7191	140.4762	3.7751	0.0639
20	10.3	179.4	186.8514	165.0350	3.0253	0.1115
30	1.8	196.4	196.6286	175.2475	1.2809	0.1527
50	0.1	199.8	199.7784	184.3750	-1.609	0.2503
70	0	200	199.9854	188.5845	-	0.3500

Tabela A3- 4: Resultados da comparação dos valores experimentais aos calculados usando os modelos cineticos lineares pseudo primeira ordem e pseudo segunda ordem para CA4

CA4						
Tempo(min.)	Conc. (ppm)	$q_t(\text{mg g}^{-1})$	$q_{t1}(\text{mg g}^{-1})$	$q_{t2}(\text{mg g}^{-1})$	$\ln(q_e - q_t)$	$\frac{t}{q_t}$
0	0	0	0	0	5.2973	-
5	36.5	127.000	105.2322	134.4619	4.2877	0.0394
10	15.2	169.600	155.0399	160.7451	3.4078	0.059
20	5.5	189.000	189.7726	178.1573	2.3795	0.1058
30	1	198.000	197.5536	184.8311	0.5878	0.1515
50	0.1	199.800	199.6873	190.5412	-	0.2503
70	0.1	199.800	199.7943	193.0978	-	0.3504

7.4. Anexo 4

Leituras CA1

Simple Reads Report

Collection Time: 5/16/2024 12:08:02 PM
 Method:
 Version 5.0.0.999
 Instrument: Cary 60

Ave Time (sec) 1.0000

Read	Abs	nm
Zero	(0.0548)	665.0
Zero	(0.0549)	665.0
Zero	(0.0549)	665.0
1	0.0201	665.0
2	0.0201	665.0
3	0.0200	665.0
4	0.0960	665.0
5	0.0962	665.0
6	0.0960	665.0
7	1.5879	665.0
8	1.5881	665.0
9	1.5874	665.0
10	0.1973	665.0
11	0.1972	665.0
12	0.1973	665.0
13	0.4199	665.0
14	0.4197	665.0
15	0.4197	665.0
16	0.4179	665.0
17	0.4181	665.0
18	0.4179	665.0

Simple Reads Report

Collection Time: 5/16/2024 11:09:23 AM
 Method:
 Version 5.0.0.999
 Instrument: Cary 60

Ave Time (sec) 1.0000

Read	Abs	nm
Zero	(0.0546)	665.0
Zero	(0.0547)	665.0
Zero	(0.0547)	665.0
1	0.0246	665.0
2	0.0245	665.0
3	0.0242	665.0
4	0.1101	665.0
5	0.1103	665.0
6	0.1102	665.0
7	1.3968	665.0
8	1.3975	665.0
9	1.3963	665.0
10	0.1395	665.0
11	0.1394	665.0
12	0.1395	665.0
13	0.1526	665.0
14	0.1526	665.0
15	0.1528	665.0
16	0.4710	665.0
17	0.4709	665.0
18	0.4709	665.0

Simple Reads Report

Collection Time: 5/16/2024 11:32:02 AM
Method:
Version 5.0.0.999
Instrument: Cary 60

Ave Time (sec) 1.0000

Read	Abs	nm
Zero	(0.0547)	665.0
Zero	(0.0547)	665.0
Zero	(0.0548)	665.0
1	0.0316	665.0
2	0.0313	665.0
3	0.0313	665.0
4	0.0521	665.0
5	0.0521	665.0
6	0.0521	665.0
7	1.5519	665.0
8	1.5525	665.0
9	1.5520	665.0
10	0.1389	665.0
11	0.1390	665.0
12	0.1389	665.0
13	0.3278	665.0
14	0.3279	665.0
15	0.3279	665.0
16	0.4706	665.0
17	0.4705	665.0
18	0.4707	665.0

Leituras CA2

Simple Reads Report

Collection Time: 5/16/2024 12:23:43 PM
Method:
Version 5.0.0.999
Instrument: Cary 60

Ave Time (sec) 1.0000

Read	Abs	nm
Zero	(0.0549)	665.0
Zero	(0.0548)	665.0
Zero	(0.0549)	665.0
1	0.0242	665.0
2	0.0241	665.0
3	0.0241	665.0
4	0.0398	665.0
5	0.0398	665.0
6	0.0397	665.0
7	0.4018	665.0
8	0.4018	665.0
9	0.4019	665.0
10	0.0783	665.0
11	0.0782	665.0
12	0.0782	665.0
13	0.1692	665.0
14	0.1691	665.0
15	0.1691	665.0
16	0.2782	665.0
17	0.2783	665.0
18	0.2783	665.0

Simple Reads Report

Collection Time: 5/16/2024 1:25:32 PM
Method:
Version 5.0.0.999
Instrument: Cary 60

Ave Time (sec) 1.0000

Read	Abs	nm
Zero	(0.0562)	665.0
Zero	(0.0561)	665.0
Zero	(0.0561)	665.0
1	0.0262	665.0
2	0.0262	665.0
3	0.0263	665.0
4	0.0257	665.0
5	0.0258	665.0
6	0.0257	665.0
7	0.5085	665.0
8	0.5087	665.0
9	0.5090	665.0
10	0.0852	665.0
11	0.0852	665.0
12	0.0852	665.0
13	0.1196	665.0
14	0.1195	665.0
15	0.1195	665.0
16	0.2670	665.0
17	0.2670	665.0
18	0.2671	665.0

Simple Reads Report

Collection Time: 5/16/2024 1:42:11 PM
Method:
Version 5.0.0.999
Instrument: Cary 60

Ave Time (sec) 1.0000

Read	Abs	nm
Zero	(0.0547)	665.0
Zero	(0.0547)	665.0
Zero	(0.0547)	665.0
1	0.0331	665.0
2	0.0332	665.0
3	0.0339	665.0
4	0.0198	665.0
5	0.0197	665.0
6	0.0195	665.0
7	0.2990	665.0
8	0.2989	665.0
9	0.2992	665.0
10	0.0713	665.0
11	0.0712	665.0
12	0.0711	665.0
13	0.1465	665.0
14	0.1465	665.0
15	0.1466	665.0
16	0.2786	665.0
17	0.2788	665.0
18	0.2789	665.0

Leituras CA3

Simple Reads Report

Collection Time: 5/17/2024 9:56:18 AM
Method:
Version 5.0.0.999
Instrument: Cary 60

Ave Time (sec) 1.0000

Read	Abs	nm
Zero	(0.0546)	665.0
Zero	(0.0548)	665.0
Zero	(0.0547)	665.0
1	0.0174	665.0
2	0.0175	665.0
3	0.0172	665.0
4	0.0254	665.0
5	0.0252	665.0
6	0.0250	665.0
7	0.6561	665.0
8	0.6562	665.0
9	0.6558	665.0
10	0.0959	665.0
11	0.0960	665.0
12	0.0961	665.0
13	0.1072	665.0
14	0.1073	665.0
15	0.1073	665.0
16	0.4873	665.0
17	0.4872	665.0
18	0.4872	665.0

Simple Reads Report

Collection Time: 5/17/2024 10:14:16 AM
Method:
Version 5.0.0.999
Instrument: Cary 60

Ave Time (sec) 1.0000

Read	Abs	nm
Zero	(0.0546)	665.0
Zero	(0.0546)	665.0
Zero	(0.0547)	665.0
1	0.0214	665.0
2	0.0212	665.0
3	0.0211	665.0
4	0.0582	665.0
5	0.0580	665.0
6	0.0579	665.0
7	0.2842	665.0
8	0.2842	665.0
9	0.2843	665.0
10	0.0783	665.0
11	0.0783	665.0
12	0.0783	665.0
13	0.1887	665.0
14	0.1888	665.0
15	0.1887	665.0
16	0.2604	665.0
17	0.2593	665.0
18	0.2594	665.0

Simple Reads Report

Collection Time: 5/17/2024 9:31:52 AM
Method:
Version 5.0.0.999
Instrument: Cary 60

Ave Time (sec) 1.0000

Read	Abs	nm
Zero	(0.0549)	665.0
Zero	(0.0549)	665.0
Zero	(0.0550)	665.0
1	0.0142	665.0
2	0.0144	665.0
3	0.0146	665.0
4	0.0204	665.0
5	0.0204	665.0
6	0.0203	665.0
7	0.1670	665.0
8	0.1672	665.0
9	0.1671	665.0
10	0.0567	665.0
11	0.0568	665.0
12	0.0568	665.0
13	0.1642	665.0
14	0.1641	665.0
15	0.1641	665.0
16	0.2436	665.0
17	0.2438	665.0
18	0.2438	665.0

Leituras CA4

Simple Reads Report

Collection Time: 5/17/2024 11:15:12 AM
 Method:
 Version 5.0.0.999
 Instrument: Cary 60

Ave Time (sec) 1.0000

Read	Abs	nm
Zero	(0.0547)	665.0
Zero	(0.0547)	665.0
Zero	(0.0547)	665.0
1	0.0242	665.0
2	0.0242	665.0
3	0.0241	665.0
4	0.0219	665.0
5	0.0217	665.0
6	0.0216	665.0
7	0.2822	665.0
8	0.2823	665.0
9	0.2822	665.0
10	0.0595	665.0
11	0.0594	665.0
12	0.0596	665.0
13	0.1071	665.0
14	0.1072	665.0
15	0.1072	665.0
16	0.3004	665.0
17	0.3004	665.0
18	0.3006	665.0

Simple Reads Report

Collection Time: 5/17/2024 12:04:00 PM
 Method:
 Version 5.0.0.999
 Instrument: Cary 60

Ave Time (sec) 1.0000

Read	Abs	nm
Zero	(0.0547)	665.0
Zero	(0.0547)	665.0
Zero	(0.0546)	665.0
Zero	(0.0547)	665.0
1	0.0337	665.0
2	0.0332	665.0
3	0.0332	665.0
4	0.0308	665.0
5	0.0310	665.0
6	0.0311	665.0
7	0.1850	665.0
8	0.1851	665.0
9	0.1852	665.0
10	0.0405	665.0
11	0.0404	665.0
12	0.0402	665.0
13	0.1078	665.0
14	0.1077	665.0
15	0.1078	665.0
16	0.2646	665.0
17	0.2650	665.0
18	0.2649	665.0

Simple Reads Report

Collection Time: 5/17/2024 11:42:06 AM
Instrument

Version 5.0.0.999
Instrument: Cary 60

Ave Time (sec) 1.0000

Read	Abs	nm
Zero	(0.0547)	665.0
Zero	(0.0547)	665.0
Zero	(0.0546)	665.0
1	0.0280	665.0
2	0.0280	665.0
3	0.0280	665.0
4	0.0337	665.0
5	0.0337	665.0
6	0.0337	665.0
7	0.1679	665.0
8	0.1679	665.0
9	0.1679	665.0
10	0.0360	665.0
11	0.0361	665.0
12	0.0362	665.0
13	0.1139	665.0
14	0.1140	665.0
15	0.1141	665.0
16	0.1880	665.0
17	0.1879	665.0
18	0.1880	665.0