

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ANÁLISE DE ADSORÇÃO DE DICROMATO DE POTÁSSIO POR CARVÃO
ATIVADO PRODUZIDO DO PÓ DE QUIABO (*Abelmoschus esculentus*)

LUCAS SOARES BATISTA

Orientador: Prof. Dr. VICENTE GALBER FREITAS VIANA
Coorientadora: Profa. Dra. Deuzuíta dos Santos Freitas Viana

TERESINA – PI

2023

LUCAS SOARES BATISTA

**ANÁLISE DE ADSORÇÃO DE DICROMATO DE POTÁSSIO POR CARVÃO
ATIVADO PRODUZIDO DO PÓ DE QUIABO (*Abelmoschus esculentus*)**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do Instituto Federal do Piauí, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Materiais.

Área de concentração: Processamento e
Caracterização de Materiais

Orientador: Prof. Dr. VICENTE GALBER FREITAS VIANA

Coorientadora: Profa. Dra. Deuzuíta dos Santos Freitas Viana

TERESINA – PI

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Batista, Lucas Soares

B333a Análise de adsorção de dicromato de potássio por carvão ativado produzido do pó de quiabo (*Abelmoschus esculentus*) / Lucas Soares Batista. - 2023. 65 f.: il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central, 2023.

Orientador : Prof Dr. Vicente Galber Freitas Viana.

1. Adsorção. 2. Carvão ativado. 3. Pó de quiabo. I.Título.

CDD - 620.1

Elaborado por Tanize Maria Sales CRB 3/1024

LUCAS SOARES BATISTA

ANÁLISE DE ADSORÇÃO DE DICROMATO DE POTÁSSIO POR CARVÃO
ATIVADO PRODUZIDO DO PÓ DE QUIABO (*Abelmoschus esculentus*)

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do Instituto Federal do Piauí, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Materiais.

Aprovada em: 02/06/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Vicente Galber Freitas Viana (Orientador)
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Dr. Gilvan Moreira da Paz
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Dr. Linardy de Moura Sousa
Centro Universitário Uninovafapi

RESUMO

A poluição da água é um assunto que sempre tem destaque no meio acadêmico, pois se trata de um recurso imprescindível para a vida humana. Sua contaminação por meio de metais pesados e corantes é um tema que merece atenção especial, já que esses materiais são nocivos ao ser humano mesmo em baixas concentrações. O objetivo dessa pesquisa foi avaliar a capacidade de adsorção do carvão ativado obtido do pó de quiabo como adsorvente do corante dicromato de potássio. Foram realizadas as análises TGA, FRX, DRX para o pó de quiabo e o carvão ativado, a análise UV-VIS para o pó de quiabo e o dicromato de potássio, e por fim, os ensaios de PCZ e adsorção para o carvão ativado, considerando os seguintes parâmetros: influência do pH, influência da massa e influência do tempo de contato. A análise térmica do pó de quiabo ressaltou suas características de material orgânico com cadeia polimérica, enquanto o carvão ativado teve boa estabilidade térmica, restando ainda cerca de 20 % de cinzas no fim do experimento. O FRX indicou que os principais elementos da composição química do pó de quiabo e do carvão ativado foram K_2O , CaO , P_2O_5 , MgO , SO_3 , Si_2O e Fe_2O_3 . No DRX foi observado uma característica amorfa do pó de quiabo, enquanto o carvão apresentou picos com os respectivos elementos predominantes. O ensaio de ponto de carga zero (PCZ) determinou o caráter positivo do carvão ativado, onde se obteve melhores resultados com pH ácido ($pH = 2$). No ensaio de adsorção, o carvão ativado atingiu uma taxa de remoção de 86,31 % nas condições ideais, com uma taxa de remoção satisfatória de 50,09 % após o primeiro ciclo de dessorção. Os resultados de adsorção dessa pesquisa mostraram que o carvão ativado tem grande potencial de aplicação para remoção de corantes para água tratada.

Palavras-chave: adsorção; carvão ativado; pó de quiabo.

ABSTRACT

Water pollution is a subject that has always been highlighted in academia, as it is an essential resource for human life. Its contamination by heavy metals and dyes is a subject that deserves special attention, since these materials are harmful to human beings even in low concentrations. The objective of this research was to evaluate the adsorption capacity of activated charcoal obtained from okra powder as an adsorbent for potassium dichromate dye. TGA, FRX, DRX analyzes were carried out for okra powder and activated charcoal, UV-VIS analysis for okra powder and potassium dichromate, and finally, PCZ and adsorption assays for activated charcoal, considering the following parameters: influence of pH, influence of mass and influence of contact time. The thermal analysis of okra powder highlighted its characteristics as an organic material with a polymeric chain, while activated carbon had good thermal stability, with approximately 20% of ashes still remaining at the end of the experiment. The FRX indicated that the main elements of the chemical composition of okra powder and activated charcoal were K_2O , CaO , P_2O_5 , MgO , SO_3 , Si_2O and Fe_2O_3 . In XRD, an amorphous characteristic of okra powder was observed, while coal showed peaks with the respective predominant elements. The zero charge point test (PCZ) determined the positive character of activated carbon, where better results were obtained with acidic pH (pH = 2). In the adsorption test, activated carbon reached a removal rate of 86.31% under ideal conditions, with a satisfactory removal rate of 50.09% after the first desorption cycle. The adsorption results of this research showed that activated carbon has great application potential for removing dyes from treated water.

Keywords: adsorption; activated charcoal; okra powder.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Quiabos de diferentes tamanhos	23
Figura 2 - Vagem imatura (esquerda) e grãos de semente (direita)	23
Figura 3 - Carvão vegetal de pó de quiabo	26
Figura 4 - Processo de adsorção	28
Figura 5 - Quiabos cortados antes e depois da secagem.....	32
Figura 6 - Pó de quiabo.....	33
Figura 7 - Forno micro-ondas modificado	33
Figura 8 - Carvão ativado.....	34
Figura 9 - Equipamento UV-VIS	37
Figura 10 - Ensaio PCZ.....	38
Figura 11 - Produção do carvão vegetal	41
Figura 12 - Produção do carvão ativado	42
Figura 13 - TGA e DTGA pó de quiabo	43
Figura 14 - TGA e DTGA carvão ativado.....	44
Figura 15 - DRX pó de quiabo e carvão ativado	47
Figura 16 - UV-VIS pó de quiabo	47
Figura 17 - UV-VIS dicromato de potássio	48
Figura 18 - Gráfico PCZ carvão ativado.....	49
Figura 19 - Curva de calibração	50
Figura 20 - Adsorção em pH ácido.....	51
Figura 21 - Adsorção em pH básico	52
Figura 22 - Adsorção com diferentes massas	53
Figura 23 - Adsorção nos tempos: 1 h, 3 h e 6 h	54
Figura 24 - Adsorção nos tempos: 6 h, 12 h, 24 h e 48 h	54
Figura 25 - Resultados dos ciclos de dessorção.....	55
Figura 26 - Destaques do ensaio de adsorção	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos poros do carvão ativado	29
Tabela 2 - Resultado FRX	46
Tabela 3 - pH resultantes do PCZ	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DRX	Difração de Raios X
DSC	Calorimetria Exploratória Diferencial
DTGA	Derivada da Análise Termogravimétrica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
FRX	Fluorescência de Raios X
IFPI	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí
LABMAT	Laboratório de Materiais e Divulgação Científica
MA	Maranhão
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONG	Organização não governamental
PCZ	Ponto de Carga Zero
PI	Piauí
pH	Potencial Hidrogeniônico
PPGEM	Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais
TGA	Análise Termogravimétrica
UEMA	Universidade Estadual do Maranhão
UV-VIS	Espectroscopia Ultravioleta e Visível

LISTA DE SÍMBOLOS

CO ₂	Gás carbônico
Cr (VI)	Cromo hexavalente
K ₂ Cr ₂ O ₇	Dicromato de potássio
°C	Graus Celsius
H ⁺	Íon hidrogênio
OH ⁻	Íon hidróxido
R\$	Reais
NaOH	Hidróxido de sódio
qt	Capacidade de adsorção máxima
%R	Porcentagem de remoção
C ₀	Concentração inicial
C _t	Concentração no tempo
t	tempo
V	Volume
L	Litro
g	Gramas
N ₂	Nitrogênio
HCl	Ácido clorídrico
ΔpH	Variação de pH
R ²	Coefficiente de determinação

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA	14
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Geral	14
1.2.2 Específicos	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 POLUIÇÃO DA ÁGUA	16
2.2 EFEITOS DOS METAIS PESADOS NA SAÚDE	17
2.3 CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA POR CORANTES	19
2.4 TRATAMENTO DE ÁGUA	20
2.5 QUIABO	22
2.6 CARVÃO VEGETAL	25
2.7 CARVÃO ATIVADO	27
2.8 ADSORÇÃO	28
2.8.1 Propriedades do adsorvente	30
2.8.2 Propriedades do adsorvato	30
2.8.3 Área superficial	30
2.8.4 Influência do pH	31
2.8.5 Influência da massa	31
2.8.6 Influência do tempo de contato (Cinética de adsorção)	31
3 MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1 MATERIAIS	32
3.1.1 Obtenção do pó de quiabo	32
3.1.2 Produção do carvão vegetal	33
3.1.3 Produção do carvão ativado	34

3.1.4 Obtenção do dicromato de potássio	34
3.2 METODOLOGIA	35
3.2.1 Caracterização por TGA	35
3.2.2 Caracterização por FRX	36
3.2.3 Caracterização por DRX	36
3.2.4 Caracterização por UV-VIS	36
3.2.5 Ponto de carga zero (PCZ)	37
3.2.6 Adsorção	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1 PRODUÇÃO DO CARVÃO ATIVADO	41
4.2 CARACTERIZAÇÃO POR TGA	42
4.3 CARACTERIZAÇÃO POR FRX	44
4.4 CARACTERIZAÇÃO POR DRX	46
4.5 CARACTERIZAÇÃO POR UV-VIS	47
4.6 PONTO DE CARGA ZERO (PCZ)	48
4.7 ENSAIO DE ADSORÇÃO	50
4.7.1 Influência do pH	51
4.7.2 Influência da massa	52
4.7.3 Influência do tempo de contato	53
4.7.4 Dessorção	55
4.8 EFICIÊNCIA DO QUIABO E APLICAÇÃO	56
5 CONCLUSÃO	58
REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

A poluição da água é ocasionada pelo ser humano, direta ou indiretamente, por meio de introdução de substâncias ou energia no ambiente aquático, causando efeitos nocivos que prejudicam os seres vivos desses ambientes. A contaminação, que faz parte desse conceito, consiste na presença dessas substâncias maléficas na água em grandes concentrações (CARAPETO, 2014).

Por causa disso, existem variados tipos de tratamento de água, com o objetivo de tornar a água potável para consumo humano, através da adequação dos limites físicos, químicos, biológicos e radioativos estabelecidos por lei. Para saber qual a tecnologia que deve ser empregada para o tratamento de água, deve ser avaliados os seguintes fatores: características da água bruta, custos de implantação, manutenção e operação, manuseio e confiabilidade dos equipamentos, flexibilidade operacional, localização geográfica, características da comunidade e disposição final do lodo (LIBÂNIO, 2010).

Dentre os principais processos de tratamento de água, destaca-se o de coagulação-floculação. A coagulação consiste em aglomerar materiais suspensos e coloidais que podem ser removidos por sedimentação e filtração, e a floculação permite a aglomeração de pequenas partículas em suspensão a fim de formar partículas maiores, possibilitando uma maior sedimentação dos poluentes (AGARWAL; SRINIVASAN; MISHRA, 2001).

No processo de coagulação-floculação, os coagulantes mais comuns utilizados são à base de alumínio e ferro, mas esses produtos trazem questionamentos quanto aos impactos ambientais que podem causar. Estudos apontam que o uso de alumínio está associado com a doença de Alzheimer, devido à grande quantidade desse elemento encontrado no resíduo formada ao final do processo de tratamento (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006), (DE JESUS et al., 2014).

Por esse e outros motivos, materiais naturais e biodegradáveis vêm sendo experimentados para remover poluentes da água. Os produtos naturais, como o quiabo, têm como meta reduzir custos do tratamento de água através da substituição dos produtos tradicionais ou em trabalho conjunto, para contribuir para a formação de flocos (AKHTAR et al., 2009).

Já que não é permitido o uso indiscriminado de qualquer substância química durante as etapas de processamento, as substâncias naturais surgem como opção

para substituí-las no sistema de produção, oferecendo menores custos (FERREIRA; SILVA, 2008).

O quiabo (*Abelmoschus esculentus*) pertence à família Malvaceae e é de origem africana, muito cultivado em regiões tropicais (CARNELOSSI et al., 2005). É um legume muito utilizado na culinária brasileira, principalmente por ser facilmente cultivado em regiões de clima quente, solo fértil, úmido e argiloso (FILHO, 2017).

Pelo fato de ser um material natural e biodegradável, o quiabo oferece inúmeras vantagens, pois é não-tóxico, amplamente disponível e seu processamento não traz riscos ao meio ambiente (SENTHILKUMAR; NADU, 2015).

1.1 JUSTIFICATIVA

Diante do problema de poluição e contaminação da água por metais pesados e corantes, vê-se a necessidade de um tratamento de água utilizando materiais naturais e biodegradáveis, como o quiabo, que surgem como alternativa econômica, limpa e eficiente, com o objetivo de reduzir contaminantes na água nocivos à saúde humana.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Sintetizar um carvão ativado à base de pó de quiabo como filtro de poluentes hídricos.

1.2.2 Específicos

- ✓ Caracterizar o carvão ativado produzido a partir do pó de quiabo através das técnicas: Análise Termogravimétrica (TGA), Fluorescência de Raios X (FRX), Difração de Raios X (DRX) e Espectroscopia Ultravioleta e Visível (UV-VIS);
- ✓ Realizar o ensaio de Ponto de Carga Zero (PCZ) e determinar a capacidade de adsorção do carvão ativado pela influência dos seguintes parâmetros: pH, massa e tempo de contato;

- ✓ Avaliar a eficiência do carvão ativado produzido a partir do quiabo na remoção do corante dicromato de potássio.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 POLUIÇÃO DA ÁGUA

Poluição consiste na interferência do ser humano no ecossistema, seja de forma direta ou indireta, ocasionando prejuízos aos recursos naturais. A contaminação do ambiente aquático ocorre através da presença elevada de substâncias introduzidas pelo Homem nas águas e nos organismos, causando efeitos nocivos ao ecossistema aquático e afetando a qualidade da água (CARAPETO, 2014).

A quantidade de água à disposição para consumo humano é finita e crítica, especialmente em locais onde há altas concentrações de pessoas. Por isso, é necessário que todos tenham consciência da preservação das fontes hídricas disponíveis, promovendo o uso racional e correta utilização desse recurso (FUGITA, 2018).

As águas de superfície, encontradas em rios e lagos, estão sujeitas a poluição por parte dos seres humanos, o que as torna inseguras para consumo (CARVALHO; SANTOS, 2011). Os metais pesados, como Hg, Cd e Pb, são um dos maiores agentes impactantes na contaminação hídrica. Essa contaminação ocorre principalmente devido aos lançamentos descuidados de resíduos de indústrias metalúrgicas, químicas e atividades de mineração localizados próximos aos cursos de água (BICUDO; TUNDISI; SCHEUENSTUHL, 2010).

A maioria dos metais pesados são proibidos ou restritos na maior parte dos países, por isso sua produção é feita de forma controlada. Muitos países continuam usando metais pesados para diversos fins, contudo não mostram devida importância a respeito do comportamento desses materiais e nem dos seus destinos finais. Por essa razão, no Brasil existem políticas públicas que são estabelecidas, desde o nível de comunidades até o nível nacional, que monitoram o acesso, a qualidade e o uso da água, relacionando os efeitos entre a vida social, a água e a saúde da população (BICUDO; TUNDISI; SCHEUENSTUHL, 2010).

As indústrias são grandes poluidoras de metais pesados, já que geram grandes volumes de efluentes líquidos contaminados por esses materiais e geralmente estão localizadas próximas a rios e lagos que abastecem cidades (OLIVEIRA; JESUS; CONCEIÇÃO, 2014).

Dessa forma, as etapas de tratamento de água buscam entregar um produto final de qualidade para uso humano, evitando substâncias nocivas, com os menores índices possíveis de cor, turbidez, sólidos em suspensão, sabor e odor. Dentre os diversos tipos de tratamentos de água existentes, destaca-se a coagulação-floculação (CARVALHO; SANTOS, 2011).

2.2 EFEITOS DOS METAIS PESADOS NA SAÚDE

Metais pesados são elementos tóxicos, com número atômico maior que 20, que o ser humano não consegue metabolizar. Os metais pesados apresentam diferentes tipos de toxicidades. Por exemplo, elementos como chumbo, alumínio e cádmio são considerados tóxicos em qualquer situação, já elementos como ferro, zinco e cobre são vitais, mas podem ser contaminantes dependendo da sua concentração (BAUMGARTEN, 2020).

Existem duas classificações quanto à origem dos metais pesados, eles podem ser litogênicos ou antropogênicos. O primeiro se refere às substâncias vindas de fontes geológicas, como resquício de rochas ou liberados pelo intemperismo, enquanto o segundo está relacionado com atividade humana, seja por mineração, uso de defensivos agrícolas, fertilizantes, dentre outros (TAVARES, 2013).

A industrialização moderna influenciou a contaminação generalizada por metais pesados. Como ocorrência disso, tem-se o crescimento da poluição de chumbo em florestas naturais, por exemplo. Além da poluição desse metal por veículos que utilizam gasolina, pois o chumbo está presente nos gases emitidos por esses meios de transporte (CARAPETO, 2014).

A toxicidade dos metais pesados pode danificar o funcionamento do cérebro, pulmões, composição do sangue e outros órgãos importantes. Quando essa exposição acontece por um longo período de tempo, pode levar ao processo degenerativo físico, muscular e neurológico, desencadeando doenças como esclerose múltipla, doença de Parkinson, doença de Alzheimer e distrofia muscular (JAISHANKAR et al., 2014). A Organização Mundial da Saúde (OMS) também afirma que a exposição humana ao alumínio pode ser um fator de risco para o desenvolvimento da doença de Alzheimer (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1997).

De acordo com De Jesus et al. (2014), sais de ferro e de alumínio são as principais substâncias utilizadas para o tratamento de água. Quando se usa

compostos à base de alumínio em grande quantidade ou por um longo período de tempo, no fim do processo de tratamento de água é gerado um lodo que evidencia quantidades desse material nocivas ao ser humano, sendo essa uma das causas associadas à doença de Alzheimer.

Os principais meios de consumo de alumínio pelos seres humanos são por meio de inalação, ingestão e contato com a pele. Alguns dos mais comuns desses meios são água, comida, bebidas e remédios. A presença de altas concentrações de alumínio no corpo apresenta diversos sintomas como náuseas e vômitos, úlceras na boca e na pele, diarreia e dores artríticas (JAISHANKAR et al., 2014). Outros problemas trazidos pela grande quantidade de alumínio no corpo, além do Alzheimer, são ulceração de lábios e boca, intolerância à glicose e paragem cardíaca. Além de desordem na capacidade de memorizar (FREITAS et al., 2021).

Outro metal que pode ser encontrado nas águas é o ferro. Os despejos domésticos e industriais fazem com que ele seja identificado em águas superficiais e subterrâneas. Nestas últimas o ferro aparece de forma solúvel, enquanto que no solo ele é dissolvido pela água da chuva, que é saturada de CO_2 (LIBÂNIO, 2010). Existem normas que limitam a concentração de ferro a 0,3 mg/L para água usada em abastecimento público. Apesar de não possuir grande toxicidade, a presença de ferro pode causar alterações em cores, odores e manchas em roupas ou materiais domésticos (SANTOS, 2020).

O chumbo, um metal que causa intoxicação, vem sendo estudado ao longo do tempo por vários pesquisadores por causa do efeito que causa no sistema nervoso central. O seu índice de contaminação é elevado, mesmo que uma pessoa seja exposta por um curto período de tempo, pois mesmo em pequenas concentrações o chumbo pode permanecer no cérebro humano e desenvolver problemas como alterações na memória, atenção e visão (DASCANIO; PRETTE; FONTAINE, 2015).

Segundo (BEATRIZ; COSTA, 2022), as crianças são mais vulneráveis que os adultos na absorção de chumbo. A absorção nos adultos ocorre entre 5 a 15% e retém 5%, já nas crianças a absorção fica entre 40 a 50% e retém 32%, mostrando que as crianças têm maior chance de serem intoxicadas e possuem hábitos que influenciem a exposição a esse metal.

Além dos metais pesados citados, alumínio, ferro e chumbo, existem outros metais que também preocupam e apresentam toxicidade até em pequenas

concentrações, como é o caso do mercúrio, níquel e cromo (OLIVEIRA; JESUS; CONCEIÇÃO, 2014).

O cromo hexavalente ou Cr (VI) é tóxico, sendo capaz de contaminar o ambiente que contenha matérias orgânicas e inorgânicas. Devido ao seu alto poder de toxicidade e à alta concentração em que é despejado na natureza. O cromo (VI) possui raio menor que o cromo (III), conseqüentemente menor tamanho, portanto o Cr (VI) tem a capacidade de penetrar nas células, o que o torna altamente tóxico com potencial cancerígeno. Já o cromo (III) faz parte do organismo humano e é considerado essencial ao nosso metabolismo (SOUZA et al., 2021).

2.3 CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA POR CORANTES

Corantes consistem em elementos químicos orgânicos que podem absorver luz visível de forma seletiva, com a finalidade de aparecerem coloridos, de acordo com a presença de cromóforos, sendo eles nitro, nitroso, azo e carbonila. Uma das principais características dos corantes é a resistência à luz, ou seja, a durabilidade que ele tem sem que sua cor seja alterada (KIMURA et al., 1999).

Há muitos anos o ser humano começou a usar corantes de fabricação natural, os quais eram tirados de plantas e possuíam uma capacidade de tingimento. Com o passar do tempo, foram desenvolvidas técnicas de criação de corantes sintéticos, partindo de combinações de elementos orgânicos com átomos de carbono que seriam convertidos em compostos com estruturas ramificadas e anéis aromáticos (LC BOLONHA, 2020).

É estimado que existam cerca de 2000 tipos de corantes disponíveis para a indústria têxtil. Essa grande variedade de produtos ocorre devido às características próprias que cada tipo de fibra a ser colorida necessita para seu uso, pois o mercado requer uma vasta opção de corantes por razões e aplicações específicas (GUARANTINI; ZANONI, 2000).

Algumas propriedades dos corantes como cor intensa, solubilidade em água e toxicidade em alguns casos, tornam esses materiais potencialmente problemáticos, o que leva a um questionamento quanto à sua aplicação. O uso de corantes por seres humano pode desencadear o surgimento de produtos como aminas, benzidinas, entre outros, os quais podem apresentar potencial cancerígeno (GUARANTINI; ZANONI, 2000).

O corante dicromato de potássio possui cor laranja-avermelhada, encontra-se no estado sólido a temperatura ambiente e é solúvel em água. A fórmula química do dicromato de potássio é $K_2Cr_2O_7$ e sua massa molar é 294,181 g/mol. Esse material possui ponto de fusão de 398 °C e ponto de ebulição de 500 °C, temperatura em que se decompõe. Além de ser um produto utilizado na indústria têxtil na fabricação de corantes, o dicromato de potássio também tem outras aplicações como eletrogalvanização, manufatura de vidro, fotografia, colas, produtos de cerâmica, curtume, entre outros (NEW JERSEY HAZARDOUS SUBSTANCE FACT SHEETS, 1997).

O cromo é um dos principais poluentes inorgânicos que afeta o meio ambiente. Indústrias metalúrgicas, produtoras de tintas e pigmentos, empresas de papel e madeira e curtumes são setores que utilizam bastante compostos que contêm cromo, portanto afetam a natureza de diferentes maneiras. No Brasil existem cerca de 4000 empresas do ramo industrial de couro, que descartam efluentes contaminados por cromo (VI), com teor variando de 10 a 100 mg/L. Essa quantidade de Cr (VI) encontrada nos efluentes está acima do permitido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) Resolução nº 397/2005, que é de 0,1 mg/L (SANTOS, 2015).

Mesmo com a norma vigente do CONAMA, efluentes contaminados continuam sendo descartados na natureza sem o devido tratamento, provocando prejuízos ambientais (BRAGA, 2005). Por causa disso, diversos métodos de remoção de corantes na água têm ganhado espaço em pesquisas recentes. Existem alguns parâmetros que contribuem para a verificação de que a remoção da cor foi efetuada, uma das principais é a espectrofotometria. Isso pode ser visto através da comparação entre os valores de absorbância da amostra e os valores impostos pelas normas de padrão de qualidade esperados para o controle de coloração em rios, analisando o estágio de contaminação deles (GUARANTINI; ZANONI, 2000).

2.4 TRATAMENTO DE ÁGUA

Em 1997, foi criada a Lei das Águas nº 9.433, tendo como principais objetivos assegurar que a atual e a futura geração tenha disponibilidade de água, com a adequada qualidade, assim como promover um uso racional e integrado dos recursos hídricos (VIEIRA, 2006).

Cada setor da sociedade tem seu papel em relação à gestão dos recursos hídricos. O papel do Estado é definir diretrizes e apoiar técnica, administrativa e financeiramente a gestão desses recursos. Já o papel da Sociedade Civil, como ONGs, escolas, universidades, dentre outros grupos, consiste em capacitar e orientar a população com programas de educação ambiental. Por fim, o papel do Usuário é cobrar o acesso a água e ao apropriado saneamento, podendo ainda colaborar com a preservação dos recursos naturais e ajudar aqueles que não tem acesso a água tratada e saneamento básico (VIEIRA, 2006).

O processo de coagulação, que surgiu em meados do século XIX, consiste em aglomerar materiais suspensos e coloidais que podem ser removidos por sedimentação e filtração. Desde aquele tempo havia a necessidade de melhorar o aspecto visual da água para consumo humano, já que a elevada turbidez era associada com o pensamento de transmissão de doenças devido a presença de microrganismos (LIBÂNIO, 2010). Já o processo de floculação, envolve o agrupamento de pequenas partículas em suspensão afim de formar partículas maiores denominadas flocos. Esse procedimento é considerado essencial no tratamento de água doméstica ou industrial, pois é a etapa de limpeza que antecede a descarga nos rios e previne a poluição da água (AGARWAL; SRINIVASAN; MISHRA, 2001).

Quando se usa a técnica de coagulação-floculação para tratamento de água, os materiais mais utilizados são a base de alumínio e ferro. Existem discussões sobre o uso desses elementos, pois em grandes dosagens podem causar impactos ambientais (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006). O uso do alumínio foi associado à doença de Alzheimer, devido à grande quantidade de resíduo desse material encontrado na lama ao término do processo (DE JESUS et al., 2014).

Os filtros têm como função principal eliminar os sólidos em suspensão, para tornar a água utilizável para diversos fins, ou seja, esse meio poroso faz a retenção de impurezas que possuem dimensões pequenas, as vezes até mesmo de materiais de poros menores que o do material filtrante (REDIN, 2022).

Diversos materiais biodegradáveis, como o quiabo, estão sendo experimentados e utilizados para a remoção de poluentes da água, principalmente por serem ótimos agentes floculantes e diminuírem os impactos causados ao meio ambiente (DE JESUS et al., 2014). O uso dos materiais orgânicos visa reduzir os custos de tratamento de água utilizando polímeros naturais que substituam os

produtos convencionais, ou trabalhem em conjunto para favorecer a formação de flocos (AKHTAR et al., 2009).

2.5 QUIABO

O quiabo (*Abelmoschus esculentus*) pertence à família Malvaceae e é de origem africana, muito cultivado em regiões tropicais. Também é comumente visto na Ásia, América e regiões mediterrâneas (DANILO et al., 2017). É um produto facilmente encontrado na região nordeste do Brasil, onde o clima favorece seu desenvolvimento e cultivo (CARNELOSSI et al., 2005). Além do Nordeste, a região Sudeste também é favorável ao crescimento do quiabo, já que conta com um clima quente e úmido. Enquanto clima e frio com dias curtos e noites longas dificultam o seu desenvolvimento (MORAES et al., 2018).

Apesar de não estar entre as hortaliças de maior valor econômico do Brasil, o quiabo tem grande popularidade, podendo ser facilmente encontrado em mercados e feiras por todo o país, já que em regiões quentes pode ser cultivado o ano inteiro. O mercado nacional tem preferência pelo fruto do quiabo de cor verde intensa e que mede menos de 12 cm de comprimento (LIMA, 2007).

O fruto do quiabo (Figura 1) possui cor variável, pubescente e geralmente mede de 10 a 30 centímetros de comprimento, e de 2 a 3 centímetros de largura (NWANGBURUKA, 2014). As sementes maduras do quiabo são excelentes fontes de óleo e proteína. Os frutos ainda imaturos podem ser usados em diversos pratos para consumo, como salada, refogado, cozido ou assado. O quiabo ainda conta com vitamina A, vitaminas B2 e B6, cálcio, entre outros diversos componentes químicos (LIMA, 2007).

Figura 1 - Quiabos de diferentes tamanhos



Fonte: Próprio Autor, 2022.

Na sua constituição química, o quiabo é formado por mono, di e polissacarídeos, além de éster e amidas de cadeia longa. Ele apresenta diversos íons de H^+ em sua estrutura e OH^- por toda a extensão de sua cadeia, isso facilita a interatividade entre o quiabo e o meio aquoso que ele se encontra (WEST, 2016).

Em relação à constituição física, o quiabo contém bastante água, cerca de 89 %, 7 % de carboidratos, 2,1 % de proteínas, 0,2 % gorduras e 1,7 % de outros compostos. O quiabo tem uma aparência de cápsula, conta com muitas sementes ao longo de sua extensão e dispõe de cor verde escura na maioria dos casos. Na Figura 2 é visto a vagem do quiabo ainda imatura do lado esquerdo, e os grãos de semente no lado direito (MONTENEGRO, 2018), (JONES, 2016).

Figura 2 - Vagem imatura (esquerda) e grãos de semente (direita)



Fonte: Jones, 2016.

No método *Kjeldahl* de Jones (2016) o quiabo passa por um processo de desengorduração, onde o teor de proteína se eleva para 40 a 55 %, muito acima dos valores padrões encontrados em um quiabo comum. Nos países de língua inglesa, o quiabo é conhecido por diversos nomes, sendo o mais comum deles “*ladies finger*” (dedos femininos), por causa do seu corpo alongado. O quiabo é regularmente consumido como vegetal nesses locais, em saladas, frito, cozido, em sopas e ensopados.

O quiabo possui importantes características nutricionais como poucas calorias e muitas fibras. Dentre as diversas aplicações desse fruto no cotidiano, pode-se destacar: ajuda no emagrecimento, controle dos níveis de açúcar e de colesterol no organismo, redução de estresse, prevenção de anemia e manutenção da saúde dos ossos (ZANIN, 2021).

Em 2017 foram produzidas 111.967 toneladas de quiabo no Brasil. O estado de Minas Gerais foi o maior produtor registrado naquele ano, contando com cerca de 25 % do valor da produção de todo o país, totalizando quase R\$ 47.700.000,00. A título de comparação, o estado do Piauí gerou cerca de R\$ 742.000,00 em produção de quiabo no mesmo período (IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS, 2017).

Recentemente surgiram pesquisas variadas em países em desenvolvimento com interesse em coagulantes naturais, principalmente por causa das suas propriedades antimicrobianas e de remoção de metais pesados em determinadas situações (CHOY et al., 2015). Além dessas propriedades, o uso do quiabo como polímero natural também se destaca por possuir polissacarídeos aniônicos que têm a capacidade de flocular pequenas partículas coloidais, aumentar a eficiência de decantação dos flocos e diminuir a quantidade de coagulantes tradicionais utilizados. Isso torna o processo mais seguro e apropriado aos seres humanos, pois são materiais não tóxicos, biodegradáveis, amplamente encontrados e de baixo custo (PANG et al., 2013), (OKOLO et al., 2014), (RAJI et al., 2016).

Nos últimos anos, surgiram estudos sobre o uso do quiabo para remoção de metais pesados no processo de tratamento de água. No trabalho de De Jesus et al. (2014), o pó de quiabo, em concentração 30 mg/L e em pH 8,0, conseguiu remover 80,92 % dos íons de ferro, além de atingir uma remoção de 99 % de turbidez após 10 minutos de sedimentação.

No estudo de Al-Samawi e Hama (2012), o pó de quiabo removeu de 20-100 % dos metais pesados ao que foi submetido, onde foram aplicados zinco, cromo, cobre, níquel e cádmio. As condições para que se chegasse a esses resultados foram pH 7,0 e concentração de pó de quiabo 500 mg/L. Isso demonstra que esse material natural e biodegradável apresenta propriedades significantes para a retirada de metais no processo de purificação da água.

Além do quiabo, outros materiais orgânicos também têm sido usados como auxiliares no processo de floculação em tratamento de água. Dentre eles pode-se destacar o amido de milho, a mandioca e a moringa, esta última é usada como coagulante. Esses materiais fazem parte de estudos que possivelmente trariam melhorias na qualidade da água tratada, aumentando a eficácia da sedimentação, resultando em uma água melhor para consumo humano (SOUZA, 2014).

Garcia-Chevesich et al. (2020) fez uma seleção de 29 materiais que estavam sendo estudados por diversos pesquisadores para remoção de metais pesados, dentre os quais 19 deles, incluindo o quiabo, foram capazes de remover 90% dos metais nas amostras de água em questão. Essa análise sugeriu que tais materiais pudessem ser aplicados em operações de águas regionais ou de pequenas escalas.

2.6 CARVÃO VEGETAL

A definição de carvão vegetal consiste em um material orgânico com alto teor de carbono, muito utilizado para gerar energia para residências e também serve como fonte de calor e carbono para a indústria, principalmente em países em desenvolvimento. O Brasil é o maior produtor de carvão vegetal do mundo, com cerca de 12% da produção mundial. Esse material, além de poder ser usado como fonte de aquecimento para alimentos, também é matéria-prima nas indústrias siderúrgicas. Na Figura 3 é visto o carvão vegetal feito a partir do pó de quiabo (IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS, 2021).

Figura 3 - Carvão vegetal de pó de quiabo



Fonte: Próprio Autor, 2022.

A qualidade do carvão vai depender do teor de matéria volátil, cinzas e o teor de carbono. Quanto menor for o teor de matéria volátil e cinzas e maior for o de carbono, resultará em um carvão de melhor qualidade (LEME, 2016). Após descobrir a qualidade do produto final, é possível determinar qual sua finalidade, ou seja, caso o carvão possua de 20 a 30 % de matéria volátil é empregado em uso doméstico, enquanto outro carvão que possui de 10 a 15 % de conteúdo volátil e 80 % de carbono fixo, pode ser usado como carvão metalúrgico (ALVES, 2022).

O carvão vegetal teve grande importância no surgimento da indústria siderúrgica no Brasil. A escassez de carvão mineral no país levou à procura de outras alternativas, e devido a existência de florestas vastas e vegetação nativa, foi possível usar esses materiais nessa indústria. A siderurgia concentra o maior uso consumo de carvão vegetal do país, logo, é necessário ter atenção quando se trata da qualidade desse produto. A produção de ferro gusa depende dessa qualidade, já que é preciso apresentar fibras com parede celular espessas, baixo teor de minerais e elevados teores de lignina (NEGRÃO, 2017).

De acordo com (ALBUQUERQUE, 2019), mais de 80 % do carvão vegetal utilizado no Brasil vem de madeira de reflorestamento, isso significa que é usada pouca madeira de floresta nativa. O reflorestamento facilita e otimiza a produção dessa matéria prima por meio de melhoramento genético, destacando a importância da qualidade da madeira, que é obtida principalmente através de um elevado tempo de secagem e um planejamento no transporte e estoque dos materiais, pois dessa forma pode-se garantir menores teores de umidade.

2.7 CARVÃO ATIVADO

Carvão ativado é um produto originado de materiais com grande quantidade de carbono, sendo eles madeira, sementes, carvão mineral, ossos de animais, pneus, petróleo, dentre outros (SENA et al., 2022). Quando a ativação acontece em um material que tem baixa porosidade, a oxidação dos átomos de carbono fazem com que a área superficial e a porosidade aumentem, passando de 10 a 20 m²/g, podendo chegar ou até superar 800 m²/g (BRAGIÃO, 2019).

Existem três categorias de ativação, a física, a química e a físico-química. No primeiro tipo de ativação, a física, ocorre uma oxidação lenta através de gases oxidantes, vapor de água ou dióxido de carbono (CO₂), geralmente em temperaturas que variam de 400 a 900 °C. Esse processo de oxidação, gera o surgimento de novos poros no material, além de aumentar os já existentes (GOMES; BIANCHI; MAGALHÃES, 2021). Já na ativação química, inicialmente o material é impregnado com um produto químico, que geralmente é um ácido, hidróxido ou sal. Os compostos mais comuns utilizados para impregnação são H₃PO₄, ZnCl₂, KOH e NaOH (CÂNDIDO, 2019). A ativação físico-química consiste em uma metodologia combinada entre a ativação física e química. Esse tipo de ativação envolve o material precursor impregnado seguido do tratamento térmico do gás oxidante. Esse método resulta em materiais com alta porosidade junto com elevada densidade aparente (CÂNDIDO, 2019).

O carvão ativado funciona como adsorvente por causa da sua alta área superficial, distribuição dos poros e grupos funcionais localizados em sua superfície (HAN et al., 2020). Esse material pode ser utilizado como adsorvente, catalisador na indústria farmacêutica e aplicado como suporte de catalisador em indústrias de supercapacitor. Mas para isso, sua função vai depender do método de ativação usado, já que ocorrem alterações nas propriedades físicas e químicas de acordo com a natureza do material precursor (NARVEKAR et al., 2021). Algumas das mudanças nas propriedades desses materiais depois da ativação são: capacidade de adsorção de compostos orgânicos e inorgânicos, aumento da área superficial, atividade química na superfície e resistência mecânica (PIQUET; MARTELLI, 2022).

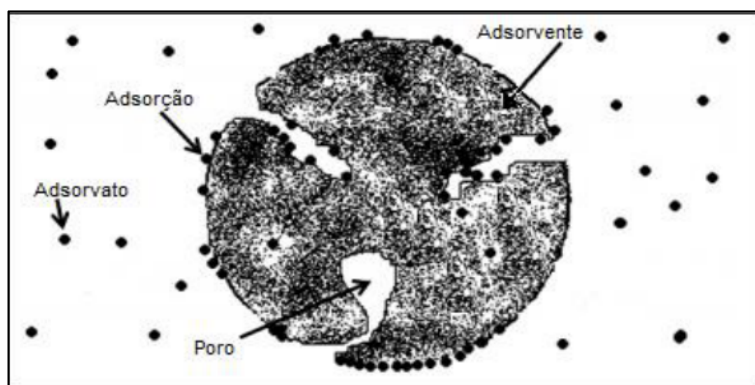
O carvão ativado tem diversas aplicações, dentre elas a filtragem de água para retirada de contaminantes, remoção de metais densos, além de adsorção orgânica, de corantes, captura de CO₂, entre outros (GONZÁLEZ-GARCÍA, 2018). O carvão

ativado no tratamento de água tem a função de eliminar impurezas que contaminam o meio através da adsorção de poluentes para os poros do carvão. Esses compostos podem ser originados de fontes como metabolismo biológico, compostos orgânicos sintéticos, como óleos, corantes e detergentes, e por fim, de subprodutos químicos usados nas etapas de tratamento de água (GARCÍA et al., 2018).

2.8 ADSORÇÃO

A adsorção consiste na atração e contenção de moléculas ou partículas que existem nos fluidos, estejam eles em estado líquido ou gasoso, em volta de uma superfície sólida. O sólido é chamado de adsorvente, enquanto os íons, átomos ou moléculas que interagem com ele são denominados de adsorvato. A adsorção ocorre na superfície dos materiais sólidos, conforme Figura 4, pois é onde se encontram as forças atrativas que possibilitam esse processo (BANSAL; GOYAL, 2005).

Figura 4 - Processo de adsorção



Fonte: Bonetto, 2016.

Em outras palavras, o processo de adsorção permite a separação dos componentes fluidos líquidos ou gasosos dos materiais sólidos. Dessa forma, os materiais adsorvidos se concentram na superfície externa do sólido adsorvente, e, quanto maior for a superfície desse sólido, maior será favorecida a adsorção (NASCIMENTO et al., 2014).

A adsorção depende de algumas características como área superficial, tamanho dos poros e densidade dos grupos funcionais da superfície, no caso do adsorvente, e polaridade, tamanho da molécula, solubilidade e grau de acidez ou basicidade, no caso do adsorvato. Portanto, pode-se dizer que é necessário conhecer

alguns fatores para realizar a adsorção, como a natureza do adsorvente e adsorbato e as condições operacionais do processo (ALMEIDA et al., 2012).

A classificação dos poros de carvão ativado acontece em três categorias, de acordo com o tamanho do seu diâmetro, essa separação segue o padrão estabelecido pela União Internacional de Química Pura e Aplicada, conforme mostrado na Tabela 1 (ANGIN; KÖSE; SELENGIL, 2013).

Tabela 1 - Classificação dos poros do carvão ativado

Diâmetro dos poros	Classificação
Menor que 2 nm	Microporos
Entre 2 e 50 nm	Mesoporos
Maior que 50 nm	Macroporos

Fonte: Angin *et al*, 2013.

Essa classificação de poros ajuda a direcionar a empregabilidade de materiais para determinadas funções. Os microporos, por exemplo, são utilizados em adsorção de pequenas moléculas, que possuem baixo peso molecular, como é o caso de solventes convencionais e gases (CRUZ JUNIOR, 2010). Em contrapartida, os mesoporos aparecem na adsorção de grandes moléculas, com peso molecular superior e conseguem conter uma quantidade maior de adsorbato por poro. Por fim, existem os macroporos, que não tem muita importância quando se trata de adsorção, já que o tamanho dos poros permite a passagem das moléculas para o interior do carvão ativado, funcionando como uma via de transporte, logo, os macroporos são encontrados geralmente na superfície externa dos materiais (SILVA, 2019).

A adsorção ocorre geralmente entre o carvão ativado, que é o material adsorvente sólido, e um outro material adsorbato, que pode ser líquido ou gasoso. A característica do adsorvente influencia no seu desempenho, contudo, isso pode ser controlado por processos físicos e químicos. O processo físico, também chamado de fisissorção, acontece através de forças não eletrostáticas, ou seja, forças de van der Waals e ligações de hidrogênio, que são interações físicas ou secundárias. Já o processo químico, ou a quimissorção acontece através de compartilhamento ou troca de elétrons com elementos químicos que se encontram na superfície do carvão ativado (AN; ZAGORSCAK; THOMAS, 2022).

O processo de adsorção é considerado simples, de fácil operação e de baixo custo. Também se destaca por mostrar eficiência elevada quando se trata de descoloração para águas residuárias, o qual pode conter determinada quantidade de corantes (EL-BINDARY et al., 2014).

Existem alguns parâmetros que influenciam na adsorção, são eles: propriedades do adsorvente, propriedades do adsorvato, área superficial, influência do pH, influência da massa, influência do tempo de contato e influência da temperatura.

2.8.1 Propriedades do adsorvente

Os adsorventes são materiais que retêm partículas dos adsorvatos em sua superfície pelas forças físicas e químicas, na maioria das vezes eles são sólidos. Os adsorventes possuem grande quantidade de poros de pequenas dimensões, mas que possibilitam áreas maiores do que a área externa da partícula. Alguns adsorventes usados bem conhecidos são o carvão ativado, sílica, zeólitas (PIRES, 2019).

2.8.2 Propriedades do adsorvato

Algumas propriedades do adsorvato como tamanho da partícula e polaridade interferem na adsorção. O tamanho da partícula tem relação com a velocidade do processo que depende do transporte entre partículas. A polaridade faz com que o adsorvato tenha maior afinidade com o adsorvente, variando para cada material. Alguns grupos polarizados manifestam afinidade por metais através de uma melhor interação entre íons dos metais e a superfície do adsorvente (DOMINGUES, 2005).

2.8.3 Área superficial

A adsorção é influenciada pelo tamanho da área superficial do adsorvente. Materiais com partículas menores possuem maior área superficial disponível para o processo de adsorção, logo, pequenos materiais com grande área superficial são utilizados para a remoção de metais, por exemplo, (SEKAR; SAKTHI; RENGARAJ, 2004).

2.8.4 Influência do pH

O principal influenciador do processo de adsorção é o pH, pois cada valor de pH afeta de forma diferente as características químicas da solução e dos poluentes, além de alterar propriedades dos grupos funcionais dos adsorventes e a interação com os íons já presentes na solução (ALI et al., 2016). O adsorvente é capaz de atrair íons H^+ ou OH^- da solução para sua superfície, dependendo do valor que se encontra o pH do meio. O pH pode facilitar o processo de adsorção devido à maior interação entre esses íons e a carga superficial do material (FILHO, 2018).

2.8.5 Influência da massa

A variação de massa no processo de adsorção ocorre através da transferência de massa de um componente líquido externo para a parte interna do adsorvente, que acabam por migrar através dos macroporos para as regiões interiores dessa partícula (NASCIMENTO et al., 2014).

2.8.6 Influência do tempo de contato (Cinética de adsorção)

A cinética de adsorção, também conhecido como o tempo de contato que o adsorvente passa interagindo com o adsorvato, releva a quantidade de adsorvato removido em relação ao tempo. Em outras palavras, avalia a taxa de transferência de massa do meio que se dirige para os poros do material adsorvente (AL-JABARI, 2016). Essa etapa também verifica a velocidade de adsorção, estudando as condições em que os materiais estão e as influências que sofrem delas para atingir o equilíbrio em um período de tempo satisfatório (GHOSAL; GUPTA, 2017).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A caracterização física e química do pó de quiabo, bem como os ensaios tecnológicos foram desenvolvidos no Laboratório do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais (PPGEM) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI), em Teresina – PI. Enquanto a produção de carvão ativado a partir do pó de quiabo foi realizada no Laboratório de Materiais e Divulgação Científica (LABMAT) da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), localizado em Caxias – MA.

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Obtenção do pó de quiabo

Foram adquiridos 3,0 Kg de quiabo em um comércio local situado na cidade de Teresina, Piauí, localizado nas seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 05° 05' 21" Sul e Longitude: 42° 48' 06" Oeste. Esse material foi lavado com água corrente e, em seguida, cortado em pedaços pequenos para o processo de secagem, como mostrado na Figura 5 à esquerda. Nesse processo, o quiabo cortado foi submetido a uma temperatura de 60 °C por 24 horas (PEREIRA; MEIRA; SOUSA, 2019), conforme indica a literatura. Após a secagem no equipamento de estufa modelo Estufa à Vácuo SL 104/30, os quiabos ficaram com uma coloração diferente e com aspecto quebradiço como é mostrado na Figura 5 à direita.

Figura 5 - Quiabos cortados antes e depois da secagem



Fonte: Próprio autor, 2022.

Depois, o material foi triturado em aparelho liquidificador de alimentos comum, e em seguida, triturado no moinho de facas, a fim de se obter o material com menor tamanho possível. O resultado disso foi o pó de quiabo, conforme Figura 6.

Figura 6 - Pó de quiabo



Fonte: Próprio autor, 2022.

3.1.2 Produção do carvão vegetal

Para a produção de carvão vegetal, foi realizada a queima de 27 g do pó de quiabo, juntamente com cerca de 19 g de carvão ativado comercial, para auxiliar no processo de queima. Essa etapa foi realizada por meio do forno micro-ondas modificado, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7 - Forno micro-ondas modificado



Fonte: Próprio autor, 2022.

Depois, foi utilizado o gás Nitrogênio (N_2) para se realizar a carbonização em altas temperaturas. O fluxo de N_2 foi de 2 L/min, aberto durante 5 minutos até que então fosse ligado o reator do forno micro-ondas. A temperatura do processo de queima ocorreu na faixa de 500 °C num intervalo de tempo de 120 minutos. Esse forno

foi modificado e adaptado de acordo com a metodologia descrita por (SILVA, 2019), que usou o mesmo equipamento quando fez um processo semelhante para coco babaçu. Por fim, o carvão produzido foi pesado para determinar o rendimento no final do processamento, enquanto o forno micro-ondas foi deixado para ser resfriado até a temperatura ambiente.

3.1.3 Produção do carvão ativado

Em seguida, a quantidade de carvão vegetal usado para a produção de carvão ativado foi de 5,24 g. Novamente foi aberto o tubo do gás nitrogênio (N_2), mantendo-se assim por 5 minutos, depois foi desligado para que o gás carbônico (CO_2) fosse ligado, no fluxo de 2 L/min. A temperatura do processo atingiu a 650 °C no intervalo de tempo de 120 minutos. No fim do processo, o CO_2 foi desligado, voltando a ligar o N_2 para resfriamento até atingir a temperatura ambiente. Na Figura 8 observa-se o carvão ativado recém produzido dentro de um recipiente.

Figura 8 - Carvão ativado



Fonte: Próprio autor, 2022.

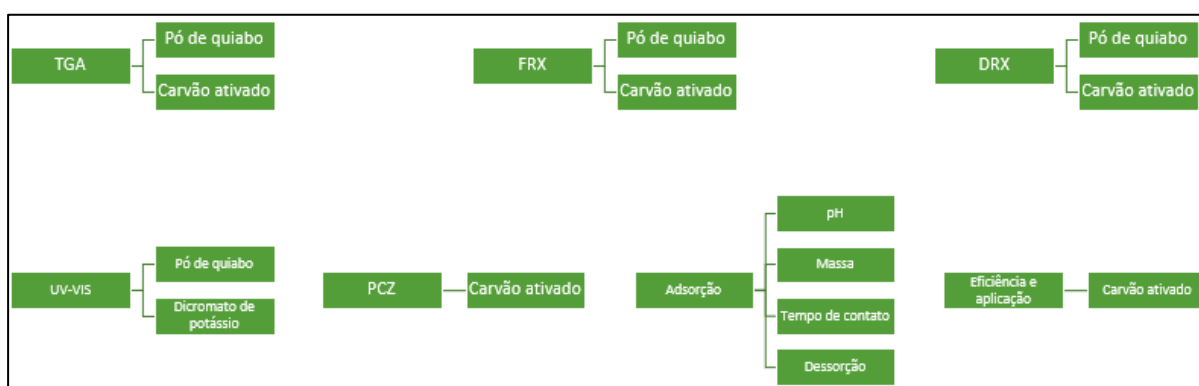
3.1.4 Obtenção do dicromato de potássio

O material utilizado no experimento de adsorção foi o dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$), um sólido cristalino de pureza analítica com aparência vermelho alaranjada. O $K_2Cr_2O_7$ foi usado com o objetivo de testar a eficiência de adsorção do carvão ativado produzido a partir de pó de quiabo. O $K_2Cr_2O_7$ foi obtido no Laboratório de Química do IFPI, Campus Teresina Central.

3.2 METODOLOGIA

As análises e caracterizações executadas nos materiais em estudo foram as seguintes: Análise Termogravimétrica (TGA), Fluorescência de Raios X (FRX), Difração de Raios X (DRX) e Espectroscopia Ultravioleta e Visível (UV-VIS), as quais foram realizadas no Laboratório do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais (PPGEM) do IFPI, Campus Teresina Central. Enquanto as análises de Ponto de Carga Zero (PCZ) e ensaio de Adsorção foram realizadas no Laboratório de Química do IFPI, Campus Teresina Central. A Figura 9 mostra o fluxograma com as análises realizadas para cada material.

Figura 9 - Fluxograma da Metodologia



Fonte: Próprio autor, 2023.

3.2.1 Caracterização por TGA

A análise termogravimétrica (TGA) ou termogravimetria, mostra a curva de variação de massa do material em função da temperatura a que esse material é submetido ao longo de um período de tempo. A outra curva apresentada no gráfico é a derivada da TGA, denominada DTGA, que corresponde aos máximos e mínimos relacionados à taxa de variação de massa nos pontos determinados, permitindo com mais precisão a identificação dos pontos onde ocorre os eventos de perda de massa. A análise térmica do pó de quiabo e do carvão ativado foram realizadas através do Analisador Termogravimétrico TGA-51H Shimadzu. Foi usado 5,20 mg de massa de pó de quiabo e 5,12 mg de carvão ativado. A taxa de aquecimento do equipamento foi de 10 °C/min entre 25 °C e 1000 °C, sob um fluxo de N₂ de 50 mL/min.

3.2.2 Caracterização por FRX

A técnica de espectrometria de fluorescência de raios X (FRX) foi efetuada através do equipamento Espectrômetro por Fluorescência de Raios modelo Epsilon 3-XL da Malvern Panalytical, funcionando na frequência de 47 a 63 Hz, voltagem 50 kv (90-240 Volts) e corrente de 3 mA com potência máxima de 15 W, presente no Laboratório de Materiais do IFPI. Esse procedimento foi utilizado tanto para o pó de quiabo quanto para o carvão ativado, e mostrou os principais elementos que compõem cada material.

3.2.3 Caracterização por DRX

A caracterização por difração de raios X (DRX) foi realizada em um equipamento XRD Empyrean Series 2 com tubo de Cu ($\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$). A tensão utilizada foi de 40 kV e a corrente de 45 mA, com varredura de 10° a 90° para 2θ , com velocidade de $2^\circ/\text{min}$ e passo de $0,02^\circ/\text{passo}$. As duas amostras foram analisadas por essa técnica, que tem como objetivo identificar as fases cristalinas presentes nos materiais.

3.2.4 Caracterização por UV-VIS

A caracterização UV-VIS utiliza um feixe de luz que passa pela amostra, mostrando diferentes absorções de luz para cada amostra na solução, a absorbância é dada em função de um gráfico representado pelo comprimento de onda dos materiais. Para a análise de espectrofotometria UV-VIS foi usado o equipamento utilizado da marca SHIMADZU de modelo UV-1800, como apresentado na Figura 10. As medidas da análise foram realizadas em espectro que variou de 190 a 600 nm com um passo de 2 nm/s, por meio da reflectância difusa, a qual foi convertida em absorbância.

Figura 10 - Equipamento UV-VIS



Fonte: Próprio autor, 2023.

3.2.5 Ponto de carga zero (PCZ)

O ensaio de ponto de carga zero (PCZ) aponta em qual pH a superfície do sólido apresenta carga neutra. Para executar esse ensaio, foram preparadas soluções de 50 mL de água destilada em cada amostra. As amostras foram rotuladas com os números de 2 a 10, indicando o pH presente em cada solução. Esse ensaio seguiu a metodologia de Freitas, Câmara e Freire (2015). Os valores de pH das soluções foram calibrados no equipamento pHmetro Instrutherm PH-1900, utilizando como base três soluções de calibração com valores de pH 4, 7 e 10, conforme Figura 11 à esquerda.

Dessa forma, para atingir o pH desejado, foi necessário utilizar outras duas soluções, uma ácida (HCl) e uma básica (NaOH), ambas com concentração 1 mol/L, para se chegar no resultado esperado. Essas duas últimas soluções auxiliaram na manipulação dos resultados de pH, a fim de se obter um valor de pH mais preciso, para dar continuidade ao ensaio de PCZ.

Nesse ensaio, foi adicionado 50 mg de carvão ativado em cada amostra, e em seguida, foram levadas à mesa agitadora por 24 h, numa velocidade de 130 rpm, como mostrado na Figura 11 no centro. A mesa agitadora utilizada foi da marca TECNAL modelo TE-1400. Após esse período todas as soluções foram medidas novamente no equipamento pHmetro para se descobrir qual o pH final. O equipamento usado foi o pHmetro Instrutherm PH-1900, conforme apresentado na Figura 11 à direita.

Figura 11 - Ensaio PCZ



Fonte: Próprio autor, 2023.

3.2.6 Adsorção

✓ Curva de calibração

Primeiramente foi feita uma curva de calibração, também conhecida como linha de base, nas seguintes concentrações: 5, 10, 20, 30, 40, 50 e 100 mg/L de $K_2Cr_2O_7$. A linha de base facilitou o entendimento do ensaio de adsorção que aconteceu posteriormente, pois ajudou a verificar em qual concentração a adsorção ocorreu com mais eficiência.

✓ Influência do pH

No ensaio de PCZ foram rotuladas diferentes amostras com valores de pH de 2 a 10. Portanto, foi utilizado para o ensaio de adsorção o meio que possuía o pH ideal definido na etapa de PCZ. Através dos valores de pH ácido ou básico foi possível perceber diferentes resultados no processo de adsorção.

✓ Influência da massa

Foram usadas diferentes concentrações de massa para verificar qual valor de massa seria o mais impactante no processo e, conseqüentemente, apresentar o maior poder de adsorção. Os valores de massa de carvão ativado utilizados foram: 5 mg, 10 mg, 25 mg, 50 mg, 70 mg, 90 mg e 100 mg.

✓ Influência do tempo de contato

Por fim, foram medidos variados tempos de agitação para o ensaio de adsorção. Em um primeiro momento foram medidos os tempos de 20, 40 e 60 minutos. Em seguida foram medidos os tempos de 1, 3, 6 e 12 horas. E, para finalizar o estudo da influência do tempo de contato no processo de adsorção, foram verificados os tempos de 24 e 48 horas.

✓ Dessorção

Posteriormente, também foi realizado o ensaio de dessorção, para determinar a reutilização do carvão ativado ao ser submetido a três ciclos contínuos. Esse ensaio foi baseado e adaptado a partir da metodologia de (BEZERRA, 2016). Para a dessorção, foram utilizadas as condições ideais determinadas no ensaio de adsorção realizado previamente (pH = 2, massa de 100 mg de carvão e tempo de contato de 6 horas).

Após o ensaio de adsorção, o material adsorvente (carvão ativado) foi separado da solução por meio de centrifugação, e depois, levado à estufa para secagem a 80 °C por 24 horas. Para o primeiro ciclo de dessorção, o carvão adsorvente foi colocado novamente em contato com 50 mL de solução de dicromato de potássio em um erlenmeyer ajustado com o pH ideal. A mistura foi submetida à agitação na mesa agitadora pelo período de 6 horas, sob temperatura ambiente. Após essa etapa, foram realizados mais dois ciclos de dessorção.

✓ Capacidade máxima de adsorção e remoção do corante

A capacidade máxima de adsorção, é representada por q_t (mg/L), calculada pela Equação 1, e a eficiência de remoção (%R), representada por porcentagem, é determinada através da Equação 2.

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t)}{m} * V \quad (1)$$

$$\%R = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} * 100 \quad (2)$$

Onde C_0 é a concentração inicial de dicromato de potássio (mg/L), C_t consiste na concentração do adsorvato na solução no determinado tempo t (mg/L), V é o volume de solução aquosa (L) e m a massa de adsorvente (g).

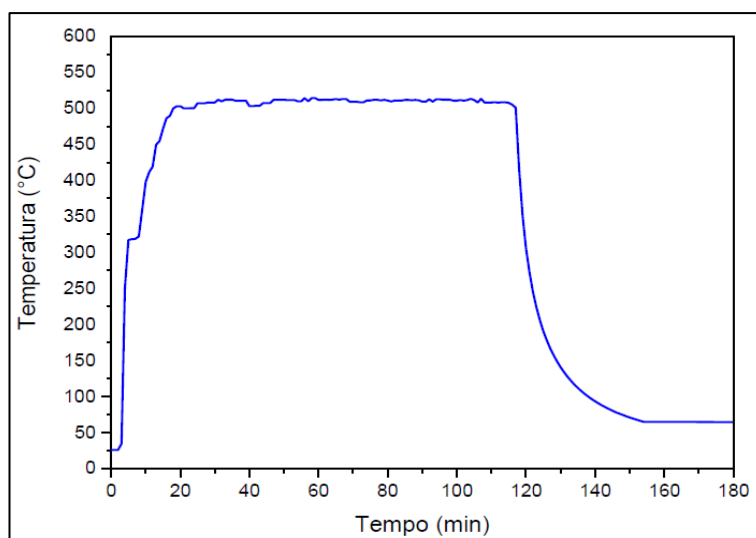
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PRODUÇÃO DO CARVÃO ATIVADO

A etapa de produção do carvão vegetal foi realizada com base na metodologia de (SILVA, 2022), descrita no item 3.2.1. Nessa etapa, foram utilizados 37,36 g de pó de quiabo juntamente com 19,02 g de carvão ativado comercial. O carvão ativado comercial foi usado apenas para auxiliar no processo de queima, por isso, ao fim do processo, foram separados o carvão comercial do carvão vegetal resultante, depois foram medidas as massas de ambos.

Na Figura 11 é apresentado o gráfico do tratamento térmico do pó de quiabo, que consiste no processo de queima que marca a temperatura em função do tempo. É possível observar que a temperatura estabilizou em torno de 510 °C, e se manteve estável durante os 120 minutos do processo de queima. Após esse período de tempo foi iniciado o resfriamento da queima, que resultou na produção de 10,38 g de carvão vegetal.

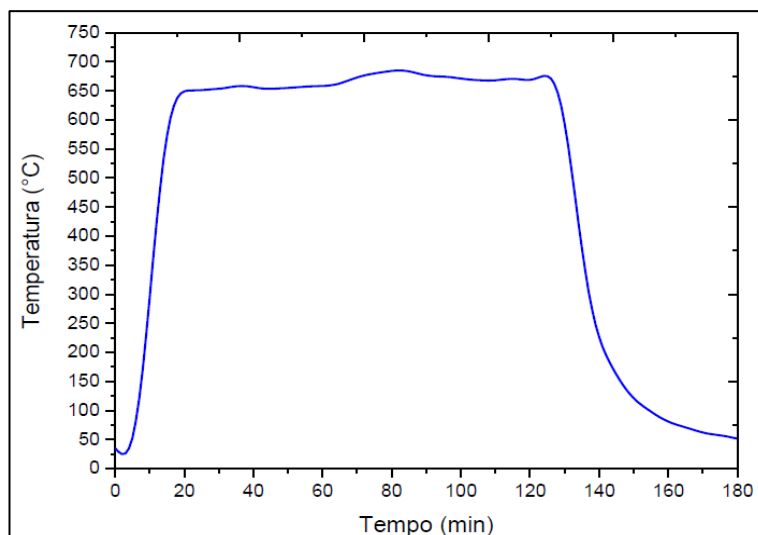
Figura 12 - Produção do carvão vegetal



Fonte: Próprio autor, 2023.

A queima do carvão vegetal ocorreu por 120 minutos, onde o processo atingiu a temperatura de 650 °C. Como resultado da queima foi obtido 2,88 g de carvão ativado, produzido através de ativação física, conforme Figura 12.

Figura 13 - Produção do carvão ativado



Fonte: Próprio autor, 2023.

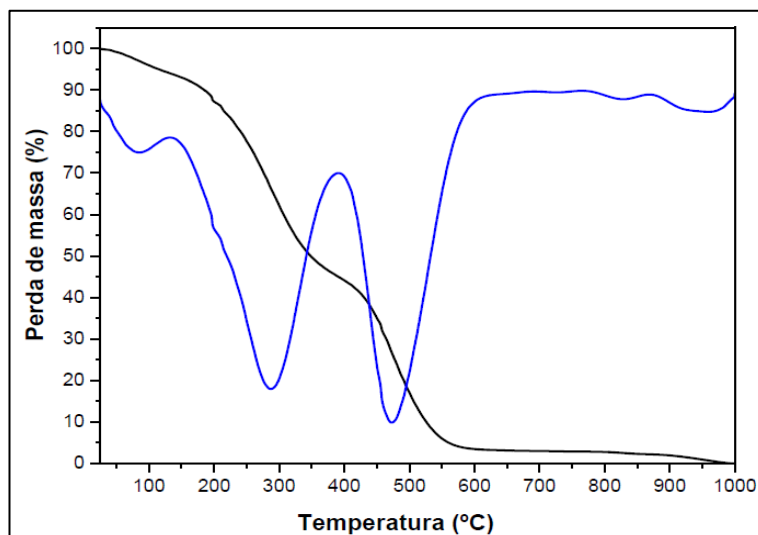
Pode-se observar pelos valores obtidos do processo de queima, dos 37,36 g de pó de quiabo, apenas 10,38 g foram transformados em carvão vegetal, logo, teve um rendimento de 27,78 %. O carvão ativado comercial teve uma perda de 5,60 % de sua massa, diminuindo de 19,02 g para 17,95 g. Esse material possibilitou o aumento da temperatura de queima na transformação do pó de quiabo em carvão vegetal, além de ser muito usado em processo de pirólise em fornos micro-ondas. Na etapa de produção do carvão ativado, foram utilizados 10,38 g de carvão vegetal, e após a queima, a quantidade de 2,88 g de carvão ativado resultou em um rendimento de 27,75 %.

4.2 CARACTERIZAÇÃO POR TGA

Na Figura 13 é observada a análise térmica do pó de quiabo. É possível perceber que a curva de TGA do pó de quiabo apresentou três estágios de perda de massa. O primeiro estágio, que ocorreu do início até cerca de 134 °C, com pico de perda máxima em 83 °C, representa a perda de umidade do material, cerca de 6,4 %. A segunda etapa de perda de massa, 48,8 %, foi de 137 a 388 °C, com pico de perda máxima em 287 °C, e está atribuída a decomposição de polissacarídeos presentes no quiabo. Por fim, a última etapa, de 392 a 603 °C, corresponde a materiais carbonáceos, que apresentam carbono na sua composição, correspondendo a 41,3 %, com pico de

perda máxima em 469 °C. Depois dos 603 °C, pode-se ver uma diminuição no desgaste do material, dando início à sua carbonização até o final do procedimento.

Figura 14 - Curvas TGA e DTGA do pó de quiabo



Fonte: Próprio autor, 2023.

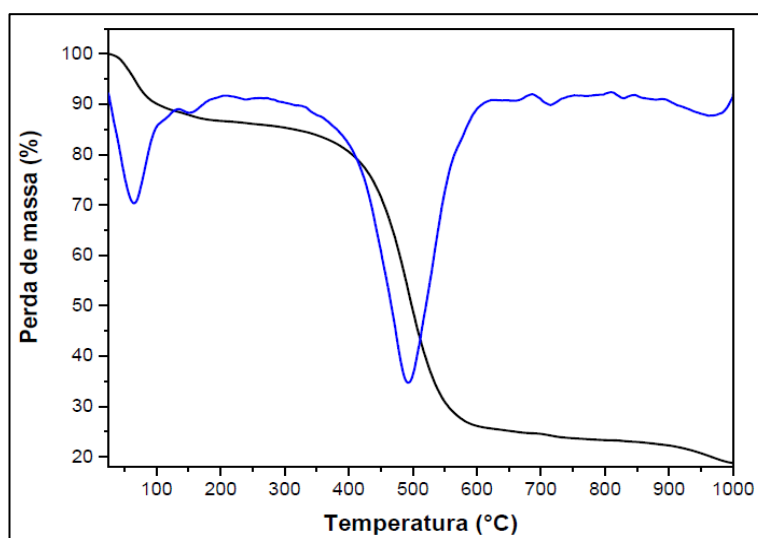
No estudo de Cotrim, Mottin e Ayres (2016), que fez uso dessa análise para mucilagem de quiabo, encontrou resultados parecidos, onde obtiveram dois eventos principais de perda de massa. O primeiro ocorreu a 69 °C, onde basicamente foi perda de umidade, e o segundo foi atribuído a decomposição de polissacarídeos, que ocorreu entre 210 e 320 °C.

De acordo com Olawuyi e Lee (2021), aconteceram duas perdas de massa significativas em sua análise em polissacarídeos isolados de folhas de quiabo. A primeira é caracterizada pela desidratação inicial, no intervalo de 70 a 150 °C, o correspondente a uma perda de massa de 16,3 %, e a segunda, no intervalo de 260 a 360 °C, que representa uma perda de 19,5 % da massa, referente a decomposição e alterações em grupos funcionais. Nesse estudo, as folhas de quiabo apresentaram boa estabilidade térmica, atribuída à sua estrutura ramificada, podendo ser usada em processos com alta temperatura ou com outros materiais, a fim de melhorar a estabilidade térmica deles.

Em sequência, é apresentado o gráfico da análise termogravimétrica do carvão ativado. Como pode ser visto na Figura 14, a curva de TGA do carvão apresentou três perdas de massa principais. A primeira de 26 a 135 °C, com pico de perda de massa máxima em 64 °C, onde houve uma perda de massa de 11,5 %. A segunda etapa

ocorreu entre 385 e 623 °C, com pico de perda máxima em 490 °C, correspondente a queima de hemicelulose e celulose remanescente, a qual foi perdido 62,9 % da massa. Entre 890 e 1.000 °C, 3,21 % de perda, onde se inicia a oxidação da estrutura do carvão. Foi observado que houve uma perda total de massa de aproximadamente 81,5 %, sendo o restante correspondente a cinzas.

Figura 15 - Curvas TGA e DTGA do carvão ativado



Fonte: Próprio autor, 2023.

Os resultados ficaram de acordo com os resultados obtidos pela pesquisa de Trindade (2020) em relação ao carvão ativado, pois em sua pesquisa também foi utilizado um material orgânico. Trindade (2020) destaca que a primeira perda de massa tem relação com a decomposição de hemicelulose presente no material. Enquanto a segunda perda, onde ocorre uma perda mais acentuada, está relacionada com a eliminação da lignina. No fim do processo, restam menos de 10 % da massa inicial da amostra, que representam as cinzas.

4.3 CARACTERIZAÇÃO POR FRX

Após realizada a análise por fluorescência de raios-X (FRX) do pó de quiabo, foram encontrados componentes como óxido de potássio (K_2O), óxido de cálcio (CaO), pentóxido de fósforo (P_2O_5), óxido de magnésio (MgO), óxido sulfúrico (SO_3), trióxido de ferro (Fe_2O_3), entre outros. Os detalhes das porcentagens que cada elemento representa na composição do pó de quiabo foram apresentados na Tabela 2. As

informações da análise FRX dessa pesquisa coincidiram com os valores obtidos no trabalho de Oliveira, Jesus e Conceição (2014), onde foi analisado o lodo resultante do processo de coagulação-floculação, que também utilizou pó de quiabo. Os principais óxidos obtidos por esses autores foram K_2O , CaO , P_2O_5 e SO_3 .

Também foi realizada a análise FRX do carvão ativado, onde foram encontrados os seguintes componentes: K_2O , CaO , P_2O_5 , MgO , SO_3 , entre outros com menores porcentagens. A Tabela 2 mostra os valores em porcentagem dos componentes presentes no carvão ativado.

No estudo de Soares et al. (2016), onde foi realizada a análise FRX do carvão ativado feito a partir do bagaço de cana de açúcar, foram apresentados os seguintes componentes principais: P_2O_5 , SiO_2 , Fe_2O_3 , CaO . De acordo com os autores, o alto teor de P_2O_5 foi explicado pela impregnação do bagaço pelo agente ativante H_3PO_4 . Eles ainda afirmam que os outros compostos são resultantes da biomassa, até mesmo depois do processo de queima e lavagem.

No estudo de Esquerdo (2019) foi utilizado casca de buriti para a produção de carvão vegetal e, depois, carvão ativado, os resultados obtidos foram muito semelhantes. No FRX da amostra do carvão vegetal (CVCB) foram predominantes: K_2O , SiO_2 e MgO . Em relação ao carvão ativado, foram feitas três amostras, mas devido a elas apresentarem resultados parecidos, e no intuito de usar para fins de comparação, os seguintes dados são da primeira amostra (CACB 1H): K_2O , SiO_2 , MgO .

A apresentação desses dois estudos teve como utilidade comparar os resultados dos materiais utilizados nessa Pesquisa com os materiais dos estudos onde também foram usados materiais de origem natural. Foi percebido que alguns dos elementos citados, como o K_2O , é identificado na maioria dos materiais, já que eles passaram por um processo similar de preparo. Enquanto outros elementos têm menores índices de composição, mas continuam sendo identificados nesses materiais (CaO , P_2O_5 , MgO , SO_3).

Tabela 2 - Resultado FRX

Materiais	Componentes (%)							
	K ₂ O	CaO	P ₂ O ₅	MgO	SO ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Outros
Pó de quiabo (Próprio autor, 2023)	44,1	30,8	7,5	4,0	3,2	-	0,2	10,2
Pó de quiabo (OLIVEIRA; JESUS; CONCEIÇÃO, 2014)	44,2	28,2	9,0	-	5,2	-	-	13,4
Carvão ativado do pó de quiabo (Próprio autor, 2023)	46,4	25,8	8,4	6,0	2,0	0,3	0,4	10,7

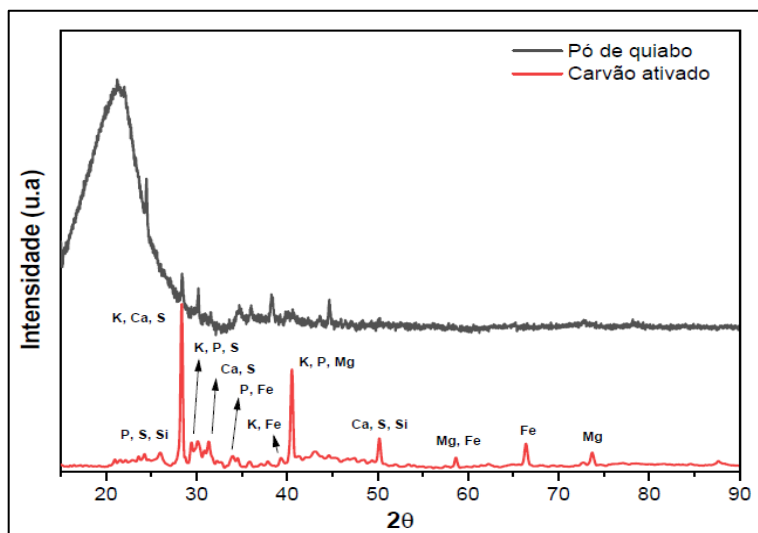
Fonte: Próprio autor, 2023.

4.4 CARACTERIZAÇÃO POR DRX

Na Figura 15 é apresentada o gráfico DRX do pó de quiabo e do carvão ativado. Nessa análise foi observado uma característica amorfa para o pó de quiabo (destacado na cor preta), com um destaque na região de 23° (2θ). Esse padrão também foi observado no estudo de Mishra, Clark e Pal (2008), onde foi analisada a mucilagem de quiabo. Dimopoulou, Ritzoulis e Panayiotou (2015) confirmaram essa característica amorfo na mesma região de 23° (2θ), onde o material analisado foi extrato de quiabo.

O gráfico DRX do carvão ativado apontou seguintes elementos principais com os respectivos ângulos em que se encontram: **K** (COD 3000011), **Ca** (COD 1010215), **P** (COD 1544347), **Mg** (COD 9006483), **S** (COD 2206573), **Si** (COD 1011200) e **Fe** (COD 9014235). Esses elementos são observados nos seguintes ângulos 2θ: **K** (29,9 °; 30,1 °; 39,5 ° e 42,9 °), **Ca** (29,2 °; 31,4 ° e 50,0 °), **P** (25,9 °; 31,1 °; 34,1 ° e 40,8 °), **Mg** (40,6 °; 58,7 ° e 73,8 °), **S** (28,0 °; 30,0 °; 31,3 ° e 50,3 °), **Si** (26,2 ° e 49,3 °) e **Fe** (34,5 °; 39,7 °; 59,6 ° e 65,6 °).

Figura 16 - DRX pó de quiabo e carvão ativado

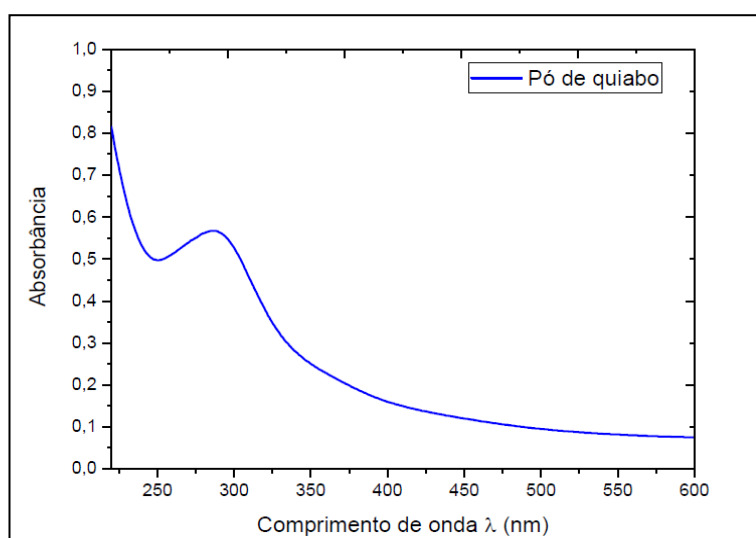


Fonte: Próprio autor, 2023.

4.5 CARACTERIZAÇÃO POR UV-VIS

Nessa etapa foram realizadas as análises UV-VIS do pó de quiabo e do dicromato de potássio. Na Figura 16 é apresentado o UV-VIS do pó de quiabo, onde nota-se um pico na região que corresponde ao comprimento de onda 286 nm, com uma absorvância de 0,567.

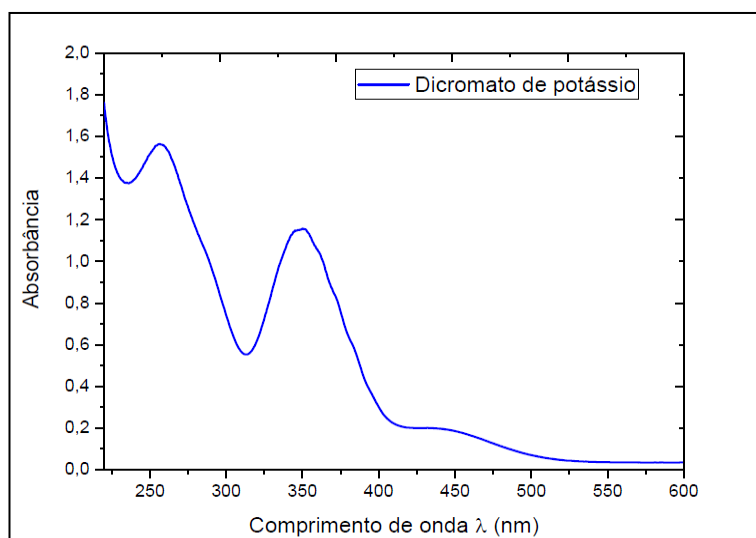
Figura 17 - Gráfico UV-VIS do pó de quiabo



Fonte: Próprio autor, 2023.

A Figura 17 apresenta o UV-VIS do dicromato de potássio, onde é possível observar dois picos, um na região do comprimento de onda 256 nm e outro no comprimento de onda 351 nm, que mostram absorbância de 1,564 e 1,155, respectivamente. Vale ressaltar que para a análise de adsorção foi feito um destaque para o pico da região de comprimento de onda de 351 nm, já que o outro pico se sobrepõe com o pico do pó de quiabo.

Figura 18 - Gráfico UV-VIS do dicromato de potássio



Fonte: Próprio autor, 2022.

4.6 PONTO DE CARGA ZERO (PCZ)

Após a análise de PCZ, que tem como finalidade encontrar o pH onde apresenta carga neutra, foram obtidos os pH conforme Tabela 3.

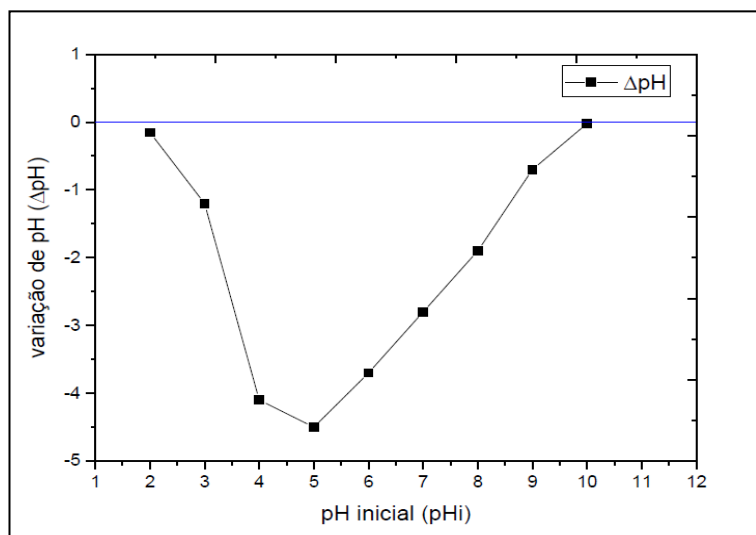
Tabela 3 - pH resultantes do PCZ

pH inicial (pHi)	pH final (pHf)	Variação de pH (Δ pH)
2,0	2,15	-0,15
3,0	4,20	-1,20
4,0	8,10	-4,10
5,0	9,50	-4,50
6,0	9,70	-3,70
7,0	9,80	-2,80
8,0	9,90	-1,90
9,0	9,70	-0,70
10,0	10,02	-0,02

Fonte: Próprio autor, 2023.

Após a medição da variação de pH esses valores foram utilizados para traçar o gráfico de PCZ, conforme apresentado na Figura 18.

Figura 19 - Gráfico PCZ do carvão ativado



Fonte: Próprio autor, 2023.

Na Figura 18, pode-se observar que existem dois pH considerados ideais, pH = 2 (ácido) e pH = 10 (básico). O gráfico mostra a relação entre a variação de pH e o pH inicial. Apesar de todo o gráfico estar situado abaixo da linha do 0 (zero), foi possível observar algumas características que ocorrem do comportamento do carvão de acordo com a faixa de pH em que se esse material se encontrava.

Quando o traçado se encontra na faixa de pH entre 2 e 5, o carvão ativado consegue atrair íons OH^- do meio, mesmo que com pouca intensidade, pois apesar de o dicromato de potássio possuir elementos com mais cargas positivas do que negativas, ainda foi possível observar o potencial de adsorção do carvão. Por outro lado, quando o traçado se encontra na faixa de pH entre 5 e 10, ou seja, quanto maior o pH inicial, o meio contém mais íons OH^- , dessa forma, o carvão começa a liberar íons H^+ para o meio a fim de entrar em equilíbrio, que acontece em pH = 10.

Devido a esse comportamento, percebe-se que o carvão ativado em estudo possui caráter catiônico, atraindo íons OH^- do meio no pH ácido. No pH = 2 foi possível obter bons resultados de adsorção, por causa da atração por íons OH^- , mesmo com a natureza positiva do próprio carvão e do corante.

No estudo de Oliveira, Jesus e Conceição (2014) foi medida a taxa de remoção de Cr (VI) utilizando pó de quiabo junto com a argila bentonita cálcica. Foram utilizados

três valores de pH, que apresentaram os seguintes percentuais de remoção de Cr (VI): 78 % (pH = 2), 58 % (pH = 4) e 48 % (pH = 6). O melhor percentual de remoção ocorreu em pH = 2 por causa da protonação, reação onde uma grande quantidade de íons H^+ encontrados no meio foram ligadas aos materiais utilizados.

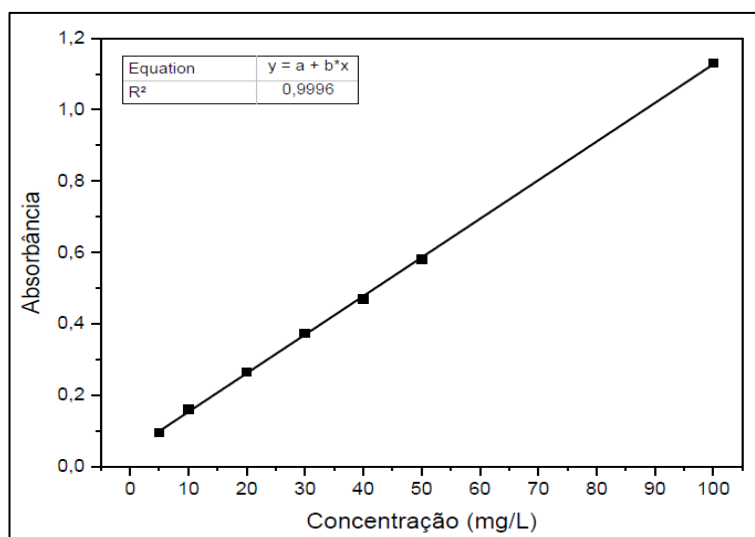
O carvão produzido por Lima (2021) determinou o valor de PCZ = 6,8. Nos valores de pH inferiores a 6,0 ocorre adsorção através de interações eletrostáticas de elementos com carga negativas como $HCrO_4^-$ e $Cr_2O_7^{2-}$. Já nos valores de pH maiores que 6,0 o carvão produzido por ele perde íons H^+ , assim como aconteceu nessa pesquisa.

No trabalho de Formica et al. (2017) o ensaio de PCZ para a casca de laranja resultou em 6,53. Esse estudo mostrou que soluções com valores de pH inferiores ao PCZ tinham afinidade por ânions, enquanto valores de pH acima do PCZ atraíram cátions.

4.7 ENSAIO DE ADSORÇÃO

Antes do ensaio de adsorção foi desenvolvida uma curva de calibração, ou linha de base, para as seguintes concentrações: 5, 10, 20, 30, 40, 50 e 100 mg/L. O gráfico da curva de calibração é apresentado na Figura 19.

Figura 20 - Curva de calibração



Fonte: Próprio autor, 2023.

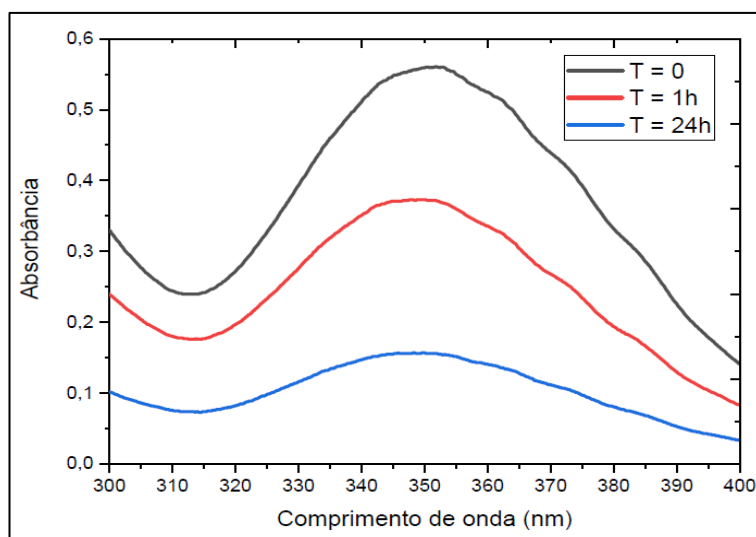
A partir dos dados das concentrações, foi possível montar o gráfico da curva de calibração, juntamente com o valor do coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9996$), que representa a proporção da variação da medida do resultado obtido, levando a um valor com baixa margem de erro.

4.7.1 Influência do pH

Com o conhecimento do pH ideal após o ensaio de ponto de carga zero (PCZ), dois pH no caso desse experimento ($\text{pH} = 2$ e $\text{pH} = 10$), foram testados esses pH resultantes para verificar a influência do pH no processo de adsorção. Para fins de comparação, foi visto o potencial adsorptivo desses dois valores para os mesmos tempos de agitação, após 1 hora e 24 horas.

Nota-se que no $\text{pH} = 2$, o valor da absorbância teve uma queda acentuada, mostrando a capacidade de adsorção do material em pH ácido (Figura 20). O tempo de 1 hora mostrou uma redução de 51,17 % do corante utilizado. Enquanto o tempo de 24 horas apresentou uma redução de 95,32 %.

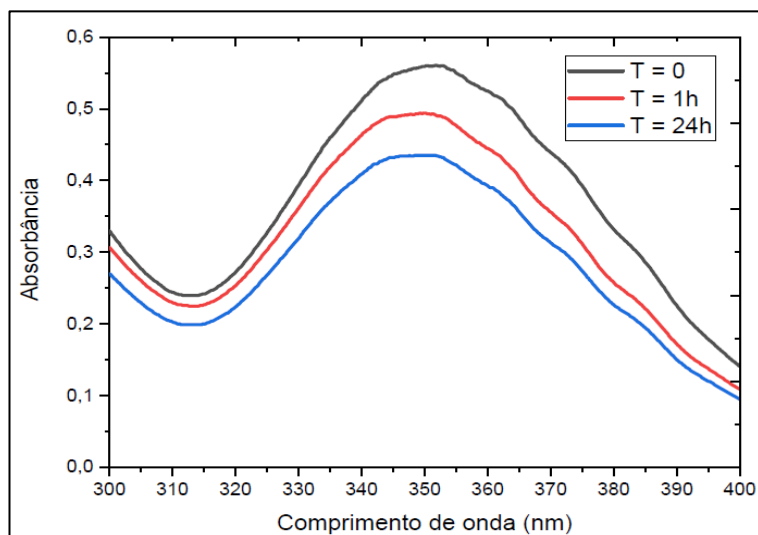
Figura 21 - Adsorção em pH ácido



Fonte: Próprio autor, 2023.

Na Figura 21, pode-se observar que em pH básico, a absorbância manifestou uma redução menos significativa do que em pH ácido. No $\text{pH} = 10$, o tempo de 1 hora e 24 horas mostraram 11,94 e 22,46 % de redução da massa, respectivamente.

Figura 22 - Adsorção em pH básico



Fonte: Próprio autor, 2023.

Dessa forma, o pH ideal a ser utilizado para o experimento acabou sendo o ácido ($\text{pH} = 2$), já que apresentou maiores reduções de concentração do dicromato de potássio nos tempos estipulados.

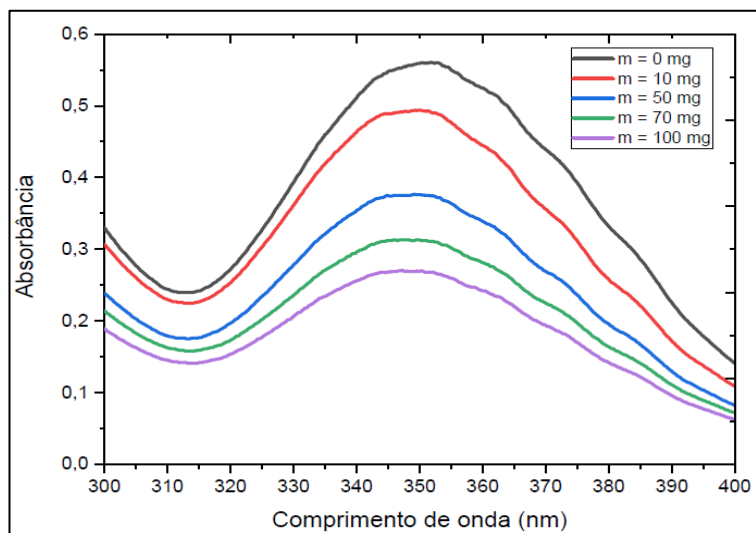
4.7.2 Influência da massa

Sabendo do pH ideal, foram realizados experimentos com diferentes tipos de massa para descobrir qual teria o melhor rendimento. As quantidades de massa comparadas foram 10, 50, 70 e 100 mg. O comparativo entre as quatro massas, mostrado no gráfico da Figura 22, foi feito após o tempo de 1 hora de agitação.

Pelo que se pode observar através dos valores de absorbância, quanto maior a massa melhor a capacidade de adsorção do carvão ativado para o dicromato de potássio. No dado tempo ($t = 1 \text{ h}$), a menor massa de 10 mg conseguiu redução de 10,99 %, a massa de 50 mg de 33,51 %, a massa de 70 mg demonstrou 43,60 % de redução e, por fim, a maior massa de 100 mg removeu 51,17 % do corante.

A comparação entre as massas mostrou que o valor de massa mais satisfatório foi o de 100 mg. A importância do uso de diferentes quantidades de massa se dá pelo fato da necessidade de otimização do processo, utilizando menos material e conseguindo o maior rendimento possível. Contudo, isso não foi observado nesse caso, já que quanto maior a massa, melhor foi o resultado, ou seja, maior foi a remoção de corante.

Figura 23 - Adsorção com diferentes massas



Fonte: Próprio autor, 2023.

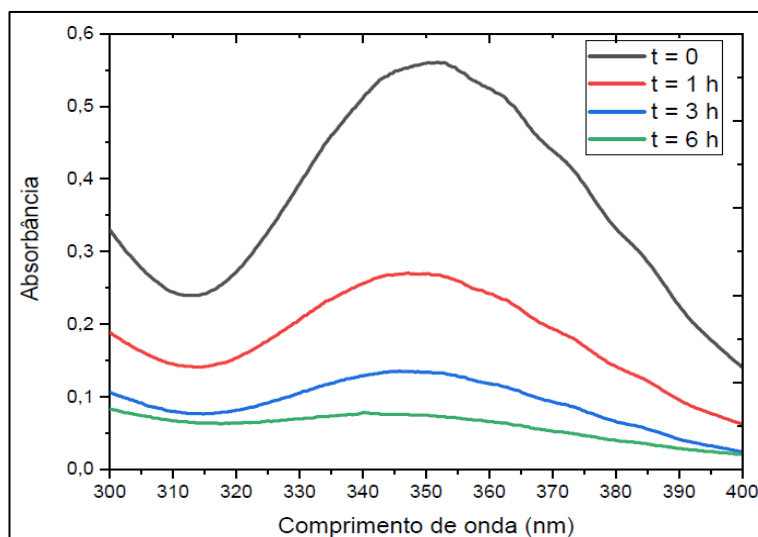
Isso foi evidenciado pelo percentual de remoção depois de 1 hora de agitação. Por exemplo, após 20 minutos, 100 mg de carvão ativado foram mais eficazes do que 50 mg após 1 hora. Após 1 hora, a massa de 100 mg apresentou a mesma porcentagem de remoção de dicromato de potássio observada após 5 horas de agitação com 50 mg. Isso significa que ao se utilizar uma massa maior, é possível acelerar o processo de adsorção e chegar mais rápido no objetivo.

4.7.3 Influência do tempo de contato

Nessa etapa do ensaio de adsorção, foram utilizados diferentes tempos de contato entre o adsorvente e o adsorvato, a fim de verificar qual o melhor tempo para remoção de dicromato de potássio. Sabendo do pH ideal e da melhor concentração de massa a ser utilizada no ensaio de adsorção, em seguida foram realizados ensaios para determinação do tempo de contato ideal para a adsorção.

Primeiramente, foi feito o estudo de tempo com as marcações de 1 hora, 3 horas e 6 horas, onde foram observados os seguintes percentuais de remoção de dicromato de potássio: 51,17 % (1 hora), 75,50 % (3 horas) e 86,31 % (6 horas), como mostrado na Figura 23.

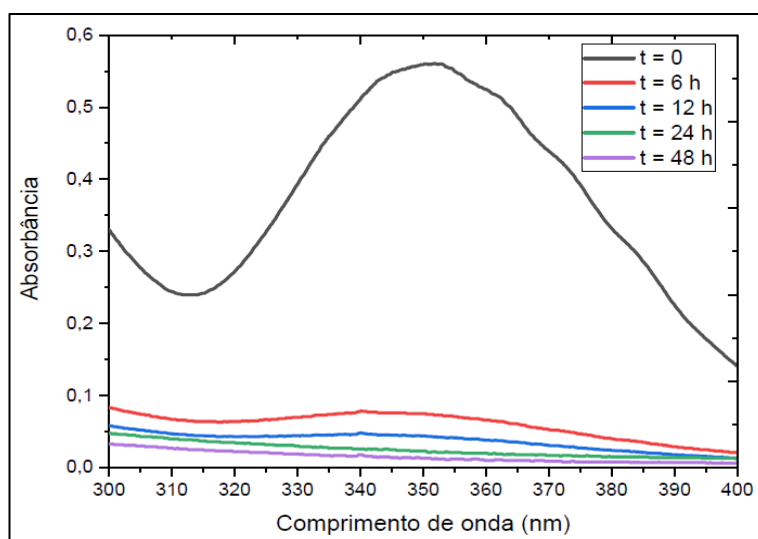
Figura 24 - Adsorção nos tempos: 1 h, 3 h e 6 h



Fonte: Próprio autor, 2023.

Depois dessa análise, foi feita a avaliação comparativa dos seguintes tempos de contato: 6 horas e 12 horas. Devido à pequena diferença de adsorção entre esses tempos, os tempos seguintes estudados foram de 24 e 48 horas, conforme mostrados na Figura 24.

Figura 25 - Adsorção nos tempos: 6 h, 12 h, 24 h e 48 h



Fonte: Próprio autor, 2023.

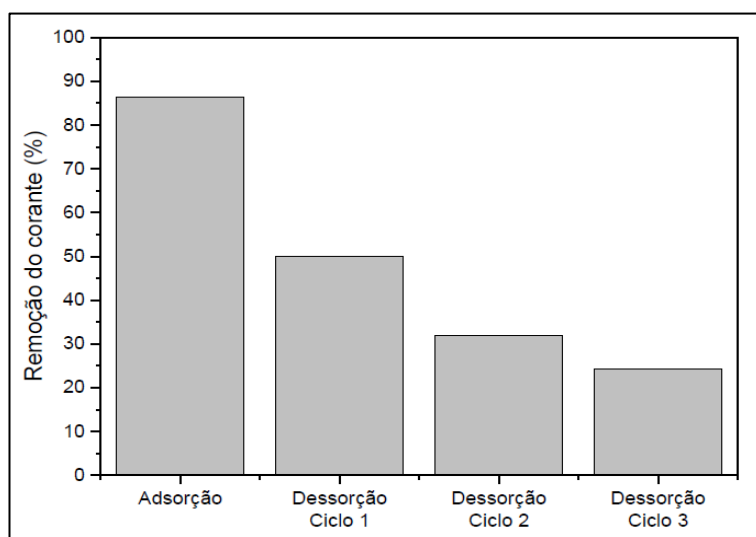
O experimento apresentou uma boa porcentagem de redução do dicromato de potássio após 1 hora (51,17 %), e porcentagens de redução bem próximas nos períodos depois das 6 horas de agitação: 86,31 % em 6 horas, 92,07 % em 12 horas,

95,32 % em 24 horas e 97,84 % em 48 horas. Depois da análise da influência do tempo de contato, foi estabelecido que o tempo ideal para dar continuidade ao ensaio de dessorção seria o de 6 horas, pois é um tempo relativamente curto com ótimo percentual de remoção do corante dicromato de potássio.

4.7.4 Dessorção

O processo de dessorção foi realizado para se determinar a quantidade de ciclos contínuos que o carvão ativado pode ser reutilizado, procurando atingir uma alta taxa de remoção de dicromato de potássio depois de já ter sido utilizado no processo de adsorção. Na Figura 25 é observado o gráfico dos ciclos de dessorção para o carvão ativado produzido a partir de pó de quiabo.

Figura 26 - Resultados dos ciclos de dessorção



Fonte: Próprio autor, 2023.

Partindo do resultado do ensaio de adsorção com os parâmetros ideais ajustados, onde o carvão ativado removeu 86,31 % do dicromato de potássio, foram realizados três ciclos de dessorção para esse material. No ensaio de dessorção foram obtidas as seguintes taxas de remoção de corante: 50,09 % após o primeiro ciclo, 31,89 % após o segundo ciclo e 24,32 % após o terceiro ciclo.

É possível observar que o carvão ativado apresentou uma taxa de remoção do corante relativamente alta após o primeiro ciclo de dessorção (50,09 %). Contudo, no ensaio de adsorção esse valor de remoção foi atingido após 1 hora de agitação

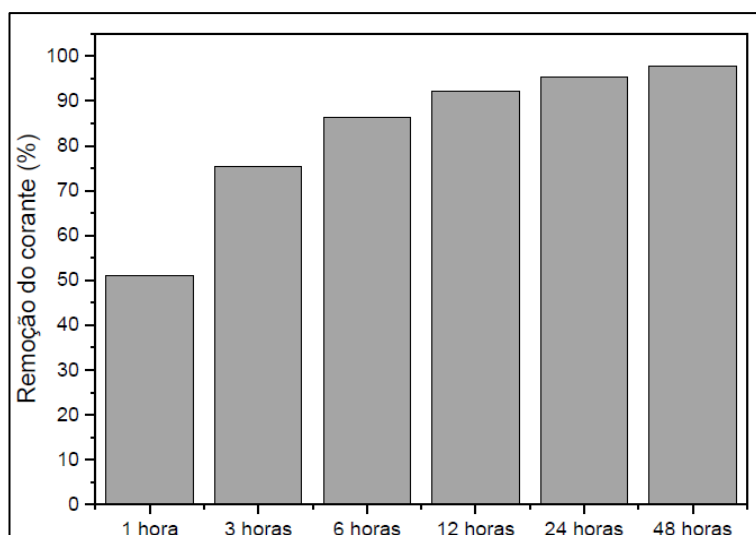
(51,17 %). Após o segundo ciclo de dessorção foi observado uma remoção de 31,89 %, mostrando que o carvão ativado diminuiu o potencial adsorptivo devido à saturação dos poros do adsorvente. Por fim, o terceiro e último ciclo apresentou uma taxa de remoção de 24,32 % do corante, confirmando que o carvão ativado já estava muito saturado para mostrar uma eficiente porcentagem de remoção. Por essa razão não foram realizados ciclos posteriores, pois o carvão já havia atingido todo o seu potencial adsorptivo após três ciclos de dessorção.

4.8 EFICIÊNCIA DO QUIABO E APLICAÇÃO

Após a conclusão do ensaio de adsorção, onde foram estudados os principais parâmetros que influenciam nesse processo, como pH, massa e tempo de contato, foi possível observar que o carvão ativado feito a partir de pó de quiabo apresentou bons resultados de remoção do corante dicromato de potássio nos parâmetros ideais. O quiabo já se mostrou eficiente em alguns trabalhos, sendo utilizado como material auxiliar no processo de coagulação ou como agente floculante. Os parâmetros analisados geralmente são remoção de cor, turbidez e sólidos suspensos existentes na solução.

Na Figura 26 é mostrado o gráfico de destaque dos tempos de contato com os respectivos percentuais de remoção de $K_2Cr_2O_7$: 51,17 % (1 hora), 75,50 % (3 horas), 86,31 % (6 horas), 92,07 % (12 horas), 95,32 % (24 horas) e 97,84 % (48 horas).

Figura 27 - Destaques do ensaio de adsorção



Fonte: Próprio autor, 2023.

Oliveira, Jesus e Conceição (2014) encontraram resultados parecidos ao utilizar pó de quiabo em sua pesquisa, juntamente com uma argila, com o objetivo de remover o cromo Cr (VI) a partir da solução de dicromato de potássio. Eles estudaram o potencial de remoção de cromo Cr (VI) através do processo de coagulação-floculação, utilizando três valores de pH (2,0; 4,0 e 6,0). O pH = 2 (ácido) apresentou destaque em relação aos outros, mostrando capacidade de remoção de 78,23 % do cromo nas determinadas condições.

Portanto, essa foi mais uma pesquisa que aponta bons resultados de remoção de metais pesados com pH ácido. Existem outras pesquisas com diferentes materiais como cascas de nozes (ALTUN; PEHLIVAN, 2012), cascas de jabuticaba (SILVA; OLIVEIRA, 2011) e pó da casca de coco verde (PINO, 2005), que também obtiveram resultados significantes de adsorção com pH ácido.

O carvão ativado produzido a partir do pó de quiabo apresentou bons resultados de adsorção, mesmo em contato com materiais de caráter positivo, como o corante utilizado. Provavelmente o carvão teria obtido melhores resultados com materiais adsorvatos de caráter negativo, pois é possível que os íons com carga negativa fossem atraídos pelo carvão mais facilmente.

Dessa forma, surge a possibilidade de utilizar esse carvão ativado em contato com outros materiais corantes ou até mesmo metais pesados para tentar otimizar suas características e aperfeiçoar a remoção de contaminantes prejudiciais à vida humana encontrados em águas residuais ou efluentes industriais.

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nessa pesquisa mostraram que o carvão ativado produzido é um material inovador com boa característica adsorbtiva. Isso foi evidenciado por meio dos valores resultantes para remoção de dicromato de potássio.

As análises térmicas mostraram que o quiabo apresentou características de material orgânico e polimérico, pois contém uma cadeia polimérica natural em sua estrutura e destaque para a presença de celulose, hemicelulose e lignina. A TGA do carvão indicou que cerca de 20 % da massa restante são cinzas. Os principais elementos identificados no FRX do pó de quiabo e do carvão ativado foram K_2O , CaO , P_2O_5 , MgO , SO_3 , Si_2O e Fe_2O_3 .

O ensaio de ponto de carga zero (PCZ) foi importante para descobrir o caráter positivo do carvão ativado, que levou a explicações sobre o comportamento do carvão em contato com o corante utilizado. O pH foi um fator determinante no processo, em que se obteve melhores resultados com pH ácido ($pH = 2$).

O ensaio de adsorção revelou que o carvão ativado feito a partir de pó de quiabo se mostrou eficiente na remoção do corante dicromato de potássio, apresentando uma remoção de 86,31 % do corante nas condições ideais. No ensaio de dessorção foi observado que o carvão ativado possui uma satisfatória taxa de remoção do corante após o primeiro ciclo, mas a partir do segundo ciclo essa taxa diminui drasticamente, assim como no terceiro ciclo.

Dessa forma, confirma-se a viabilidade de produção de carvão ativado por meio de materiais naturais através de um forno micro-ondas adaptado, pois o carvão resultante apresentou resultados satisfatórios com as condições determinadas. Portanto, a produção do carvão utilizado nessa pesquisa é uma opção a ser considerada para o tratamento de efluentes têxteis, a fim de prevenir a contaminação de cursos de água. O quiabo se destaca por mostrar fácil plantio e rápida colheita, além de ser economicamente viável e vastamente encontrado pelo Brasil, devido ao seu clima.

Propõe-se para pesquisas futuras a análise adsorbtiva do carvão que tenha sofrido ativação química, a análise experimental com corantes aniônicos e utilização do carvão em efluentes industriais.

REFERÊNCIAS

- AGARWAL, M.; SRINIVASAN, R.; MISHRA, A. Study on flocculation efficiency of okra gum in sewage waste water. **Macromolecular Materials and Engineering**, v. 286, n. 9, p. 560–563, 2001.
- AKHTAR, M. et al. Sorption of organophosphorous pesticides onto chickpea husk from aqueous solutions. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 69, n. 1, p. 63–70, 2009.
- ALBUQUERQUE, J. S. DE. **Produção de carvão vegetal: desafios e oportunidades**.
- ALI, R. M. et al. Potential of using green adsorbent of heavy metal removal from aqueous solutions: Adsorption kinetics, isotherm, thermodynamic, mechanism and economic analysis. **Ecological Engineering**, v. 91, p. 317–332, 2016.
- AL-JABARI, M. Kinetic models for adsorption on mineral particles comparison between Langmuir kinetics and mass transfer. **Environmental Technology and Innovation**, v. 6, p. 27–37, 2016.
- ALMEIDA, A. et al. **Efeito Lótus**. [s.l: s.n.].
- AL-SAMAWI, A. A.; HAMA, A. R. The Use of Okra as a Coagulant and Coagulant Aids in the Removal of Heavy Metals of Solid Waste Leachates. **Engineering and Technology Journal**, v. 30, n. 20, p. 3524–3535, 2012.
- ALTUN, T.; PEHLIVAN, E. Removal of Cr (VI) from aqueous solutions by modified walnut shells. **Food Chemistry**, v. 132, n. 2, p. 693–700, 2012.
- ALVES, S. **Avaliação dos Impactos Ambientais da Produção de Carvão Vegetal: Um estudo de caso**. Itajubá, MG: [s.n.].
- AN, N.; ZAGORSCAK, R.; THOMAS, H. R. Adsorption characteristics of rocks and soils, and their potential for mitigating the environmental impact of underground coal gasification technology: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 305, p. 114390, 2022.
- ANGIN, D.; KÖSE, T. E.; SELENGIL, U. Production and characterization of activated carbon prepared from safflower seed cake biochar and its ability to absorb reactive dyestuff. **Applied Surface Science**, v. 280, p. 705–710, 2013.
- BANSAL, R. C.; GOYAL, M. **Activated Carbon Adsorption**. Boca Raton, FL, US: Taylor & Francis Group LLC, 2005.
- BAUMGARTEN, A. **Como reduzir os impactos dos metais pesados na saúde**. Disponível em: <<https://clinicaaquavita.com.br/como-reduzir-os-impactos-dos-metais-pesados-na-saude/#:~:text=Os metais pesados têm efeitos, Alzheimer%2C Parkinson e o autismo>>. Acesso em: 13 jun. 2022.

BEATRIZ, A.; COSTA, O. Principais causas de intoxicação em crianças: uma revisão integrativa Main causes of intoxication in children : an integrative review. v. 3, n. 1, p. 1–18, 2022.

BEZERRA, R. D. DE S. **Biopolímeros derivados da celulose para a aplicação na adsorção/dessorção do fármaco amitriptilina em meio aquoso**. Teresina, PI: [s.n.].

BICUDO, C. E. DE M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. **Águas do Brasil: análises estratégicas**. 1ª ed. São Paulo, SP: Instituto de Botânica, 2010.

BRAGA, B. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2ª ed ed. São Paulo, SP: Fundação Municipal de Ensino de Piracicaba - FUMEP, 2005.

BRAGIÃO, M. E. **Preparo e caracterização de carvão ativado impregnado com goetita e magnetita para remoção de corantes por ação combinada de adsorção e oxidação**. Toledo, PR: [s.n.].

CÂNDIDO, N. R. **Produção e caracterização de carvões de eucaliptos ativados fisicamente com CO2 Ou gás da carbonização**. Belo Horizonte, MG: [s.n.].

CARAPETO, C. **Poluição das Águas: Causas e Efeitos**. 1ª ed. Lisboa: Universidade Aberta, 2014.

CARNELOSSI, M. A. G. et al. Determinação das etapas do processamento mínimo de quiabo. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n. 4, p. 970–975, 2005.

CARVALHO, C. C. G. DE; SANTOS, M. F. DOS. **MANUAL DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA**. 1ª ed. Cuiabá, MT: Alcon, 2011.

CHOY, S. Y. et al. A review on common vegetables and legumes as promising plant-based natural coagulants in water clarification. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 12, n. 1, p. 367–390, 2015.

COTRIM, M. DE A. P.; MOTTIN, A. C.; AYRES, E. Preparation and Characterization of Okra Mucilage (*Abelmoschus esculentus*) Edible Films. **Macromolecular Symposia**, v. 367, n. 1, p. 90–100, 2016.

CRUZ JUNIOR, O. F. **Produção de carvão ativado a partir de produtos residuais de espécies nativas da região amazônica**. Manaus, AM: [s.n.].

DANILO, K. et al. MELHORAMENTO DO QUIABEIRO QUANTO À PRECOCIDADE, PRODUÇÃO E QUALIDADE: UMA REVISÃO DE LITERATURA. **XXI Encontro Latino-Americano de Iniciação Científica, XVII Encontro Latino-Americano de Pós-Graduação e VII Encontro de Iniciação à Docência – Universidade do Vale do Paraíba**, n. 1998, p. 1–6, 2017.

DASCANIO, D.; PRETTE, Z. A. P. DEL; FONTAINE, A. M. G. V. Intoxicação infantil por chumbo: uma análise discriminante entre os fatores de risco e de proteção. **Estudos e Pesquisas em Psicologia**, v. 15, n. 2, p. 725–746, 2015.

DE JESUS, E. et al. Removal of Turbidity, Suspended Solids and Ions of Fe from Aqueous Solution using Okra Powder by Coagulation-Flocculation Process. **American Journal of Water Resources**, v. 1, n. 3, p. 20–24, 2014.

DIMOPOULOU, M.; RITZOULIS, C.; PANAYIOTOU, C. Surface characterization of okra hydrocolloid extract by inverse gas chromatography (IGC). **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 475, n. 1, p. 37–43, 2015.

DOMINGUES, V. M. F. **Utilização de um produto natural (cortiça) como adsorvente de pesticidas piretróides em águas**. Porto, Portugal: [s.n.].

EL-BINDARY, A. A. et al. Adsorption and thermodynamic studies of Hazardous azocoumarin dye from an aqueous solution on to low cost rice straw based carbons. **Journal of Molecular Liquids**, v. 199, p. 71–78, 2014.

ESQUERDO, L. T. **Pirólise da casca de buriti e ativação térmica de seu carvão vegetal para uso como adsorvente na adsorção do cobre II**. [s.l.: s.n.].

FERREIRA, O. E.; SILVA, J. D. S. FLOCULANTE OBTIDO DE MUCILAGEM DE QUIABO (*Abelmoschus*). p. 1–7, 2008.

FILHO, A. DO N. D. **Avaliação do potencial adsorptivo de mesocarpo de coco na remoção de corante vermelho reativo 195 em efluentes aquosos**. Mossoró, RN: [s.n.].

FILHO, C. J. A. DA S. **Estudo da mucilagem de *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench (quiabo) e suas potencialidades na composição de filmes biodegradáveis**. [s.l.: s.n.].

FORMICA, B. C. et al. Characterization and evaluation of the orange peel adsorptive properties in the dye direct blue 86 removal. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 2, p. 608–625, 2017.

FREITAS, A. C. B. DE et al. Revisão sistemática de estudos sobre o alumínio como fator de risco para a Doença de Alzheimer. **Revista Processos Químicos**, v. 15, n. 29, p. 83–88, 2021.

FREITAS, F. B. A. DE; CÂMARA, M. Y. DE F.; FREIRE, M. D. F. Determinação do PCZ de adsorventes naturais utilizados na remoção de contaminantes em soluções aquosas. v. 3, p. 610–618, 2015.

FUGITA, S. R. **Fundamentos do Controle de Poluição das Águas**. 1ª ed. São Paulo, SP: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2018.

GARCÍA, J. R. et al. Preparation, characterization, and dye removal study of activated carbon prepared from palm kernel shell. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 6, p. 5076–5085, 2018.

GARCIA-CHEVESICH, P. et al. Inexpensive organic materials and their applications towards heavy metal attenuation in waters from southern peru. **Water (Switzerland)**, v. 12, n. 10, p. 1–31, 2020.

GHOSAL, P. S.; GUPTA, A. K. Determination of thermodynamic parameters from Langmuir isotherm constant-revisited. **Journal of Molecular Liquids**, v. 225, p. 137–146, 2017.

GOMES, P. B.; BIANCHI, M. L.; MAGALHÃES, F. Obtention of activated carbon from candeia soot residue. **Revista Materia**, v. 26, n. 2, p. 5, 2021.

GONZÁLEZ-GARCÍA, P. Activated carbon from lignocellulosics precursors: A review of the synthesis methods, characterization techniques and applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, n. August 2017, p. 1393–1414, 2018.

GUARANTINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. **Quimica Nova**, v. 23, n. 1, p. 8, 2000.

HAN, Q. et al. High adsorption of methylene blue by activated carbon prepared from phosphoric acid treated eucalyptus residue. **Powder Technology**, v. 366, p. 239–248, 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS. **Produção de Quiabo**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/quiabo/br>>. Acesso em: 6 dez. 2022.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura em 2020**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/291#resultado>>. Acesso em: 5 out. 2022.

JAISHANKAR, M. et al. Toxicity , mechanism and health effects of some heavy metals. **Interdisciplinary Toxicology**, v. 7, n. 2, p. 60–72, 2014.

JONES, A. N. **Investigating the potential of Hibiscus seed species as alternative water treatment material to the traditional chemicals** School of Engineering, College of Engineering and physical Sciences, The University of Birmingham. [s.l: s.n.].

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

LC BOLONHA. **Corantes Naturais x Corantes Artificiais**. Disponível em: <<https://www.lcbolonha.com.br/2020/07/15/corantes-naturais-x-corantes-artificiais/>>. Acesso em: 20 dez. 2022.

LEME, M. **Estudo Técnico, Econômico e Ambiental da Utilização de Alternativas Tecnológicas para a Geração de Eletricidade na Cadeia Produtiva do Carvão Vegetal no Brasil**. Itajubá, MG: [s.n.].

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3ª ed. Campinas, SP: Editora Átomo, 2010.

LIMA, G. J. DE A. **Uso de polímero natural do quiabo como auxiliar de floculação e filtração em tratamento de água e esgoto**. Rio de Janeiro, RJ: [s.n.].

LIMA, L. DOS S. **Aplicação de biocarvão de aguapé (eichhornia crassipes) e derivados de grafeno para adsorção de Cr(VI) em solução aquosa**. São Cristóvão, SE: [s.n.].

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Vigilância e Controle da Qualidade da Água Para Consumo Humano**. 1ª ed ed. Brasília, DF: Ministério da Saúde - Secretaria de Vigilância Sanitária, 2006.

MISHRA, A.; CLARK, J. H.; PAL, S. Modification of Okra mucilage with acrylamide: Synthesis, characterization and swelling behavior. **Carbohydrate Polymers**, v. 72, n. 4, p. 608–615, 2008.

MONTENEGRO, S. B. **ATIVIDADE ANTIMICROBIANA E ANTITRÍPTICA DAS PROTEÍNAS DE SEMENTES DO QUIABO (Abelmoschus esculentus L . MOENCH)**. João Pessoa, PB: [s.n.].

MORAES, E. R. DE et al. Nutrientes no solo e produção de quiabo conforme doses de silicato de cálcio e magnésio. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 5, n. 1, p. 60–65, 2018.

NARVEKAR, A. A. et al. Development of glycerol based carbon having enhanced surface area and capacitance obtained by KOH induced thermochemical activation. **Materials Chemistry and Physics**, v. 261, n. May 2020, p. 124238, 2021.

NASCIMENTO, R. F. DO et al. **Adsorção: Aspectos teóricos e aplicações ambientais**. Fortaleza, CE: Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014.

NEGRÃO, R. DA S. **Qualidade do carvão vegetal de resíduos de serraria e exploração florestal no município de Anapú/PASuparyanto dan Rosad (2015)**. Paragominas, PA: [s.n.].

NEW JERSEY HAZARDOUS SUBSTANCE FACT SHEETS. DICROMATO DE POTÁSSIO. **Micromedex Environmental Health & Safety Series**, 1997.

NWANGBURUKA, C. Morphological classification of genetic diversity in cultivated okra , *Abelmoschus esculentus* (L) Moench using principal component analysis (PCA) and single linkage cluster analysis (SLCA). n. May, 2014.

OKOLO, B. et al. The Performance of Okra seed (*Hibiscus esculentus* L.) Extract in Removal of Suspended Particles from Brewery Effluent by Coag-Flocculation

Process. **British Journal of Applied Science & Technology**, v. 4, n. 34, p. 4791–4806, 2014.

OLAWUYI, I. F.; LEE, W. Y. Structural characterization, functional properties and antioxidant activities of polysaccharide extract obtained from okra leaves (*Abelmoschus esculentus*). **Food Chemistry**, v. 354, n. March, p. 129437, 2021.

OLIVEIRA, V. L.; JESUS, E.; CONCEIÇÃO, D. Remoção de Cr (VI) de soluções aquosas utilizando bentonita cálcica e pó de quiabo (*abelmoschus esculentus*) por processo de coagulação-floculação. **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, n. Vi, p. 1–7, 2014.

PANG, Y. et al. Synthesis and flocculation characteristics of cationic modified corn cob: A novel polymeric flocculant. **Agricultural Sciences**, v. 04, n. 09, p. 23–28, 2013.

PEREIRA, T. I. O.; MEIRA, L. D. A. S.; SOUSA, M. E. A. USO DA MUCILAGEM DO QUIABO COMO AGENTE FLOCULANTE NO TRATAMENTO DA ÁGUA DO RIO AMAZONAS. **XXVIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**, p. 2–9, 2019.

PINO, G. A. H. **Biossorção de metais pesados utilizando pó da casca de coco verde (*Cocos nucifera*)**. Rio de Janeiro, RJ: [s.n.].

PIQUET, A. B. M.; MARTELLI, M. C. Bioadsorventes produzidos a partir de resíduos orgânicos para remoção de corantes: uma revisão. **Research, Society and Development**, p. 1–22, 2022.

PIRES, M. D. DE O. **Estudo da cinética e da transferência de massa no processo de adsorção do corante azul de metileno por zeólita “A”**. Caxias do Sul, RS: [s.n.].

RAJI, Y. O. et al. Coagulation Efficiency of Okra Seed Extract for Surface Water Treatment. **International Journal of Science and Research (IJSR)**, v. 5, n. 3, p. 2100–2102, 2016.

REDIN, E. **Ciências Rurais em Foco**. 1ª ed. Belo Horizonte, MG: [s.n.]. v. 7

SANTOS, E. A. DOS. **Síntese e caracterização de carvões ativados e compósitos C/Fe produzidos a partir de tortas de biodiesel para remoção de Cr (VI) em meio aquoso**. Belo Horizonte, MG: [s.n.].

SANTOS, V. I. N. DOS. **Influência da presença de ferro na cor e turbidez e implicações na água de poço para abastecimento público**. Fortaleza, CE: [s.n.].

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

SENA, D. A. L. DE et al. **Produção de carvão ativado e silicato de sódio alcalino a partir de casca de arroz** Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents. Santa Maria, RS: [s.n.].

SENTHILKUMAR, M.; NADU, T. 2496 International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. **International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research**, v. 6, n. 6, p. 2496–2503, 2015.

SILVA, R. C. O. DA; OLIVEIRA, R. **Biossorção de cromo (VI) utilizando cascas de jabuticaba**. Pato Branco, PR: [s.n.].

SILVA, J. DOS S. **Efeito das condições de pirólise no preparo de carvão vegetal de coco babaçu utilizando-se radiação de micro-ondas** CESC/UEMA. [s.l: s.n.].

SILVA, J. DOS S. **Preparação de carvão ativado usando casca de arroz em um forno micro-ondas modificado** Material Safety Data Sheet. Pelotas, RS: [s.n.].

SOARES, L. A. et al. Síntese e caracterização de carvão ativado obtido a partir do bagaço de cana-de-açúcar. **XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, 2016.

SOUZA, D. R. DE et al. Avaliação do Potencial de Adsorção de Cromo (VI) através da semente da Moringa oleifera. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. 11, 2021.

SOUZA, J. F. DE. **Uso de produto natural pó de quiabo como auxiliar de floculação no tratamento de água para consumo humano**. Cuiabá, MT: [s.n.].

TAVARES, S. R. DE L. **Remediação de solos e águas contaminadas por metais pesados: Conceitos básicos e fundamentos**. 1ª ed. Rio de Janeiro, RJ: [s.n.].

TRINDADE, N. DE J. DA S. **Produzir e caracterizar carvão ativado em processamento termodinâmico da biomassa de coco babaçu via radiação micro-ondas**. Caxias, MA: [s.n.].

VIEIRA, A. DE R. **Água para a vida. Água para todos**. 1ª ed. Brasília, DF: WWF-Brasil, 2006.

WEST, L. G. M. **USO DO QUIABO (Abelmoschus esculentus L. Moench) NO PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO HUMANO: ENSAIOS PRELIMINARES**. Cruz das Alamas, BA: [s.n.].

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Aluminium. **ENVIRONMENTAL HEALTH CRITERIA 194**, p. 1–129, 1997.

ZANIN, T. **7 incríveis benefícios do quiabo para a saúde**. Disponível em: <<https://www.tuasaude.com/beneficios-do-quiabo/>>. Acesso em: 18 set. 2022.