



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

GIOVANA TALLARICO DA SILVA DE OLIVEIRA

A UTILIZAÇÃO DO BAMBU COMO ADSORVENTE: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Itapeva - SP

2023

GIOVANA TALLARICO DA SILVA DE OLIVEIRA

A UTILIZAÇÃO DO BAMBU COMO ADSORVENTE: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Instituto de Ciências e Engenharia - Itapeva, como requisito para a conclusão do curso de Engenharia Industrial Madeireira

Orientador: Profa. Dra. Maristela Gava

Coorientador: Prof. Dr. Victor Almeida de Araujo

Itapeva - SP

2023

O48u	<p>Oliveira, Giovana Tallarico da Silva de</p> <p>A utilização do bambu como adsorvente: uma revisão bibliográfica / Giovana Tallarico da Silva de Oliveira. -- Itapeva, 2023</p> <p>34 p.</p> <p>Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciências e Engenharia, Itapeva</p> <p>Orientadora: Maristela Gava</p> <p>Coorientador: Victor Almeida de Araujo</p> <p>1. Bioadsorvente. 2. Bambu. 3. Contaminantes. I. Título.</p>
------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Ciências e Engenharia, Itapeva. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

GIOVANA TALLARICO DA SILVA DE OLIVEIRA

**A UTILIZAÇÃO DO BAMBU COMO ADSORVENTE:
UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Industrial - Madeira, da Universidade Estadual Paulista - UNESP - Câmpus de Itapeva.

BANCA EXAMINADORA



Orientador: Profa. Dra. Maristela Gava
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Câmpus de Itapeva.



2º Examinador: Profa. Dra. Eten Aparecida Martines Morales
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Câmpus de Itapeva.



3º Examinador: MSc. Eng. Química Leticia Gabriele Crespilho Abreu
Pesquisadora - Universidade Estadual Paulista - UNESP - Câmpus de Itapeva.

Itapeva, 16/11/2023.

Resumo

O presente trabalho investigou o potencial do carvão ativado de bambu como um adsorvente eficaz em diversas aplicações. A pesquisa incluiu uma revisão abrangente da literatura sobre as propriedades do carvão ativado de bambu, métodos de caracterização e sua validação de qualidade com base em técnicas analíticas e normas regulamentadoras. Vários estudos foram analisados para avaliar o desempenho do carvão ativado de bambu em diferentes contextos, incluindo a remoção de corantes, metais pesados e compostos orgânicos da água. Os resultados destacaram a versatilidade e eficiência desse adsorvente em uma variedade de cenários.

Palavras-chave: Carvão Vegetal. Bambu. Adsorção.

Abstract

This study investigated the potential of bamboo activated carbon as an effective adsorbent in various applications. The research encompassed a comprehensive literature review of bamboo activated carbon properties, characterization methods, and its quality validation through analytical techniques and regulatory standards. Several studies were examined to assess the performance of bamboo activated carbon in different contexts, including the removal of dyes, heavy metals, and organic compounds from water. The results emphasized the versatility and efficiency of this adsorbent in a variety of scenarios.

Keywords: Charcoal. Bamboo. Adsorption.

Lista de tabelas

Tabela 1 – Capacidade máxima de adsorção de CIP em diferentes adsorventes.	24
Tabela 2 – Espécies de Bambu Utilizadas nos Estudos Analisados	25
Tabela 3 – Estudos sobre o Uso de Carvão Ativado de Bambu na Adsorção . .	26

Sumário

	Introdução	10
1	OBJETIVOS	12
1.1	OBJETIVO GERAL	12
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1	BAMBU	13
2.2	CARVÃO ATIVADO	13
2.2.1	Propriedades do Carvão Ativado de Bambu	14
2.2.1.1	Área Superficial	15
2.2.1.2	Porosidade	15
2.2.1.3	Composição Química	15
2.2.1.4	Estrutura	15
2.3	ADSORSÃO	16
2.4	CARACTERIZAÇÃO	17
3	METODOLOGIA	19
3.1	SELEÇÃO DE FONTES	19
3.2	CRITÉRIOS DE SELEÇÃO	19
3.3	LEITURA DINÂMICA DOS ARTIGOS	19
3.4	ANÁLISE DOS TÓPICOS PRINCIPAIS	19
3.5	CONSULTA DE REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19
3.6	ORGANIZAÇÃO E SÍNTESE	20
3.7	LIMITAÇÕES DA METODOLOGIA	20
4	RESULTADOS	21
4.1	ADSORVENTE PARA CORANTES	21
4.2	ADSORVENTE PARA METAIS PESADOS	22
4.3	COMO ADSORVENTE PARA MEDICAMENTOS	23
4.4	COMO ADSORVENTE PARA REMOÇÃO DE PESTICIDAS	25
4.5	COMPILAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
4.5.1	Adsorvente para Corantes	26
4.5.2	Adsorvente para Metais Pesados	27
4.5.3	Adsorvente para Medicamentos	28
4.5.4	Adsorvente para Pesticidas	29

5	CONCLUSÃO	30
	REFERÊNCIAS	31

Lista de abreviaturas e siglas

AFM	Microscopia de Força Atômica
AM	Corante Azul de Metileno
BET	Adsorção de Gases por Área Superficial Específica (Brunauer-Emmett-Teller)
CAC	Carvão Ativado Comercial
CA	Carvão Ativado
CHNS	Análise de Carbono, Hidrogênio, Nitrogênio e Enxofre
CIP	Ciprofloxacina
ECHA	Agência de Proteção Ambiental da União Europeia
EPA	Agência de Proteção Ambiental
FTIR	Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier
MAC	Carvão Ativado Modificado
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
SBET	Área Específica de Superfície pelo método BET
SSA	Área Superficial Específica
UNESP	Universidade Estadual Paulista

Introdução

O uso de carvões ativados em processos de adsorção para a remoção de poluentes em águas residuais é comum, porém, o carvão ativado disponível comercialmente é de alto custo. Nos últimos anos, a atenção tem se voltado para a preparação de carvões ativados a partir de diversos subprodutos agrícolas, devido ao interesse crescente em alternativas de baixo custo provenientes de fontes renováveis, especialmente para tratamento de águas residuais. Pesquisas abordam a produção de carvão ativado a partir de diferentes resíduos agrícolas, como sabugo de palmeira, caroços de ameixa, casca de mandioca, bagaço, fibra de juta, cascas de arroz, caroços de azeitona, caroços de tâmara, caroços de frutas e cascas de nozes. A vantagem dessa abordagem é a utilização de matérias-primas renováveis e potencialmente mais econômicas ([HAMEED; DIN; AHMAD, 2007](#)).

O uso de biomassas como adsorventes para a remoção de contaminantes é benéfico, pois viabiliza o processo de adsorção, devido ao baixo custo da matéria-prima, possibilita a descoberta de uma aplicação tecnológica para subprodutos, apresentando novas alternativas para sua utilização, além de ocorrer sem a formação de subprodutos nocivos. A área de pesquisa sobre o processo de adsorção utilizando biomassas como adsorventes para remoção de metais pesados é considerada vasta, tornando-as necessárias e promissoras ([LIMA et al., 2020](#)).

Desde 1486 d.C., o carvão de bambu tem sido empregado de várias formas devido às suas notáveis propriedades. A singularidade desse carvão está no processo de carbonização, gerando um produto com uma expressiva relação área superficial-massa. Isso confere a ele uma notável capacidade de atrair e reter (adsorver) uma ampla variedade de elementos, incluindo materiais, produtos químicos, minerais, ondas de rádio, umidade, odores e substâncias prejudiciais ao meio ambiente ([ISA et al., 2016](#)).

De acordo com [Vogtländer, Lugt e Brezet \(2010\)](#), o bambu pode apresentar muitos aspectos positivos se comparado com a madeira como, por exemplo, rápido crescimento inicial da planta, substituição eficiente da madeira tropical visando a preservação das matas naturais, possibilidade de crescimento em áreas impróprias ao reflorestamento e geração de suporte econômico-social às economias do terceiro mundo. Essa vantagem da rápida proliferação é confirmada por [Nunes, Júnior e Pastor \(2021\)](#), os quais verificam que os bambus podem alcançar alturas máximas de até 30 metros em períodos até dois anos.

O carvão ativado (CA) é produzido a partir de um material carbonáceo poroso

com uma estrutura microcristalina não gráfica, passando por um processo de ativação para aumentar sua porosidade interna. Diversos materiais com alto teor de carbono, como madeira, hulha, lignina, casca de coco, grão de café, bambu e quitosana, podem ser convertidos em CA. Sua capacidade de adsorção é atribuída à sua elevada área superficial e à presença de uma variedade de grupos funcionais em sua superfície.

O CA é amplamente utilizado como adsorvente no tratamento de água, controle de emissão de poluentes, purificação e armazenamento de gases, bem como em catalisadores e suportes catalíticos. No entanto, seu alto custo comercial em comparação com os bioadsorventes torna inviável seu uso em grandes demandas de remoção de contaminantes.

1 Objetivos

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo do trabalho é desenvolver um referencial teórico para os demais trabalhos da área do uso de carvão ativado de bambu como adsorvente para diferentes usos industriais.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Investigar o uso do carvão ativado de bambu como adsorvente;
- Mostrar o desempenho em diferentes contextos de adsorção.

2 Revisão de Literatura

2.1 BAMBU

O bambu é uma planta caracterizada por sua natureza fibrosa e pertence à família das gramíneas, conhecida como *Poaceae* ou *Gramineae*. Esta família é composta por cerca de 45 gêneros e 1.300 espécies distribuídas globalmente. No Brasil, existem aproximadamente 232 espécies de bambu, das quais cerca de 170 são endêmicas. Essas plantas são principalmente encontradas em regiões tropicais e subtropicais da Ásia, África e América do Sul. Os bambus têm um rápido crescimento e um ciclo de vida longo, variando de 5 a 20 anos de idade, dependendo da espécie (PEDRANGELO et al., 2020).

É uma planta com notável potencial agrícola e pode competir favoravelmente com outros tipos de matérias-primas devido à sua alta taxa de crescimento. Em média, o bambu pode atingir até 30 metros de altura e possui um bom aproveitamento por área, além de uma grande produção de biomassa. Essas características fazem do bambu uma alternativa promissora para aumentar a produtividade agrícola em escala global, o que tem despertado interesse em pesquisas nessa área (CARBONARI et al., 2017).

Ele tem sido amplamente empregado em diversos países como matéria-prima em diferentes setores industriais. Na construção civil, é utilizado para a fabricação de estruturas, revestimentos e acabamentos. Também é empregado na produção de ferramentas, utensílios, móveis e materiais compostos, como pisos e laminados. Além disso, o bambu desempenha um papel importante nas indústrias bioquímica, têxtil, papel e celulose.

Outra aplicação significativa do bambu está na produção de energia e carvão vegetal, aproveitando seu potencial como biomassa renovável. O bambu possui uma estrutura porosa e é abundante devido à diversidade de espécies disponíveis. Essas características tornam o bambu uma opção promissora para a geração de energia sustentável e a produção de carvão vegetal (ZHANG et al., 2018).

2.2 CARVÃO ATIVADO

A produção de carvão ativado envolve a etapa de carbonização seguida de ativação, que pode ser física ou química, dependendo do nível desejado de desenvolvimento da estrutura porosa. Na ativação física, o vapor de água ou dióxido de carbono é frequentemente utilizado, enquanto na ativação química, um agente químico

de desidratação é empregado para ativar a biomassa (DANISH; AHMAD, 2018).

O processo mais comum de produção de carvão ativado é a ativação física, que ocorre em dois estágios. No primeiro estágio, conhecido como carbonização, as ligações menos estáveis são quebradas, liberando a fração volátil do material precursor, composta por gases e alcatrões. O resultado desse estágio é um resíduo carbonoso enriquecido em anéis aromáticos, chamado de carvão, que possui uma estrutura porosa rudimentar. No entanto, essa porosidade inicial apresenta baixa capacidade de adsorção devido à presença de produtos liberados durante a decomposição, principalmente alcatrão, que se re-polimerizam e condensam na superfície das partículas, obstruindo ou bloqueando os poros. Portanto, é necessário um segundo estágio de ativação para eliminar esses depósitos de alcatrão, aumentando a porosidade existente e melhorando a capacidade de adsorção (DANISH; AHMAD, 2018).

Os métodos de ativação química consistem na impregnação do material de partida com um agente químico de desidratação, tanto antes quanto depois da etapa de carbonização. Esses métodos são empregados para desidratar o precursor e remover o alcatrão dos materiais de biomassa. Uma variedade de agentes de ativação química pode ser utilizada, incluindo ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido fosfórico, cloreto de zinco, hidróxido de potássio, hidróxido de sódio e carbonato de cálcio. Dessa forma, a biomassa é quimicamente impregnada e submetida a um tratamento térmico em uma atmosfera inerte, resultando na formação de uma estrutura porosa. Como resultado, o carvão ativado preparado apresentará uma área superficial extensa. Os agentes químicos facilitam o desenvolvimento dos poros no carvão ativado por meio de degradação, desidratação e complexação com moléculas de carbono orgânico presentes nos materiais precursores (DANISH; AHMAD, 2018).

A ativação química apresenta vantagens em relação à ativação física, como a utilização de temperaturas mais baixas, tempos de processo mais curtos e a formação de uma estrutura porosa mais pronunciada. No entanto, a ativação química também possui algumas desvantagens. É necessário incluir um estágio adicional de enxágue para remover o agente de ativação residual, o que aumenta a complexidade do processo. Além disso, existe a possibilidade de que impurezas provenientes do agente ativador permaneçam no material produzido. Isso pode afetar a pureza e as propriedades do carvão ativado final. Além disso, a ativação química implica em custos adicionais associados à aquisição e ao uso de produtos químicos reagentes (SANTANA, 2018).

2.2.1 Propriedades do Carvão Ativado de Bambu

O carvão ativado de bambu é amplamente reconhecido por suas propriedades excepcionais que o tornam um adsorvente eficaz em várias aplicações. Suas principais propriedades incluem a área superficial, porosidade, composição química e estrutural,

cada uma desempenhando um papel crucial em sua eficiência como adsorvente. Diversos autores explicam as propriedades deste carvão, sendo as principais definidas a seguir.

2.2.1.1 Área Superficial

A área superficial elevada do carvão ativado de bambu é uma característica distintiva que permite uma grande exposição à superfície para interações com moléculas adsorventes. Essa propriedade resulta em uma capacidade de adsorção significativamente alta, uma vez que mais espaços de adsorção estão disponíveis para reter contaminantes. Quanto maior a área superficial, maior a quantidade de poluentes que podem ser retidos, tornando o carvão ativado de bambu ideal para a remoção eficiente de substâncias indesejadas da água, do ar e de outras matrizes (GURSES, 2019).

2.2.1.2 Porosidade

A porosidade do carvão ativado de bambu é fundamental para sua eficácia como adsorvente. Os poros fornecem locais específicos onde as moléculas adsorventes podem se ligar, tornando o material altamente seletivo para determinados poluentes. A existência de uma variedade de tamanhos de poros, incluindo microporos, mesoporos e macroporos, amplia a gama de contaminantes que podem ser retidos, tornando o carvão ativado de bambu versátil na adsorção de uma ampla variedade de compostos orgânicos e inorgânicos (MURANAKA, 2010).

2.2.1.3 Composição Química

A composição química do carvão ativado de bambu é geralmente rica em carbono, o que lhe confere uma natureza hidrofóbica. Isso é benéfico na adsorção de compostos orgânicos não polares, como hidrocarbonetos e pesticidas. Além disso, a superfície do carvão ativado de bambu pode ser funcionalizada por meio de tratamentos químicos para melhorar sua afinidade por poluentes específicos. A composição química também pode afetar a capacidade de adsorção iônica, tornando o material adequado para a remoção de íons metálicos (OSTAPIV, 2023).

2.2.1.4 Estrutura

A estrutura do carvão ativado de bambu consiste em uma rede tridimensional de carbono com uma organização hierárquica de poros. Essa estrutura permite a máxima exposição da superfície e uma ampla distribuição de tamanhos de poros. A estrutura porosa auxilia na difusão rápida das moléculas adsorventes na matriz do carvão ativado de bambu, garantindo que os poluentes alcancem os sítios de adsorção de maneira

eficaz. Além disso, essa estrutura contribui para a estabilidade do adsorvente e a capacidade de regeneração, prolongando sua vida útil (OSTAPIV, 2023).

O carvão ativado de bambu é altamente valorizado como adsorvente devido às suas propriedades excepcionais, incluindo sua área superficial elevada, porosidade, composição química e estrutura. Essas características influenciam significativamente sua capacidade de adsorção e o tornam eficaz na remoção de uma ampla variedade de contaminantes em diversas aplicações ambientais e industriais.

2.3 ADSORSÃO

O processo de adsorção tem se mostrado uma técnica promissora para a remoção de contaminantes, especialmente metais, de efluentes. A adsorção ocorre quando as moléculas do contaminante em solução são atraídas e retidas na superfície de um sólido poroso, conhecido como adsorvente. Esses adsorventes possuem uma estrutura altamente porosa, o que resulta em uma grande área superficial disponível para a adsorção.

A adsorção apresenta diversas vantagens em relação aos métodos convencionais de remoção de contaminantes. Algumas dessas vantagens incluem:

- Alta eficiência de remoção: Os adsorventes têm a capacidade de reter uma ampla gama de contaminantes, incluindo metais pesados, corantes, compostos orgânicos, entre outros.
- Seletividade: Os adsorventes podem ser projetados para serem seletivos em relação a determinados contaminantes, permitindo uma remoção mais precisa.
- Regeneração do adsorvente: Em muitos casos, os adsorventes podem ser regenerados e reutilizados após a adsorção dos contaminantes, o que contribui para reduzir custos e minimizar o impacto ambiental.
- Baixo custo: Alguns adsorventes podem ser produzidos a partir de materiais de baixo custo, como resíduos agrícolas ou industriais, tornando o processo de adsorção economicamente viável.

No entanto, é importante ressaltar que a eficiência da adsorção depende de vários fatores, como a escolha do adsorvente adequado, condições de operação, concentração do contaminante, pH e temperatura. Portanto, é necessário um estudo cuidadoso para a seleção e otimização do processo de adsorção em cada caso específico (NASCIMENTO et al., 2014).

2.4 CARACTERIZAÇÃO

A caracterização e validação da qualidade de um carvão ativado de bambu são essenciais para garantir seu desempenho eficaz em aplicações de adsorção. Isso envolve a avaliação de várias propriedades físicas, químicas e estruturais do material. Além disso, existem normas regulamentadoras que podem estabelecer padrões para a qualidade do carvão ativado. Abaixo, seguem alguns métodos de caracterização e segundo [Veith \(2023\)](#) normas relevantes associadas para a validação da qualidade do carvão ativado:

- Área Superficial Específica

Método Analítico: A área superficial específica do carvão ativado de bambu pode ser determinada por técnicas como a adsorção de nitrogênio (método BET) ou adsorção de gases, como dióxido de carbono.

Normas Regulamentadoras: A norma ASTM D6556 ([AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2007](#)) estabelece diretrizes para a medição da área superficial do carvão ativado usando a técnica BET.

- Porosidade

Método Analítico: A porosidade do carvão ativado de bambu pode ser avaliada através de técnicas de adsorção de gases ou porosimetria por mercúrio. Essas técnicas determinam a distribuição de tamanhos de poros.

Normas Regulamentadoras: A norma NBR 12073 de 08/1991 ([ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991](#)) prescreve o método de determinação do número de iodo do carvão ativado pulverizado, para fins de atendimento à EB-2133.

- Composição Química

Método Analítico: A composição química do carvão ativado de bambu pode ser analisada por técnicas como espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) e análise elementar (por exemplo, carbono, hidrogênio, nitrogênio, enxofre - análise CHNS).

Normas Regulamentadoras: As normas ISO 5725 ([INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1994](#)) e ISO 16050 ([INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2004](#)) podem ser relevantes para garantir a precisão e exatidão dos resultados de análise.

- Estrutura e Morfologia

Método Analítico: A microscopia eletrônica de varredura (MEV) e a microscopia de força atômica (AFM) podem ser usadas para examinar a estrutura e a morfologia da superfície do carvão ativado de bambu.

Normas Regulamentadoras: Não existem normas específicas associadas.

- Validação da Qualidade

Além das técnicas analíticas, a validação da qualidade do carvão ativado de bambu também pode envolver testes de desempenho em condições específicas de aplicação, como a adsorção de contaminantes específicos da água ou do ar, em conformidade com as regulamentações de segurança ambiental, como os estabelecidos pela Agência de Proteção Ambiental (EPA) nos Estados Unidos ou pela Agência de Proteção Ambiental da União Europeia (ECHA) na Europa.

A seleção dos métodos de caracterização e das normas regulamentadoras apropriadas dependerá do contexto específico da aplicação e das exigências regulatórias do local. É importante realizar a caracterização e validação da qualidade do carvão ativado de bambu de acordo com padrões aceitos e documentar esses processos para garantir sua qualidade e desempenho consistentes em aplicações práticas.

3 Metodologia

3.1 SELEÇÃO DE FONTES

A pesquisa foi conduzida utilizando o Google Acadêmico como ferramenta principal. As palavras-chave "Bamboo activated carbon", "bamboo-derived activated carbon", "bamboo charcoal properties", e "bamboo-based adsorbent" foram empregadas para realizar buscas abrangentes e identificar fontes relevantes.

3.2 CRITÉRIOS DE SELEÇÃO

Os critérios de inclusão foram estabelecidos com o objetivo de garantir a relevância e a qualidade dos estudos selecionados. Foram considerados artigos que abordavam propriedades do carvão ativado de bambu, seu uso como adsorvente para corantes, metais pesados, medicamentos e pesticidas. A seleção inicial foi realizada a partir da leitura dos resumos, com foco em estudos recentes.

3.3 LEITURA DINÂMICA DOS ARTIGOS

A leitura dos artigos foi dinâmica, iniciando-se pelos resumos para uma compreensão inicial do escopo e dos resultados apresentados. Posteriormente, as conclusões foram examinadas para identificar as implicações práticas e contribuições dos estudos. A leitura completa dos resultados proporcionou uma análise mais aprofundada das metodologias empregadas e dos dados obtidos.

3.4 ANÁLISE DOS TÓPICOS PRINCIPAIS

Os tópicos principais desta pesquisa foram delineados com base nas aplicações do carvão ativado de bambu como adsorvente para corantes, metais pesados, medicamentos e pesticidas. Cada tópico foi abordado considerando as propriedades específicas do material, métodos de preparação, e eficácia nas diferentes aplicações mencionadas.

3.5 CONSULTA DE REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A consulta das referências bibliográficas de cada artigo selecionado foi fundamental para ampliar a gama de fontes disponíveis. Essa abordagem permitiu a

identificação de estudos adicionais que poderiam contribuir para a comparação e validação dos resultados apresentados nos artigos iniciais.

3.6 ORGANIZAÇÃO E SÍNTESE

Os dados obtidos foram organizados e sintetizados em relação aos tópicos principais. A comparação das metodologias, resultados e conclusões proporcionou uma visão abrangente do estado atual da pesquisa sobre o uso do carvão ativado de bambu como adsorvente.

3.7 LIMITAÇÕES DA METODOLOGIA

É importante mencionar que, apesar dos esforços para abranger uma variedade de fontes, algumas limitações podem existir, como a disponibilidade de estudos específicos ou a possível subjetividade na seleção dos artigos.

Em resumo, a metodologia adotada nesta pesquisa buscou garantir uma abordagem abrangente e crítica, explorando as potenciais aplicações do carvão ativado de bambu como adsorvente. A leitura dinâmica, a análise dos tópicos principais e a consulta de referências bibliográficas contribuíram para uma fundamentação sólida e uma compreensão aprofundada do tema.

4 Resultados

4.1 ADSORVENTE PARA CORANTES

Wang e Yan (2011) estudaram o uso do carvão ativado de bambu para a adsorção do corante amarelo 161 a partir de soluções aquosas. Foram investigados carvões ativados com ácido ortofosfórico, ácido nítrico, hidróxido de potássio e cloreto de zinco. Os resultados mostraram que as condições ótimas de sorção, incluindo concentração inicial do corante, pH, tempo de contato e temperatura, influenciaram nas capacidades de adsorção máxima e mínima dos carvões ativados. Os parâmetros termodinâmicos indicaram que o processo de adsorção foi espontâneo e endotérmico. Os resultados de adsorção mostraram que sob condições iniciais do corante de 24,62 mg/L, pH 1,0, tempo de contato de 21 horas e temperatura de 298 K, as capacidades máximas e mínimas de adsorção foram de 2,401 mg/g e 1,705 mg/g para carvões de bambu ativados com ácido ortofosfórico e hidróxido de potássio, respectivamente. Comparado com os outros carvões ativados de bambu, o carvão ativado com ácido ortofosfórico foi o melhor adsorvente para a remoção do corante amarelo.

No estudo de Wang et al. (2013), o carvão de bambu (BC) foi utilizado como material inicial para preparar um adsorvente carregado com óxido binário de Co-Fe (Co-Fe-MBC) por meio de sua impregnação em soluções de $\text{Co}(\text{NO}_2)_2$, FeCl_3 e HNO_3 simultaneamente, seguido de aquecimento por micro-ondas. O compósito de baixo custo foi caracterizado e utilizado como adsorvente para remoção de Cr(VI) da água. Os resultados mostraram que um óxido binário de cobalto e ferro (CoFe_2O_4) foi uniformemente formado no BC por meio de reações redox. O compósito apresentou uma área de superfície mais alta ($331 \text{ m}^2/\text{g}$) do que o BC ou o BC carregado apenas com Fe (Fe-MBC). A adsorção de Cr(VI) dependeu fortemente do pH da solução, temperatura e força iônica. As isotermas de adsorção seguiram bem o modelo de Langmuir, e as capacidades máximas de adsorção para Cr(VI) a 288 K e pH 5,0 foram de 35,7 e 51,7 mg/g para Fe-MBC e Co-Fe-MBC, respectivamente. Os processos de adsorção foram bem ajustados pelo modelo cinético de pseudo-segunda ordem. Os parâmetros termodinâmicos mostraram que a adsorção de Cr(VI) em ambos os adsorventes foi viável, espontânea e exotérmica nas condições estudadas. O Co-Fe-MBC utilizado pode ser facilmente regenerado para reutilização.

O estudo de Tang et al. (2023) abordou a modificação do carvão ativado de bambu (BAC) com surfactantes catiônicos (CTAB), aniônicos (SDS) e sulfonato (SDBS) para a remoção do corante azul de metileno (AM). Os resultados revelaram que as modificações promoveram significativamente a área de superfície específica e a

estrutura porosa do BAC, criando mais sítios de contato para adsorção. O CTAB-BAC se destacou, atingindo uma taxa de remoção de 99,87% de MB com uma concentração de CTAB de 0,25 g/L. As isothermas de adsorção se encaixaram no modelo de Freundlich, e o modelo cinético de pseudo-segunda ordem descreveu bem a cinética de adsorção de MB. Essa pesquisa contribui para o desenvolvimento de métodos de modificação de carvão ativado, aproveitando os recursos de bambu e fornecendo uma abordagem eficaz para o tratamento de efluentes contendo MB.

4.2 ADSORVENTE PARA METAIS PESADOS

O estudo de [Wang et al. \(2008\)](#) teve por objetivo investigar os efeitos das condições de fabricação na capacidade de adsorção de íons de metais pesados pelo carvão de bambu Makinoi (*Phyllostachys makinoi*). Os resultados mostram que a área superficial específica e o número de iodo do carvão de bambu ativado a 900 °C eram maiores do que os do carvão de bambu ativado a 800 °C. A área superficial específica do carvão de bambu ativado a 800 °C com dióxido de carbono era maior do que a do carvão ativado a vapor. No entanto, um resultado contrário foi observado quando a temperatura de ativação era de 900 °C. Usando 5 g de carvão de bambu (malha 10-30) o tempo de imersão foi de 24 horas, foi observado um melhor efeito de adsorção para Pb_{2+} (100%), Cu_{2+} (100%) e Cr_{3+} (88-98%). No entanto, foram observadas frequências médias para a adsorção de Cd_{2+} (40-80%) e Ni_{2+} (20-60%).

No trabalho desenvolvido por [Tan et al. \(2011\)](#), o carvão ativado de bambu modificado com H_2O_2 mostrou um bom desempenho para a remoção de mercúrio elementar gasoso na perspectiva de eficiência de remoção, tempo de penetração e capacidade de adsorção. A modificação com H_2O_2 alterou as propriedades físicas e químicas do carvão, tornando os sorventes mais eficazes em adsorção de mercúrio mesmo a uma temperatura relativamente mais alta. Um aumento na área superficial BET e no volume total de poros está associado a um aumento quase proporcional na capacidade adsorvente de Hg^0 . Os grupos funcionais de oxigênio na superfície, especialmente os grupos carbonila (C=O), carboxila ou éster (COOH), foram observados como promotores da capacidade adsorvente de Hg^0 nos adsorventes, enquanto que os grupos C–O parecem ter um efeito adverso ou pouco efeito.

[González e Pliego-Cuervo \(2014\)](#) utilizaram o vapor de água para ativar fisicamente o bambu da espécie *B. vulgaris striata*. O carvão ativado mesoporoso (área superficial de 608 m²/g) alcançou alta eficiência na remoção de íons de cádmio, mercúrio e zinco de soluções aquosas. Estudos em batelada sugeriram uma dose de carvão ativado de 0,6 g/L, com pH=9, tempo de equilíbrio de 16 horas em condições estáticas e maior concentração de íons metálicos de 20 mg. As maiores capacidades

de adsorção, calculadas a partir do modelo de Langmuir, foram de 239,45 mg/g, 248,05 mg/g e 254,39 mg/g para cádmio, mercúrio e zinco, respectivamente. As propriedades texturais resultantes do adsorvente (SBET = 608 m²/g e diâmetro médio do poro 10,3 nm) são resultados das condições de ativação física. No entanto, esses parâmetros não têm influência significativa no desempenho geral do carvão ativado. Nesse sentido, os grupos oxigenados superficiais desempenham um papel importante no processo de adsorção. Observou-se que alguns desses grupos oxigenados (principalmente carbonila e carboxila) aumentam a capacidade de adsorção por meio de formação de complexos e/ou quelatos na superfície do carvão ativado, mesmo em valores de pH elevados. Os resultados obtidos puderam concluir que carvão ativado produzido a partir de *B. vulgaris striata* pode ser aplicado efetivamente para a remoção eficiente (superior a 98%) de Zn(II), Hg(II) e Cd(II).

Thotagamuge et al. (2021) fabricaram com sucesso um carvão de bambu ativado modificado, denominado MAC, por meio de impregnação e ativação química, e o material foi caracterizado para avaliar suas propriedades físico-químicas. O adsorvente MAC foi utilizado na remoção sistemática de 15 metais pesados em águas residuais industriais, utilizando-se o cobre como modificador. O MAC foi derivado de uma espécie de bambu localmente disponível do gênero *Gigantochloa*. O adsorvente foi preparado por impregnação de carvão de bambu ativado com CuCl₂ · 2H₂O e ativação com HCl. A amostra de água residual industrial coletada foi enriquecida com uma solução padrão de espectrometria de plasma acoplado indutivamente antes dos testes de desempenho. Além disso, foi comparado o desempenho de adsorção do carvão ativado comercial (CAC) com o MAC. Os testes de adsorção foram realizados em diferentes tempos de contato, três diferentes valores de pH e quatro diferentes concentrações de metais pesados. Os resultados revelaram que a adsorção da maioria dos elementos presentes na água residual multi-elementos atingiu o equilíbrio em até 3 horas tanto com o MAC quanto com o CAC. O pH ótimo de adsorção para o MAC é de 5,83. O MAC apresentou melhor desempenho em termos de capacidade de adsorção, q_e (quantidade máxima adsorvida), e foi mais eficaz na taxa de remoção em uma faixa mais ampla de pH do que o CAC. Observou-se também que o MAC removeu significativamente os metais Cd, Pb, As e Cr. Esse estudo apresentou um adsorvente potencial e eficaz para a remoção de múltiplos metais pesados em águas residuais industriais.

4.3 COMO ADSORVENTE PARA MEDICAMENTOS

Wang, Ngo e Guo (2015) utilizaram restos de bambu por meio da ativação combinada de H₃PO₄ e K₂CO₃, como adsorvente para a remoção de ciprofloxacina (CIP) na água, um antibiótico sintético utilizado para o tratamento de infecções bacterianas em humanos e animais. O carvão ativado a base de bambu foi caracterizado com

base na isoterma de adsorção de N₂ a 77 K. O material obtido nas condições ideais apresentou uma alta área superficial específica (SSA) de 2237 m²/g e um alto volume total de poros (Vt) de 1,23 cm³/g, sendo que a proporção de microporos era superior a 90%. A capacidade máxima de adsorção de CIP no carvão (613 mg/g a 298 K) é muito maior do que em outros adsorventes encontrados na literatura como pode ser observado na tabela (Tabela 1) a seguir.

Tabela 1 – Capacidade máxima de adsorção de CIP em diferentes adsorventes.

Adsorventes	Temperatura de Adsorção (°C)	Adsorção (mg/g)	Máxima
Carvão ativado	25	77.15	
Carvão ativado	25	~300	
Carvão ativado	25	216.55	
Carvão ativado	20	~420	
Carvão ativado	25	230	
Composto magnético de carbono mesoporoso	30	~75	
Fibras biocompósitas	25	~40	
Xerogel de carbono	25	~280	
Nanotubos de carbono	25	~140	
Carbono preparado quimicamente	25	104	
Carbono preparado quimicamente	45	125	
Xerogel de carbono	25	112	
Birnessita	25	73	
Montmorilonita	25	330	
Montmorilonita	25	395	
Requitina	25	135	
Carvão ativado de bambu	25	613	

Fonte: Elaborada pelo autor com base em (WANG; NGO; GUO, 2015)

4.4 COMO ADSORVENTE PARA REMOÇÃO DE PESTICIDAS

No trabalho de [Santana et al. \(2017\)](#), o carvão ativado de bambu da espécie *Bambusa vulgaris* produzido por ativação com H_3PO_4/H_2O apresentou um alto rendimento de 39,00%, densidade aparente elevada de $0,50 \text{ g.cm}^{-3}$ e baixo teor de cinzas, o que é positivo para sua aplicação. A análise termogravimétrica indicou que a perda de massa se deveu principalmente à umidade e à decomposição do material durante o processo de ativação. O carvão ativado resultante exibiu uma área superficial significativa de $1196,30 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$, destacando-se pela presença de microporos. Foi capaz de adsorver iodo satisfatoriamente ($747,51 \text{ mg.g}^{-1}$), atendendo à norma brasileiras EB 2133 (Especificação Brasileira), ABNT (1991) que exige que o índice de iodo (I) seja de pelo menos 600 mg.g^{-1} para o AC. A análise por microscopia eletrônica revelou uma rede de poros organizada na parede do feixe fibrovascular do bambu, facilitando a difusão de contaminantes. O carvão ativado demonstrou eficiência na remoção de pesticidas, como metribuzina, 2,4-D e furadan, com percentuais de remoção superiores a 60% em apenas 1 hora de contato. Modelos de adsorção específicos se ajustaram bem aos dados experimentais para cada pesticida.

4.5 COMPILAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 2 reúne as informações das espécies encontradas nos estudos e na Tabela 3 as informações foram agrupadas para apresentar de forma dinâmica à facilitar o entendimento do material apresentado.

Tabela 2 – Espécies de Bambu Utilizadas nos Estudos Analisados

Fonte	Espécie
Wang et al. (2008)	<i>Phyllostachys makinoi</i>
Wang e Yan (2011)	Espécie não especificada
Tan et al. (2011)	Espécie não especificada
Wang et al. (2013)	<i>Phyllostachys makinoi</i>
González e Pliego-Cuervo (2014)	<i>B. vulgaris striata</i>
Wang, Ngo e Guo (2015)	Espécie não especificada
Santana et al. (2017)	<i>B. vulgaris striata</i>
Thotagamuge et al. (2021)	<i>Gigantochloa genus</i>
Tang et al. (2023)	Espécie não especificada.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 3 – Estudos sobre o Uso de Carvão Ativado de Bambu na Adsorção

Fonte	Aplicação do Carvão Ativado de Bambu	Resultados Alcançados
Wang et al. (2008)	Adsorção de Íons de Metais Pesados	Diferenças nas condições de fabricação afetaram a capacidade de adsorção para diferentes íons de metais pesados.
Wang e Yan (2011)	Adsorção de Corante Amarelo 161 a partir de soluções aquosas	Capacidades máximas e mínimas de adsorção foram influenciadas por várias condições. O carvão ativado com ácido ortofosfórico se destacou.
Tan et al. (2011)	Remoção de Mercúrio Elementar Gasoso	Modificação com H ₂ O ₂ aumentou a capacidade de adsorção de mercúrio. Grupos oxigenados influenciaram a adsorção.
Wang et al. (2013)	Remoção de Cr(VI) da água	Formação de óxido binário Co-Fe uniforme no carvão ativado. Boas capacidades de adsorção.
González e Pliego-Cuervo (2014)	Remoção de Íons de Cádmio, Mercúrio e Zinco	Alto desempenho na remoção de íons de metais pesados. Grupos oxigenados na superfície desempenharam um papel importante.
Wang, Ngo e Guo (2015)	Remoção de Ciprofloxacina na Água	Alto rendimento, área superficial significativa e alto volume total de poros. Alta capacidade de adsorção para ciprofloxacina.
Santana et al. (2017)	Remoção de Pesticidas em Águas Residuais	Carvão ativado de bambu eficaz na remoção de pesticidas em águas residuais.
Thotagamuge et al. (2021)	Remoção de 15 Metais Pesados em Águas Residuais	Alto desempenho na remoção de vários metais pesados em águas residuais industriais.
Tang et al. (2023)	Remoção do Corante Azul de Metileno	Modificações do carvão ativado de bambu aumentaram sua eficiência na adsorção do corante.

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.5.1 Adsorvente para Corantes

Os estudos conduzidos por Wang e Yan (2011), Wang et al. (2013) e Tang et al. (2023) abordam o uso do carvão ativado de bambu em diferentes contextos de adsorção. Uma semelhança notável é que todos eles exploram o potencial do carvão ativado de bambu como adsorvente para diferentes compostos, embora os compostos-alvo variem de corantes a metais pesados e surfactantes. Esses estudos reconhecem a capacidade do carvão ativado de bambu de adsorver eficazmente poluentes em soluções aquosas.

Uma diferença notável entre os estudos é a aplicação específica do carvão ativado de bambu. Enquanto Wang e Yan (2011) focam na remoção de corantes, e Tang et al. (2023) estuda a modificação do carvão ativado de bambu para a remoção do corante azul de metileno, Wang et al. (2013) se concentra na adsorção de íons de cromo hexavalente.

No que diz respeito aos métodos utilizados, Wang e Yan (2011) investigaram vários tipos de carvão ativado de bambu produzidos com diferentes agentes ativantes. Wang et al. (2013) utilizaram o carvão de bambu como base para criar um adsorvente carregado com óxido binário de Co-Fe. Por fim, Tang et al. (2023) focou na modificação

do carvão ativado de bambu com surfactantes.

Os resultados variam de acordo com os compostos e métodos aplicados, mas todos os estudos alcançaram resultados promissores em termos de eficiência de adsorção. [Wang e Yan \(2011\)](#) destaca o carvão ativado com ácido ortofosfórico como o melhor adsorvente para a remoção de corante amarelo. [Wang et al. \(2013\)](#) conseguiu criar um compósito de carvão ativado de bambu com um óxido binário de cobalto e ferro, mostrando boa capacidade de adsorção de Cr(VI). [Tang et al. \(2023\)](#) obteve resultados promissores na modificação do carvão ativado de bambu para adsorção de corante azul de metileno.

Quanto a sugestões de melhoria, os estudos poderiam explorar ainda mais as condições de operação, como pH, tempo de contato e temperatura, para otimizar o desempenho do adsorvente. Além disso, investigar o processo de regeneração e reutilização do adsorvente pode ser valioso para aplicações em larga escala. Em relação à caracterização do carvão ativado de bambu, análises mais aprofundadas de sua estrutura e propriedades podem ajudar a compreender melhor o processo de adsorção. Além disso, estudos futuros podem se concentrar em uma ampla gama de poluentes e considerar a viabilidade econômica das aplicações em escala industrial.

4.5.2 Adsorvente para Metais Pesados

Os estudos conduzidos por [Wang et al. \(2008\)](#), [Tan et al. \(2011\)](#), [González e Pliego-Cuervo \(2014\)](#) e [Thotagamuge et al. \(2021\)](#) compartilham o uso de carvão ativado de bambu como adsorvente, embora cada um deles se concentre em diferentes aspectos da adsorção de poluentes. Uma semelhança notável é a busca pela otimização das propriedades do carvão ativado de bambu para melhorar sua capacidade de adsorção de íons metálicos pesados e outros poluentes.

As principais diferenças entre esses estudos incluem os métodos de ativação e modificação do carvão ativado de bambu. Enquanto [Wang et al. \(2008\)](#) investigam os efeitos das condições de fabricação, como temperatura de ativação e agentes ativantes, [Tan et al. \(2011\)](#) se concentram na modificação do carvão com H₂O₂. [González e Pliego-Cuervo \(2014\)](#) utilizam a ativação física com vapor de água para melhorar as propriedades do carvão ativado, enquanto [Thotagamuge et al. \(2021\)](#) realizam uma impregnação com CuCl₂ · 2H₂O e ativação com HCl para produzir um carvão ativado modificado.

No que diz respeito à relevância científica, todos os estudos têm importância significativa. [Wang et al. \(2008\)](#) investiga as condições de fabricação do carvão ativado de bambu, fornecendo conclusões sobre como otimizar sua capacidade de adsorção. [Tan et al. \(2011\)](#) demonstram a eficácia da modificação do carvão com H₂O₂ na

remoção de mercúrio elementar gasoso, o que pode ser relevante para aplicações ambientais. [González e Pliego-Cuervo \(2014\)](#) destacam o potencial do carvão ativado mesoporoso para a remoção de íons de cádmio, mercúrio e zinco. Por fim, [Thotagamuge et al. \(2021\)](#) apresentam um adsorvente eficaz na remoção de múltiplos metais pesados em águas residuais industriais.

Em relação aos resultados alcançados, cada estudo apresenta desempenho promissor na adsorção de poluentes. [Wang et al. \(2008\)](#) observam que a capacidade de adsorção varia para diferentes metais pesados, com destaque para o Pb^{2+} e Cu^{2+} . [Tan et al. \(2011\)](#) demonstra que a modificação com H_2O_2 melhora a capacidade de adsorção de mercúrio. [González e Pliego-Cuervo \(2014\)](#) atinge altas capacidades de adsorção de cádmio, mercúrio e zinco, com destaque para as excelentes propriedades superficiais do carvão ativado. [Thotagamuge et al. \(2021\)](#) mostra que o carvão ativado modificado supera um carvão ativado comercial na remoção de múltiplos metais pesados em águas residuais industriais.

Sugestões de melhoria para esses estudos podem incluir investigações adicionais sobre a regeneração e reutilização dos adsorventes, bem como a exploração de uma gama mais ampla de condições operacionais. Além disso, a caracterização mais detalhada da estrutura do carvão ativado e a compreensão dos mecanismos de adsorção podem enriquecer os resultados. A aplicação em escalas industriais e considerações econômicas também podem ser áreas de desenvolvimento futuro.

4.5.3 Adsorvente para Medicamentos

O estudo conduzido por [Wang, Ngo e Guo \(2015\)](#) compartilha semelhanças com os estudos anteriores, uma vez que também se concentra no uso de carvão ativado de bambu como adsorvente. A ativação combinada de H_3PO_4 e K_2CO_3 é um método distinto de preparação em comparação com os estudos anteriores que usaram diferentes agentes ativantes ou técnicas de ativação.

A relevância científica deste estudo é significativa, uma vez que a remoção de produtos farmacêuticos da água é um problema ambiental emergente devido ao aumento do uso de medicamentos. O uso de carvão ativado de bambu com características excepcionais, como uma alta área superficial e grande volume de poros, é promissor para a remoção eficiente de ciprofloxacina (CIP) na água. Os resultados alcançados, com uma capacidade máxima de adsorção de 613 mg/g a 298 K, demonstram a eficácia do adsorvente.

Sugestões de melhoria podem incluir investigações adicionais sobre a cinética de adsorção e a regeneração do adsorvente, bem como estudos sobre a adsorção de outros produtos farmacêuticos e micropoluentes da água. Além disso, considerações

sobre a escalabilidade do processo e seu impacto econômico seriam relevantes para futuros desenvolvimentos. Em suma, este estudo destaca a aplicação promissora de carvão ativado de bambu na remoção de ciprofloxacina da água, contribuindo para a crescente necessidade de soluções de tratamento de água que enfrentem a presença de produtos farmacêuticos no ambiente.

4.5.4 Adsorvente para Pesticidas

O estudo realizado por [Santana et al. \(2017\)](#) compartilha semelhanças com outros trabalhos ao explorar o uso de carvão ativado de bambu como adsorvente, destacando sua área superficial e capacidade de adsorção. No entanto, uma diferença notável é o foco na produção desse carvão ativado de bambu, usando ativação com H_3PO_4/H_2O . Isso é relevante, uma vez que demonstra um método específico de produção que resultou em características físicas desejáveis, como um alto rendimento e densidade aparente, além de baixo teor de cinzas, o que é fundamental para aplicação eficaz.

A relevância científica desse estudo é significativa, já que se concentra na produção de um adsorvente eficaz a partir de recursos renováveis, como o bambu, com aplicabilidade para a remoção de poluentes, incluindo pesticidas. Os resultados alcançados, incluindo a alta área superficial, capacidade de adsorção de iodo e eficiência na remoção de pesticidas, mostram que esse carvão ativado de bambu é uma solução promissora para a remoção de poluentes da água, incluindo contaminantes orgânicos, como pesticidas.

Sugestões de melhoria podem envolver estudos adicionais sobre a regeneração e reutilização desse adsorvente, bem como testes em escala piloto para avaliar sua eficácia em condições do mundo real. Além disso, considerações sobre a otimização do processo de produção para garantir sua viabilidade em larga escala seriam relevantes para futuros desenvolvimentos. Em resumo, este estudo destaca a produção eficaz de carvão ativado de bambu com excelentes características para adsorção de pesticidas, contribuindo para a busca por soluções mais sustentáveis na remoção de poluentes da água.

No geral, esses estudos fornecem contribuições valiosas para a remediação de poluentes, destacando o potencial do carvão ativado de bambu em várias aplicações ambientais, desde a remoção de corantes, metais pesados, mercúrio, medicamentos e pesticidas que contaminam as águas residuais industriais. Apesar de abordarem diferentes aplicações e compostos, destacam o potencial do carvão ativado de bambu como adsorvente em várias áreas da remediação ambiental e tratamento de efluentes. Suas descobertas podem ter implicações importantes na busca por soluções mais sustentáveis e eficazes para desafios ambientais.

5 Conclusão

O carvão ativado de bambu possui altos níveis de biomassa, cresce rapidamente, é econômico e amigo do meio ambiente e, devido sua estrutura porosa e propriedades adsorventes, justifica sua preferência como carvão ativado. Nesta revisão, foram abordados alguns dos processos de carbonização e ativação do carvão de bambu, suas características e aplicações.

É necessário destacar que são necessários mais estudos e pesquisas para aprofundar o conhecimento sobre a interação química dos componentes e o carvão ativado de bambu. Isso inclui a otimização das condições de adsorção, a avaliação da capacidade de regeneração do adsorvente e a investigação de possíveis interferentes que possam afetar a eficiência do processo.

Referências

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM:d6556 - Standard Practice for Collection of Soil Organic Matter for Trace Element Analysis*. [S.l.], 2007. Citado na página 17.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12073:1991 - Determinação da umidade em matérias-primas para cerâmica vermelha*. 1991. Citado na página 17.

CARBONARI, G. et al. Bambu—o aço vegetal. *Mix Sustentável*, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 17–25, 2017. Citado na página 13.

DANISH, M.; AHMAD, T. A review on utilization of wood biomass as a sustainable precursor for activated carbon production and application. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Amsterdam, v. 87, p. 1–21, 2018. Citado na página 14.

GONZÁLEZ, P.; PLIEGO-CUERVO, Y. Adsorption of cd (ii), hg (ii) and zn (ii) from aqueous solution using mesoporous activated carbon produced from bambusa vulgaris striata. *Chemical Engineering Research and Design*, Inglaterra, v. 92, n. 11, p. 2715–2724, 2014. Citado 5 vezes nas páginas 22, 25, 26, 27 e 28.

GURSES, A. Natural products in adsorption technology. In: UL-ISLAM, S. (Ed.). *Integrating Green Chemistry and Sustainable Engineering*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc, 2019. cap. 13, p. 397–441. Citado na página 15.

HAMEED, B.; DIN, A. M.; AHMAD, A. Adsorption of methylene blue onto bamboo-based activated carbon: kinetics and equilibrium studies. *Journal of hazardous materials*, [s. l.], v. 141, n. 3, p. 819–825, 2007. Citado na página 10.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 5725:1994 - Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results - Part 1: General principles and definitions*. 1994. Citado na página 17.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 16050:2004 - Guidance on the expression of uncertainty in measurement (GUM)*. 2004. Citado na página 17.

ISA, S. et al. Adsorption properties and potential applications of bamboo charcoal: A review. In: EDP SCIENCES. *MATEC Web of Conferences*. [S.l.], 2016. v. 78, p. 01097. Citado na página 10.

LIMA, V. E. de et al. Avaliação do uso de materiais residuais como adsorventes para remoção de pb²⁺ em efluentes de laboratórios. *Brazilian Journal of Development*, [s. l.], v. 6, n. 12, p. 97249–97262, 2020. Citado na página 10.

MURANAKA, C. T. *Combinação de adsorção por carvão ativado com processo oxidativo avançado (POA) para tratamento de efluentes contendo fenol*. Tese (Doutorado) — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Química, 2010. Citado na página 15.

NASCIMENTO, R. F. d. et al. *Adsorção: Aspectos Teóricos e Aplicações Ambientais*. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014. E-book. Acesso em: [data de acesso]. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/10267>>. Citado na página 16.

NUNES, G. da M.; JÚNIOR, A. d. S. S.; PASTOR, J. dos S. O uso do bambu como material estrutural na construção civil. *Revista Principia-Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB, [s. l.]*, n. 55, p. 152–164, 2021. Citado na página 10.

OSTAPIV, F. Uses and properties of bamboo charcoal. Grupo de Pesquisa Virtuhab, 2023. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 16.

PEDRANGELO, A. d. C. S. et al. Potencialidades do material bambu: Uma revisão bibliográfica. *Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão (ISSN: 2525-4782), [s. l.]*, v. 5, n. 7, 2020. Citado na página 13.

SANTANA, G. M. *Carvões ativados de bambu (Bambusa vulgaris) como tecnologia excelsa para remoção de poluentes ambientais*. Tese (Doutorado) — Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2018. Citado na página 14.

SANTANA, G. M. et al. Desenvolvimento de carvão ativado a partir de bambu (*bambusa vulgaris*) para remoção de pesticidas de soluções aquosas. *Cerne*, Lavras, v. 23, p. 123–132, 2017. Citado 3 vezes nas páginas 25, 26 e 29.

TAN, Z. et al. Removal of elemental mercury by bamboo charcoal impregnated with H_2O_2 . *Fuel, [s. l.]*, v. 90, n. 4, p. 1471–1475, 2011. Citado 5 vezes nas páginas 22, 25, 26, 27 e 28.

TANG, D. et al. Surface modification of bamboo-based activated carbon for methylene blue removal. *Paper and Biomaterials, [s. l.]*, China Pulp and Paper Research Institute Co., Ltd., v. 8, n. 1, p. 12–25, 2023. Citado 4 vezes nas páginas 21, 25, 26 e 27.

THOTAGAMUGE, R. et al. Copper modified activated bamboo charcoal to enhance adsorption of heavy metals from industrial wastewater. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management, [s. l.]*, v. 16, p. 100562, 2021. Citado 5 vezes nas páginas 23, 25, 26, 27 e 28.

VEITH, A. G. Standard test methods-insuring high-quality output. In: DICK, J. S. (Ed.). *BASIC rubber testing: selecting methods for a rubber test program*. [S.l.]: ASTM, 2023. cap. 10, p. 178–228. Citado na página 17.

VOGTLÄNDER, J.; LUGT, P. Van der; BREZET, H. The sustainability of bamboo products for local and western european applications. Icas and land-use. *Journal of Cleaner Production, [s. l.]*, v. 18, n. 13, p. 1260–1269, 2010. Citado na página 10.

WANG, L.-G.; YAN, G.-B. Adsorptive removal of direct yellow 161 dye from aqueous solution using bamboo charcoals activated with different chemicals. *Desalination, [s. l.]*, v. 274, n. 1-3, p. 81–90, 2011. Citado 4 vezes nas páginas 21, 25, 26 e 27.

WANG, S.-Y. et al. Effects of manufacturing conditions on the adsorption capacity of heavy metal ions by makino bamboo charcoal. *Bioresource Technology, [s. l.]*, v. 99, n. 15, p. 7027–7033, 2008. Citado 5 vezes nas páginas 22, 25, 26, 27 e 28.

WANG, W. et al. Cr (vi) removal from aqueous solution with bamboo charcoal chemically modified by iron and cobalt with the assistance of microwave. *Journal of Environmental Sciences*, [s. l.], v. 25, n. 9, p. 1726–1735, 2013. Citado 4 vezes nas páginas 21, 25, 26 e 27.

WANG, Y.; NGO, H.; GUO, W. Preparation of a specific bamboo based activated carbon and its application for ciprofloxacin removal. *Science of the Total Environment*, [s. l.], v. 533, p. 32–39, 2015. Citado 5 vezes nas páginas 23, 24, 25, 26 e 28.

ZHANG, G. et al. Activated biomass carbon made from bamboo as electrode material for supercapacitors. *Materials Research Bulletin*, [s. l.], v. 102, p. 391–398, 2018. Citado na página 13.