

## **Bioadsorventes produzidos a partir de resíduos orgânicos para remoção de corantes: uma revisão**

**Bioadsorbents produced from organic waste for dye removal: a review**

**Bioadsorbentes producidos a partir de residuos orgánicos para la eliminación de colorantes: una revisión**

Recebido: 03/02/2022 | Revisado: 07/02/2022 | Aceito: 14/02/2022 | Publicado: 21/02/2022

**Ana Beatriz Malheiros Piquet**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1016-1097>

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: [ana.malheiros.bia@hotmail.com.br](mailto:ana.malheiros.bia@hotmail.com.br)

**Marlice Cruz Martelli**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8512-2706>

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: [martelli@ufpa.br](mailto:martelli@ufpa.br)

### **Resumo**

A utilização dos corantes na indústria têxtil desencadeia a contaminação dos seus efluentes e seu descarte sem tratamento prévio gera impactos ambientais. Para a imobilização e degradação das substâncias contaminantes, a técnica mais eficiente e seletiva é a adsorção, onde as moléculas do corante são removidas quando se aderem na superfície do adsorvente. A utilização de materiais de baixo custo provenientes de resíduos de materiais orgânicos, como casca de arroz, bagaço de cana-de-açúcar, sabugo de milho, caroço de açaí, casca de laranja, bagaço de frutas no geral *in natura* ou como carvão ativado são ótimos recursos para remoção de substâncias indesejadas. O objetivo do presente artigo é apresentar uma revisão de literatura sobre o estudo de adsorventes a partir de compostos orgânicos. A pesquisa foi realizada em periódicos de base nacional e internacional, dos últimos seis anos, sobre carvão ativado e biossorvente, com eficiência de, no mínimo 70% na remoção de corantes sintéticos. Nas informações disponibilizadas no levantamento apontam que a maioria dos materiais adsorventes alternativos apresenta eficiência alta quando comparada com carvão comercial ou outros, devido às boas propriedades morfológicas. Independentemente dos tratamentos físico-químicos, a viabilidade dos adsorventes é comprovada com as análises realizadas.

**Palavras-chave:** Biossorventes; Carvão ativado; Corante; Resíduo.

### **Abstract**

The use of dyes in the textile industry triggers the contamination of its effluents and its disposal without prior treatment generates environmental impacts. For the immobilization and degradation of contaminating substances, the most efficient and selective technique is adsorption, where the dye molecules are removed when they adhere to the surface of the adsorbent. The use of low-cost materials from organic material residues, such as rice husk, sugarcane bagasse, corn cob, açaí seed, orange peel, fruit bagasse in general *in natura* or as activated carbon are great resources for removing unwanted substances. The purpose of the article is to present a literature review on the study of adsorbents from organic compounds. The research was carried out in national and international journals, over the last six years, on activated carbon and biosorbent, with an efficiency of at least 70% in the removal of synthetic dyes. In the information provided in the survey, most alternative adsorbent materials show high efficiency when compared to commercial coal or others, due to their good morphological properties. Regardless of the physicochemical treatments, the viability of the adsorbents is proven with the analyses carried out.

**Keywords:** Biosorbents; Activated carbon; Dye; Residue.

### **Resumen**

El uso de tintes en la industria textil desencadena la contaminación de sus efluentes y su disposición sin tratamiento previo genera impactos ambientales. Para la inmovilización y degradación de sustancias contaminantes, la técnica más eficiente y selectiva es la adsorción, donde las moléculas de colorante se eliminan cuando se adhieren a la superficie del adsorbente. El uso de materiales de bajo costo a partir de residuos de materia orgánica, como cascarilla de arroz, bagazo de caña de azúcar, mazorca de maíz, semilla de açaí, cáscara de naranja, bagazo de frutas en general *in natura* o como carbón activado, son grandes recursos para la remoción de sustancias no deseadas. El objetivo de este artículo es presentar una revisión de la literatura sobre el estudio de adsorbentes a partir de compostos orgánicos. La investigación se realizó en revistas nacionales e internacionales, durante los últimos seis años, sobre

carbón activado y biosorbente, con una eficiencia de al menos 70% en la remoción de colorantes sintéticos. En la información proporcionada en la encuesta, la mayoría de los materiales adsorbentes alternativos muestran una alta eficiencia en comparación con el carbón comercial u otros, debido a sus buenas propiedades morfológicas. Independientemente de los tratamientos fisicoquímicos, la viabilidad de los adsorbentes queda demostrada con los análisis realizados.

**Palabras clave:** Biosorbentes; Carbón activado; Tinte; Residuo.

## 1. Introdução

Com a larga produção industrial, os processos de transformação utilizam uma variedade de recurso gerando uma quantidade considerável de contaminantes. Um dos segmentos mais antigos é a produção e fabricação de vestuário, que envolve várias etapas combinando o consumo de muitos produtos químicos e grandes quantidades de água. Tal fato origina efluentes com forte coloração devido ao uso de corantes.

O descarte de corante nos efluentes cria a necessidade de técnicas ou tecnologias para a remoção de substâncias contaminantes, que mesmo em pequenas quantidades, podem oferecer certa degradação. Uma das técnicas para remoção é o uso de adsorventes. Entre os benefícios desta, destaca-se a alta eficiência e baixo custo econômico. O adsorvente é um material sólido poroso para garantir a descontaminação, como também apresenta seletividade, resistência mecânica e inércia química. Os adsorventes mais tradicionais são o carvão ativado, biomassa, sílica-gel, zeólitas e argila (Belmabkhout et al., 2016).

A biomassa é uma fonte vantajosa para ser convertida em adsorventes alternativos por ser limpa e renovável, além de auxiliar na mitigação dos impactos ambientais causados pelo descarte incorreto destes resíduos e evitando a geração de acúmulos posteriores. Segundo Adeniyi, *et al.* (2019) a biomassa é definida como a matéria orgânica de baixo custo e fácil acesso. Grande parte desses materiais são oriundos do cultivo, colheita, processamento e consumo de produtos agrícolas. Devido ao seu baixo custo, cresce o interesse por parte dos pesquisadores, pois, em geral, os tratamentos de efluentes são onerosos e nem sempre a tecnologia é acessível a todos (Ceron, 2019).

Para Okoli (2019) a coleta de informações adequadas e de forma rigorosa, auxilia na seriedade e qualidade do trabalho. Desse modo, a grande quantidade de trabalhos abordando materiais alternativos requer uma exploração da sua eficiência. Neste contexto, este trabalho apresenta uma revisão da literatura sistemática com levantamento de pesquisas sobre materiais adsorventes a partir de resíduos orgânicos, como carvão ativado (de biomassa) e biossorventes, para remoção de corantes sintéticos industriais.

## 2. Metodologia

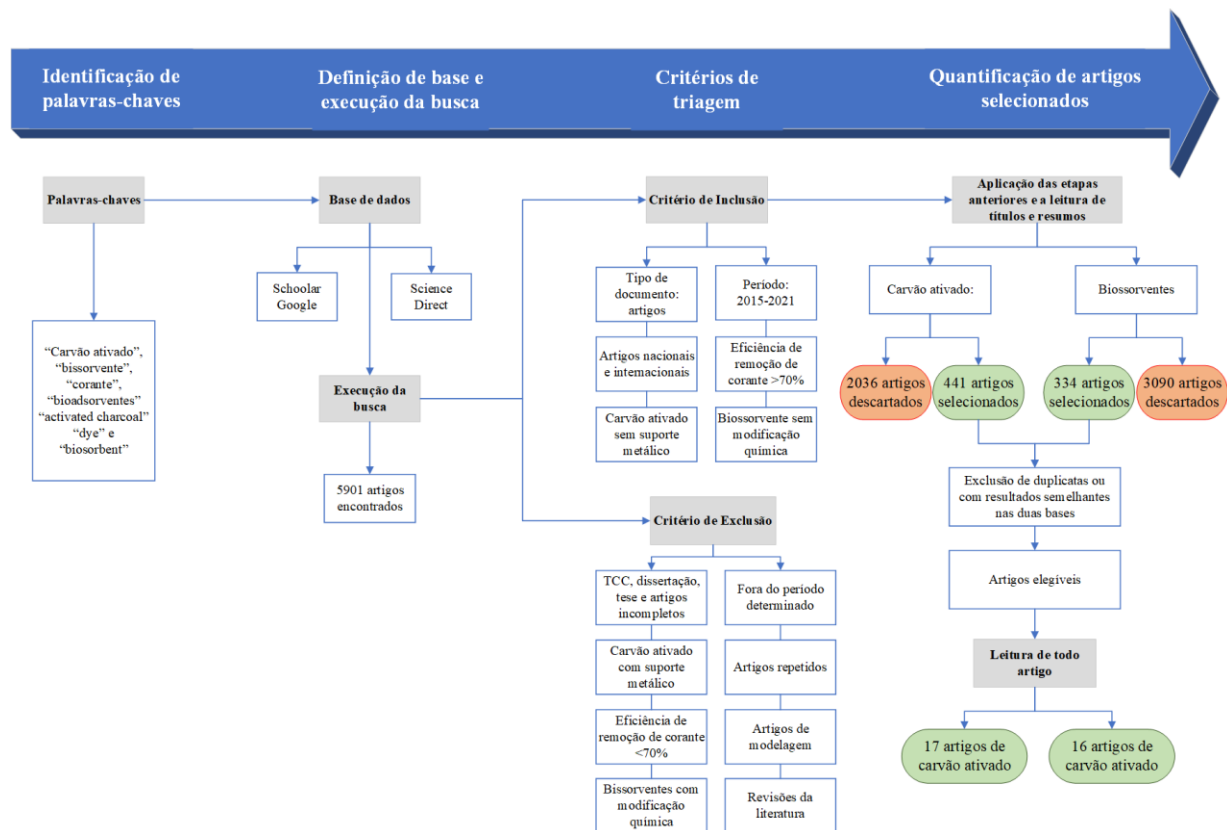
No presente trabalho realizou-se uma revisão sistemática da literatura (RSL) que consiste na identificação, avaliação e resumo das pesquisas disponíveis relevantes dentro do domínio, área ou fenômeno de interesse. O principal propósito da revisão é obter informações claras, confiáveis, razoáveis e imparciais sobre o tema (van Dinter et al., 2021). Segundo Pereira, Shitsuka & Pereira (2018) o principal propósito da revisão é obter informações claras através da leitura e análise dos artigos sobre determinado tema. Após a coleta de dados é construída uma discussão a partir dos resultados nas referências encontradas.

A metodologia adotada consiste na abordagem sugerida por Morioka e de Carvalho (2016) propõem em uma revisão composta em quatro etapas: 1) identificação de palavras chaves, 2) critérios de triagem (inicial e final), 3) definição de bases de busca e execução 4) quantificação de artigos selecionados na triagem inicial e final.

Para a busca sistemática sobre o assunto referente à área de interesse, fez-se necessário a seleção de palavras-chaves, como: bioadsorventes, carvão ativado, biossorventes, corante e suas respectivas traduções para o inglês. Os termos foram inseridos no banco de dados do Google Scholar e ScienceDirect para o levantamento de artigos entre 2015 a 2021, resultando

em 5901 trabalhos. A preferência foi dada para artigos completos sobre carvão ativado sem suporte metálicos e bioissorvente sem modificação química, ambos com resultados superiores a 70% de remoção dos corantes têxteis. Trabalhos de conclusão de curso, dissertações, teses, monografias e artigos de revisão foram descartados, além de pesquisas duplicatas e incompletas. A primeira seleção de trabalhos foi avaliada pelo título e resumo para posteriormente a verificação de metodologia e resultados pertinentes. O levantamento apontou para 33 artigos, após o critério de seleção, descrito na metodologia, sendo 17 referentes a carvões ativados a partir de biomassa e 16 com bioissorventes. Os artigos foram selecionados e apresentados em Tabela, onde se destaca: autor, ano de publicação, título, objetivo e resultados. Realizou-se uma avaliação crítica às pesquisas encontradas para satisfazer as pertinências da metodologia, conforme o fluxograma na Figura 1.

Figura 1 – Etapas da pesquisa.



Fonte: Autores (2022).

### 3. Indústria Têxtil

O processo produtivo de uma indústria têxtil apresenta etapas como tingimento, acabamento, desengomagem, limpeza e branqueamento onde todas utilizam grandes quantidades de água, não somente na cadeia produtiva, mas, em máquinas e equipamentos. Destacando-se como a terceira maior consumidora de água doce no mundo, demandando cerca de 5 bilhões de m<sup>3</sup> dos recursos hídricos (Haque et al., 2021).

O descarte dos efluentes da indústria têxtil é prejudicial ao ecossistema, pois, se verifica a presença de corantes, metais, surfactantes e outros componentes químicos variados e complexos. O despejo sem tratamento prévio pode causar o esgotamento do oxigênio dissolvido causando mais desequilíbrio ao ecossistema. O principal produto, que em estudos recentes, mostrou possuir caráter carcinogênico e mutagênico é o corante sintético (Queiroz, et al., 2016; Samsami, et al., 2020).

### 3.1 Corantes

Os corantes são substâncias responsáveis pela característica essencial da indústria têxtil, a cor. São produtos que se destacam pela aderência ao tecido, que ocorre através de reações químicas nas etapas de montagem, na transferência do corante para as fibras, seguido da fase de fixação, na qual ocorre interação do tecido com corante. Por fim, realiza-se a lavagem para retirar do excesso do corante, porém, os aspectos importantes são a alta solubilidade em água e baixa fixação das fibras (Fontana, *et al.*, 2018; de Lima, 2018).

Tais produtos podem ser classificados conforme a origem (natural ou sintética), estrutura química, cor e aplicações. Os corantes são produzidos por compostos orgânicos ou inorgânicos e relacionam-se aos grupos cromóforos. Dividem-se em catiônicos, aniônicos e não aniônicos, este não solúvel em água (Fontana, *et al.*, 2018). Na Tabela 1 estão os corantes mais citados no trabalho, assim como sua natureza, aplicação e exemplos.

**Tabela 1** – Classes dos corantes sintéticos.

Nome dos Corantes	Exemplos	Aplicações
Corantes reativos	Vermelho Reativo, Laranja Reativo	Tecido e fibra celósica
Corantes ácidos	Vermelho ácido, Vermelho congo, laranja de metila	Couro, seda, lã, e fibras sintéticas
Corantes básicos	Azul de metileno, Verde Malaquita, vermelho básico 9, violeta cristal	Algodão, lã e seda
Corante de cuba	Cuba verde 6, índigo	Fibras mistas, algodão e celulose

Fonte: Kausar, *et al.* (2018); Elgarahy, *et al.* (2021).

### 4. Adsorção

Segundo Souza, *et al.* (2021) é um método de separação físico-químico, onde o material, chamado de adsorvente, apresenta cargas livres em potencial para se tornar sítios ativos. Devido à estrutura composta por poros, facilita que as moléculas específicas (adsorvatos) se acumulem na superfície, caso haja afinidade.

O fenômeno ocorre baseado nas interações das moléculas de soluto e superfície, podendo ser física ou química. A interação adsorvato/adsorvente é mais forte quando relaciona as ligações iônicas ou covalentes descrevendo a adsorção como quimissorção. Já interação física acontece através de forças de Van der Waals, ligações por pontes de hidrogênio e ponte dissulfeto, chamada de fisissorção (Almeida & Santos, 2020).

Considerando a simplicidade, custo, eficácia e funcionamento, o método de adsorção é superior aos outros tratamentos dos resíduos. Apresenta vantagens como uma técnica rápida e sua aplicação dispensa a necessidade de grande área física, logo, é uma operação unitária de alta seletividade adequada para remoção de cor, sabor, odor e outros compostos contaminantes, além de subprodutos da desinfecção (Muller, *et al.*, 2019).

#### 4.1 Isotermas

A compreensão do equilíbrio de adsorção é fundamental para obter informações sobre o fenômeno de separação. Entende-se que o sistema entrou em equilíbrio quando as moléculas ou íons de adsorvato são sorvidos na superfície até atingir uma estabilidade e a concentração do soluto permaneça constante. Portanto, os diferentes parâmetros e o entendimento da termodinâmica associados aos modelos de equilíbrio descrevem o mecanismo adsorativo, conhecido como isotermas. (da Silva & Simoni, 2018).

As relações matemáticas que representam a capacidade de adsorção e concentração de adsorvato em solução descrevem os modelos de isoterma. Assim, a isoterma relaciona a unidade de massa do adsorvato e do adsorvente com a

concentração de equilíbrio ( $C_e$ ). Caso a massa de adsorvato sorvida no adsorvente for alta para uma  $C_e$  baixa, é dita como favorável e o contrário é desfavorável. Há também, a isoterma irreversível nos revelando a independência entre os dois fatores citados acima. Entre os modelos mais comuns são as isotermas de Langmuir e Freundlich, mas há também a de Redlich-Peterson, Temkin, Dubinin-Radushkevich e Sips (Tan, *et al.*, 2015).

#### 4.2 Cinética de adsorção

No estudo do equilíbrio de adsorção há os modelos cinéticos lineares capazes de fornecer informações e indicar a velocidade com que as moléculas do adsorvato são removidas da solução. As propriedades físicas e químicas do adsorvente influenciam na cinética, como a morfologia, porosidade, distribuição de poros, tamanho da partícula, área específica, interação entre adsorvente e adsorvato, características do adsorvato e sua concentração (Ferreira, *et al.*, 2017).

Entre os fatores que podem influenciar a velocidade de adsorção encontram-se a temperatura, pH, força iônica, agitação, entre outros. A cinética é útil para compreender qual é o mecanismo controlador e determinar a taxa de adsorção. Os modelos mais usuais são os de pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem e difusão intrapartícula (Geetha et al., 2015; Nascimento *et al.*, 2020).

O modelo de pseudo-primeira ordem foi desenvolvido por Lagergren (1898) utilizado para descrever um sistema de adsorção sólido – líquido. A variação na concentração do adsorvato é proporcional à diferença entre a quantidade adsorvida e ao número de sítios ativos do adsorvente. Além de descrever sistemas que envolvam adsorventes produzidos com cinzas, carvão ativo, minerais, turfas, biopolímeros e adsorvatos contendo íons metálicos, corantes, pesticidas, entre outros (Geetha et al., 2015).

O modelo de pseudo-segunda ordem foi desenvolvido por Ho e McKay (1999) em que descreve a adsorção da fase sólida e prevê o comportamento durante um período completo, indicando que o processo de adsorção é de natureza química, relaciona-se com um mecanismo de adsorção responsável pela etapa controladora e descreve sistemas utilizando soluções com concentrações baixas (Geetha et al., 2015; Nascimento *et al.*, 2020).

Em sistemas onde a difusão no interior dos poros é o que controla o processo, a transferência de massa dentro da partícula é etapa limitante da difusão, logo, se dá o modelo de difusão intrapartícula. Geralmente descrevem fenômenos com materiais adsorventes com alta porosidade e com grande área superficial (Fontana, *et al.*, 2018).

#### 4.3 Materiais adsorventes

Segundo Tien (2018), a maior parte dos materiais adsorventes são porosos e possuem certa capacidade de adsorver gases e/ou líquidos e também o papel de agente principal no processo de adsorção devido à sua superfície permitir a interação com soluto. Para garantir a efetividade do método é fundamental conhecer o tipo de adsorvente para compreender quais características favorecem o processo de remoção do adsorvato.

A natureza físico-química do material adsorvente implica na capacidade de adsorver substâncias e a taxa com que isso ocorre depende de propriedades, como: a área superficial específica do material, porosidade, distribuição do tamanho e volumes específicos dos poros, além da natureza do material precursor.

Os adsorventes naturais são aqueles que podem ser obtidos diretamente da natureza, como os argilominerais, óxidos de metal, celulose, fibras naturais e outros. Esses materiais são de baixo custo e mais abundantes, enquanto os adsorventes sintéticos não são encontrados naturalmente, mas, podem ser preparados quimicamente. Portanto, é importante avaliar a relação custo/benefício (Iakovleva, *et al.*, 2016).

A seletividade de adsorventes naturais é menor que a dos adsorventes sintéticos; no entanto, a seletividade e capacidade de adsorção de qualquer material podem ser aprimoradas perante modificações nas propriedades estruturais. Desse

modo, maior tolerância às substâncias indesejadas pode significar uma redução na capacidade de remoção, justamente por afetar a seletividade do adsorvente, além de degradar a estrutura do mesmo (Tran, *et al.*, 2016; Sanfeld, *et al.*, 2015).

#### 4.3.1 Carvão ativado

O carvão ativado (CA) é um material carbonáceo com estrutura porosa bem desenvolvida e de área superficial específica, que pode ser obtido através de diferentes precursores com alto teor de carbono e baixo teor de matéria inorgânica. Normalmente, os CAs comerciais apresentam um custo elevado, justamente por esse motivo se recorre à busca de matérias-primas mais viáveis economicamente. Segundo Meryemoglu, *et al.* (2016) apresentam características porosas e influenciam na eficiência da adsorção de compostos orgânicos e inorgânicos. Sendo o tratamento físico e químico resultante na alteração das propriedades no material, como a distribuição do tamanho de poros, área específica, resistência mecânica e atividade química na superfície (Du, 2017; Erdem, *et al.*, 2016).

A existência de grupos funcionais na superfície de CA confere a capacidade de adsorver poluentes, sendo assim é utilizado como um produto quimicamente inerte para remoção de substâncias impuras em efluentes líquidos. Os contaminantes podem ser divididos em três grupos: matéria orgânica natural (resíduo de metabolismos dos seres vivos), materiais sintéticos (surfactantes, detergentes, pesticidas, corantes, óleo, benzeno e tolueno, entre outros) e subprodutos do tratamento químico da água (compostos envolvidos na desinfecção, como o cloro). Em geral, as impurezas encontram-se em pequenas concentrações, contudo, ocasionam mudanças nas propriedades líquidas, como cor, gosto e odor (Gul, *et al.*, 2021; Siddique, *et al.*, 2017).

O carvão ativo pode ser originado por diferentes fontes de matéria prima animal, mineral e vegetal. Os resíduos lignocelulósicos são os mais pesquisados devido conter em sua estrutura componentes que conferem a qualidade do adsorvente e promovem a adsorção de muitos materiais. Os componentes estruturais básicos são a hemicelulose, celulose e lignina que influenciam na porosidade final do CA. Segundo Gupta, *et al.* (2016) a celulose é utilizada para adsorver água, íons metálicos, substâncias orgânicas e corantes, enquanto a lignina atua como responsável pela troca iônica do material e pela estabilidade térmica da biomassa (Gul, *et al.*, 2021; Escudero-Ñate, *et al.*, 2017).

Existem duas metodologias que permitem produzir carvões ativados. A primeira consiste na decomposição térmica da matéria (calcinação), enquanto a segunda, consiste em ativar quimicamente ou termicamente a matéria calcinada. Deste modo, Gomes, Bianchi e Magalhães (2021) detalha que ativação térmica: é o processo de oxidação lenta do carvão através de agentes oxidantes como vapor e o dióxido de carbono, a temperaturas entre 400 °C e 900 °C. O processo lento de oxidação cria uma nova porosidade ou aumenta os poros existentes no material. Geralmente, opta-se pelo CO<sub>2</sub>, ao vapor, devido à sua baixa reatividade, o que permite controlar a taxa de oxidação à medida que a porosidade uniforme é desenvolvida.

Já a ativação química: consiste na impregnação do carvão com produtos químicos (NaOH, ZnCl<sub>2</sub>, KOH, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), os quais promovem reações de desidratação, policondensação e gaseificação em temperaturas menores do que as necessárias para uma ativação física. Ao fim do processo, observa-se um rendimento maior, embora seja requerida uma lavagem extensiva do produto para eliminação dos produtos químicos, o que pode ser classificado como uma nova penalidade ao meio ambiente (Perrich, 2018).

#### 4.3.2 Biossorvente

O processo de biossorção consiste na recuperação ou remoção de substâncias orgânicas, inorgânicas, solúveis ou insolúveis (metal, corante, fármaco, composto químico etc.) utilizando material biológico através da força de atração entre o adsorvato e adsorvente. O mecanismo de reação pode ser dependente do metabolismo a partir de biomassa viva (com atividade metabólica) envolvendo fisiossorção, quimiossorção, atração eletrostática e precipitação. O caso independente do metabolismo consiste em material biológico inativo (sem atividade metabólica) em processo de adsorção físico-química ou interações



iônicas (Escudero, *et al.*, 2019; Yaashikaa, *et al.*, 2021)

Nas últimas décadas, o processo de biossorção tem se tornado uma das principais alternativas para o tratamento e remoção de poluentes em soluções aquosas. A escolha de materiais de baixo custo e com abundância na natureza são mais interessantes, logo, os biossorventes tornam-se visados. As fontes de matéria-prima do material, se dividem em naturais, biológicos e residuais, tais como bagaço, cascas, sementes, escória e cinzas se enquadrando como um bioadsorvente (Azimi, *et al.*, 2017; Joshi, 2017).

Em geral, a remoção de poluentes em efluentes ocorre através de métodos convencionais onerosos e, utilizando carvão ativado se limitam, devido ao custo de energia e produtos envolvidos na sua ativação e perdas de regeneração. Neste sentido, uma série de biossorventes foi desenvolvida e vêm sendo empregada em ensaios para tratamento de vários poluentes, como íons metálicos e até corantes (Shoote, *et al.*, 2020; Silva, *et al.*, 2019).

Uma vantagem é a apresentação de propriedades ideais para biossorção, onde não necessariamente a modificação físico-química será obrigatória. Diferente do carvão ativado, os biossorventes podem ser utilizados na forma natural (*in natura*), onde o pré-tratamento consiste em uma lavagem para remoção de impurezas, submetido à diminuição do tamanho da partícula através da moagem, peneirado para classificar o tamanho desejado e por fim, a secagem em temperatura variando entre 40 a 90 °C. Há alguns autores que, com a finalidade de melhorar a capacidade adsorptiva, modificam sua estrutura com tratamento químico (de Gisi, *et al.*, 2016; de Lima, *et al.*, 2018).

Muitas pesquisas indicam a viabilidade da utilização de adsorventes derivados de materiais biológicos como fungos, bactérias, algas, resíduos agrícolas e industriais. A substituição dos adsorventes comerciais pelos biossorventes se deve pelo baixo custo, evita contaminações posteriores, remediação *in situ* e grande potencial na remoção de fármacos, metais, corantes e outras substâncias orgânicas (Rajapaksha, *et al.*, 2019).

Desse modo, fatores como pH, concentração do adsorvato, tipo de biossorvente, tempo de interação entre a solução inicial e a superfície do biossorvente vão influenciar na eficiência da remoção. O fenômeno da biossorção é independente do metabolismo celular, ou seja, pode ocorrer em seres vivos ou mortos e é um processo relativamente rápido com potencial de reuso através da dessorção da biomassa (Meili, *et al.*, 2019).

## 5. Resultados

Os resultados do levantamento referente ao tema são apresentados na Tabela 2 contendo as informações do trabalho como autor, título, objetivos e resultando, onde há uma discussão sobre os materiais adsorptivos abordados.

**Tabela 2** - Identificação de artigos de carvão ativado proveniente de biomassa e biossorventes na remoção de corantes.

Carvão Ativado			
Autor/Ano	Título	Objetivo	Resultados/Conclusões
Aboua, <i>et al.</i> (2015)	Investigação de adsorção de corante em carvão ativado das cascas da fruta Macoré.	Investigar a capacidade do carvão ativado originado da fruta Macoré para remoção do corante azul de metileno (MB) e laranja de metila (MO). Assim como a realização da cinética e isothermas de adsorção.	Os testes de influência do pH apontaram para soluções ácidas, precisamente definido ao valor 2, quando fora da faixa de pH ideal as porcentagens de remoção diminuem. A faixa de remoção do corante após 10 min são 91,31% e 82,73% para MB e MO, respectivamente. Os modelos cinéticos apontaram para melhor correlação para cinética de pseudo-segunda ordem. Para o estudo de isoterma de adsorção se adequa ao modelo de Langmuir para ambos os adsorvatos. A avaliação termodinâmica indica a adsorção espontânea em altas temperaturas, processo endotérmico e reação favorável.
Peláez-Cid, <i>et al.</i> (2016)	Eliminação de corantes têxteis usando carvões ativados preparados a partir de resíduos vegetais e sua caracterização.	Preparação de carvões ativados a partir de resíduos de casca de figo da Índia (CarTunaQ) caules de brócolis (CarBrocQ) e sementes de sapote branco (CarZapQ), realização de caracterização físico-químicas e avaliação do potencial de adsorção de corantes	Os adsorventes foram ativados com ácido fosfórico e os corantes estudados foram o Índigo Carmine, Solofenil Azul RLE, Azul de metileno e Violeta de Cristal. As propriedades físicas dos carvões indicaram baixa densidade para CarTunaQ e CarBrocQ, enquanto que CarZapQ com alta densidade. O $pH_{pez}$ de todos adsorventes apresentam caráter ácido. O MEV indicou que a morfologia é influenciada pelo material precursor utilizado, onde o carvão de brócolis possui maior quantidade de irregularidades e estrutura granular, o adsorvente de casca de figo exibe protuberâncias, fissuras e cavidades e por fim o carvão de sapote branco mostra formato irregular, com superfícies e bordas afiadas, mas também revela zonas lisas, outras ásperas com fissuras. As áreas superficiais dos três carvões foram superiores ao $1000 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ e presença de mesoporos. As isothermas de adsorção dos 4 corantes obtiveram melhor ajuste ao modelo de Langmuir. As porcentagens de remoção para CarBrocQ (93,98%) são muito semelhantes aos obtidos com o carbono comercial. Com CarTunaQ, porcentagens de remoção variam entre 76 e 99% e o carvão de CarZapQ aponta adsorções de até 85%. A comparação da capacidade. Os máxima de adsorção entre outros tipos de materiais revelou serem superiores, com remoções variando entre $277,8$ a $476,2 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ .
Ahsaine, <i>et al.</i> (2018)	Cationic dyes adsorption onto high surface area "almond shell" activated carbon: Kinetics, equilibrium isotherms and surface statistical modeling	Analisar a remoção dos corantes azul de metileno e cristal violeta com carvão ativado de casca de amêndoa.	A caracterização do carvão ativado através do MEV apresentou poros bem desenvolvidos, com micro e mesoporos. A avaliação dos efeitos do pH revelou um favorecimento na adsorção em soluções básicas, onde para o corante azul de metileno e violeta cristal corresponderam a remoção de 99,99% para pH 8 e 10, respectivamente. A cinética dos processos de reação se adequa ao modelo pseudo-segunda ordem. O estudo de isothermas apontou o modelo de Langmuir para descrever os dados do processo.
Brito, <i>et al.</i> (2018)	Adsorption of the textile dye Dianix® royal blue CC onto carbons obtained from yellow mombin fruit stones and activated with KOH and $\text{H}_3\text{PO}_4$ : kinetics, adsorption equilibrium and thermodynamic studies.	Produção e avaliação de carvão ativado a partir do resíduo agroindustrial, caroço de cajá, para remoção do corante têxtil Dianix® royal blue CC.	Avaliou-se as influencias de agente ativadores distintos na área superficial e porosidade do material. O carvão ativado com ácido fosfórico (CA) apresentou uma estrutura bem definida, com muitas cavidades e diferentes tamanhos de poros, enquanto que o carvão ativado (CB) possui uma superfície regular, homogêneo e com diâmetro de poro menor. O ponto de carga zero de CA foi de 5,7 pela predominância de grupos ácidos de superfície e CB com $pH_{pez}$ de 6,7 sugerindo uma igualdade nos compostos ácidos e básicos. Os estudos cinéticos apontam para o modelo pseudo-segunda ordem para CA e modelo de pseudo-primeira ordem e Elovich para CB. A amostra CB apresenta maior velocidade de reação e atinge o equilíbrio mais rápido, logo atingindo a saturação.
Ferreira, <i>et al.</i> (2018)	Efeito do tempo de contato e massa de carvão ativado do caroço de açaí (1,2mm) na adsorção de corante catiônico.	Investigar a adsorção do corante azul de metileno (AM) utilizando o adsorvente proveniente do caroço de açaí com granulometria de 1,2 mm.	A adsorção analisou a eficiência de remoção baseado nos parâmetros: tempo e peso do carvão ativado. Nos tempos de 10 e 20 minutos foram obtidos os percentuais de remoção de 50% e 81% para peso de 0,2 g. A eficiência máxima corresponde ao tempo de 20 min e peso do CA de 1g. Contudo, analisando o custo-benefício não é viável, pois com 0,4 de massa em 20 min há uma remoção de 82%. De qualquer modo, o carvão ativado utilizando caroço de açaí é viável como adsorvente na adsorção do corante sintético azul de metileno.



Liew, <i>et al.</i> (2018)	Microwave pyrolysis with KOH/NaOH mixture activation: A new approach to produce micro-mesoporous activated carbon for textile dye adsorption.	Investigação da capacidade adsorviva do carvão ativado proveniente de casca de banana na remoção do corante verde de malaquita.	Realizou-se a observação foi referente aos efeitos da substância ativadora, na qual optou pela mistura dos hidróxidos de potássio e sódio para a produção de micro e mesoporos no material. A análise da área de superfície BET revelou a predominância de mesoporos, mas quantidades significativas de microporos. A variação da taxa de impregnação influenciou o desenvolvimento de novos poros e alargou os existentes na interface do adsorvente, consequentemente o aumento da área superficial. Contudo tal fenômeno apresenta um limite que ao excedê-lo pode causar o efeito inverso. Assim como a alta concentração do agente ativador pode causar a destruição dos poros. A cinética de remoção apontou para a eficiência de 90% com corante verde de malaquita.
Silva, <i>et al.</i> (2018)	Produção de carvão ativado a partir da palha de azevém para adsorção de corante têxtil.	Aproveitamento do resíduo agrícola, a palha de azevém, para produção de carvão ativado, sua caracterização e potencial na adsorção de corante presente no efluente têxtil.	O carvão de palha moída é ativado com hidróxido de sódio. Os resultados da caracterização apontaram para teores de carbono fixo, voláteis e cinzas foram de 48%, 17% e 33%. A área superficial específica relaciona o coeficiente (S) de 0,9990, pois quanto maior o valor de S maior a área superficial do sólido poroso, logo influenciando o número de sítios presente no adsorvente. A análise das curvas termogravimétricas revelou a perda de massa menor para o carvão ativado quando comparado com a palha moída. Os ensaios de cinética correspondem ao modelo de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem. Os dados experimentais da isoterma se adequam ao modelo de Sip, com aspecto similar ao tipo L classificando para sistemas sólido-líquido. A porcentagem da eficiência de remoção do corante azul de metileno varia entre 99% e para menor concentração a de 80%.
Silva & Braga, (2018)	Produção de carvão ativado a partir da embaúba ( <i>cecropia</i> sp.) e sua aplicação na adsorção do corante azul de metileno.	Avaliar o potencial do carvão ativado proveniente da embaúba ( <i>Cecropia</i> sp.) na remoção do corante azul de metileno. Comparando a embaúba in natura e carvão ativado quimicamente.	A caracterização dos materiais revelou que o carvão ativado a 700 °C apresentou um teor de umidade acima do aceitável, mas abaixo do valor correspondente ao do material in natura e baixo teor de cinzas. Na cinética de adsorção, em ambos os adsorventes, a velocidade de adsorção diminui rapidamente após a primeira hora, resultando o percentual de 97,38 % para embaúba in natura e de 96,81 % para o carvão ativado. Por outro lado, o carvão ativado obteve capacidade máxima de adsorção de 80,6452 mg. g <sup>-1</sup> , superior ao triplo da capacidade máxima de adsorção de 24,2718 mg. g <sup>-1</sup> da embaúba in natura. Os dados experimentais da isoterma melhor se ajustaram ao modelo de Langmuir.
Morais, <i>et al.</i> (2019)	Produção e desempenho de carvão ativado fisicamente a partir de bambusa vulgaris.	Produção do carvão ativado proveniente de bambusa vulgaris ativando através de vapor d'água (ativação física) e avaliando a capacidade adsorviva do corante têxtil de azul de metileno.	A análise da área superficial (S <sub>BET</sub> ) do carvão ativado de bambu (CAB) indicou alta porosidade, 684,69 m <sup>2</sup> . g <sup>-1</sup> e com mesoporos em sua estrutura. Os testes de pH apontaram o pH <sub>pcz</sub> =7,32 e a presença de grupos ácidos em maior quantidade na interface do material. Os dados experimentais se ajustaram ao modelo de Langmuir. No período de 24 horas de contato com o CAB com corante resultou na remoção de 90,43% de azul de metileno, ainda foi verificado que em 6 horas de reação 50% do corante. Foi realizado uma comparação com outros adsorventes com diferentes tipos de materiais precursores naturais, o CAB obteve resultados superiores ao da casca de buriti, piaçava e sabugo de milho.
Brandão, Queiroz & Silva (2020)	Síntese e caracterização de carvão ativado quimicamente com H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> e NaOH a partir da casca de pequi ( <i>Caryocar brasiliense</i> ).	Analisar o desempenho da adsorção através de uma comparação dos carvões ativados quimicamente com ácido fosfórico e hidróxido de sódio obtidos das cascas de pequi.	Observando os rendimentos conclui-se que o carvão ativado com ácido fosfórico apresenta maior rendimento com 54,40% utilizando a mesma massa. O teor de cinza foi de 5,46% e 9,84% para carvão ativado com hidróxido de sódio e ácido fosfórico, respectivamente. Ambos os carvões apresentaram microporosidade e baixa mesoporosidade. O ponto de carga zero indicou um pH <sub>pcz</sub> = 7,03 e pH <sub>pcz</sub> =2,5 para CA-NaOH e CA-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , logo pressupõe-se que na ativação com ácido fosfórico há maior presença de grupos funcionais ácidos e básicos. A melhor remoção com 86,93% de adsorção do corante azul de metileno corresponde ao carvão ativado com NaOH. Logo, foi escolhido para dar seguimento aos ensaios, com o melhor ajuste da isoterma ao modelo de Langmuir e Freundlich indicando um coeficiente de determinação de R <sup>2</sup> = 0,91. Portanto, o CA-NaOH possui capacidade adsorviva.
Chahinez, <i>et al.</i> (2020)	One-stage preparation of palm petiole-derived biochar: Characterization and application	Investigação do carvão ativado originados dos pecíolos de tamareira perante a remoção do corante violeta cristal.	A caracterização da superfície do carvão indicou a predominância de microporos e área superficial baixa. O ponto de carga zero é igual a 6,55, com a interface carregada positivamente. O tempo de equilíbrio corresponde a 15 minutos de contato, onde a remoção de 93% ocorreu em 5 minutos. O estudo da isoterma se adequou ao modelo de Langmuir e a cinética se ajustou ao modelo de pseudo-primeira ordem. Os dados termodinâmicos indicam um

	for adsorption of crystal violet dye in water		processo espontâneo e endotérmico.
Amran & Zaini (2021)	Valorization of empty fruit-based activated carbons for dyes removal – Activators, isotherm, kinetics and thermodynamics.	Avaliar o desempenho do carvão atizado utilizando a fruta <i>Casuarina</i> preparado por distintos para remoção de azul de metileno e vermelho do congo.	A preparação dos carvões utilizou como agentes ativadores o hidróxido de potássio, cloreto de zinco, carbonato de potássio, ácido fosfórico e hidróxido de sódio. Analisando a área dos materiais apontou para o ensaio com NaOH resulta na superfície porosa e adequada para adsorção, por outro lado a utilização de carbonato de potássio apresentou a menor área, com pequeno volume de poros e estrutura macroporosa. O carvão ativado com KOH apresenta microporos, com H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> promove menor superfície específica e largura do sítio e por fim o material com cloreto de zinco possui mesoporosidade. Todos os ensaios revelaram um caráter básico, com exceção de AC-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> e AC-ZnCl <sub>2</sub> . No estudo de adsorção de equilíbrio para remoção destacam-se AC-KOH e AC-NaOH, condizente com interface do material. Para ambos corantes, a isoterma de Langmuir foi satisfatória e o modelo de pseudo-segunda ordem. Os estudos termodinâmicos indicaram para adsorção de AM um processo de natureza endotérmica, já para o vermelho de congo a reação é exotérmica.
Ji & Li (2021)	High surface area activated carbon derived from chitin for efficient adsorption of Crystal Violet.	Avaliar o carvão a partir de quitina ativado com KOH para remoção de Violeta Cristal	O estudo da área superficial foi realizado em diferentes temperaturas, no qual obtive os melhores resultados na temperatura de 700 °C com a superfície rugosa e predominância de microporos. O efeito do pH na adsorção indicou melhores resultados no pH 10 com remoção de 99%. Os ensaios de cinética de adsorção se adequaram ao modelo de pseudo-segunda ordem e a isoterma que melhor descreveu o processo foi a Langmuir. A capacidade de remoção da monocamada corresponde a 420 mg. g <sup>-1</sup> , superior quando comparada com outras pesquisas. A termodinâmica de adsorção revela o processo endotérmico e com mecanismo de fisissorção.
Medhat, <i>et al.</i> (2021)	Efficiently activated carbons from corn cob for methylene blue adsorption.	Identificar o modo de produção de carvão ativado de resíduos de sabugo de milho com dois tipos de agentes ativadores químicos, o sulfato de amônio e hidróxido de potássio para remoção de azul de metileno.	A análise de área superficial apontou melhores resultados para a amostra ativada com maior proporção de hidróxido de sódio, onde a estrutura apresenta maior quantidade de microporos e em menor proporção de mesoporos. O MEV das amostras relevou que ativação com maiores proporções de sulfato de amônio e hidróxido de potássio possibilitam desenvolver uma morfologia mais adequada para adsorção. O ensaio de avaliação do tempo de contato para o carvão ativado com KOH resultou na remoção de 99,3% e para o sulfato de amônio de aproximadamente 83%. Ambas as amostras apresentaram ao melhor ajuste para o modelo de pseudo-segunda ordem e ao modelo de Langmuir. O estudo de termodinâmica foi realizado somente com o melhor ensaio, ou seja, a maior proporção de hidróxido de potássio determinando uma reação espontânea e endotérmica.
Muniyandi, Gocindaraj & Balji, (2021)	Potential removal of Methylene Blue dye from synthetic textile effluent using activated carbon derived from Palmyra (Palm) shell	Avaliar a remoção do corante Azul de metileno com carvão derivado da casca de Palmyra (PSAC).	O adsorvente é ativado com ácido nítrico para remoção do corante azul de metileno. Os resultados do MEV apontam a presença de meso e microporos do adsorvente. Observou-se os efeitos da concentração inicial no qual a concentração de 55 ppm obteve remoção de 100%, com a quantidade removida de 11 mg. L <sup>-1</sup> . Conforme o aumento da concentração inicial a porcentagem de remoção diminui atingindo o menor valor de 80,37%. Analisando o efeito do tempo de contato foi diretamente proporcional a quantidade de corante removido, com 50 minutos de reação atingiu a máxima porcentagem removida, após este período o comportamento torna-se constante devido a remoção total. A influência do pH revela melhor adsorção em soluções básicas, com melhor resultado no pH 10. As isotermas de adsorção se encaixam nos modelos de Freundlich e Langmuir. Os estudos cinéticos revelam que a adsorção segue a primeira ordem.
Kavitha, <i>et al.</i> (2021)	Dye removal kinetics and adsorption studies of activated carbon derived from the stems of <i>Phyllanthus reticulatus</i> .	Estudo do carvão derivado de hastes de <i>Phyllanthus reticulatus</i> , conhecida como Jean Loius Marie Poirer para remoção do corante laranja 16 reativo (RO 16)	As hastes da planta foram pré-tratadas e ativadas com ácido sulfúrico, posteriormente digerido com uma mistura de ácido fosfórico e ácido nítrico durante 10 minutos e por fim lavado para adsorção. A ativação resultou no aumento da área superficial, com 124,4 m <sup>2</sup> .g <sup>-1</sup> e porosidade. O MEV apontou para vazios evidentes e bem organizados. Nos estudos cinéticos observou-se que a porcentagem de remoção do corante é otimizada em tempo de contato maiores, mas inversamente proporcional com a concentração de RO 16. Avaliou-se a influência da dose de adsorvente, onde

a remoção de corante implica em maior quantidade de sítios ativos, logo a adsorção é facilitada pelo excesso de carvão. A adsorção máxima foi observada em pH ácido (pH 2) promovendo adsorção de moléculas de laranja 16 reativo carregadas negativamente, com eficiência de 85,10%. A isoterma de adsorção indicou remoção e monocamada e se encaixou ao modelo de Langmuir. Os estudos cinéticos obedeceram ao modelo cinético de pseudo-segunda ordem. A análise termodinâmica indica processo espontâneo e exotérmico, causado pela formação de ligações de hidrogênio entre soluto e adsorvente.

da Silva, *et al.* (2021)

Carvão ativado oriundo do mesocarpo do fruto da castanha de caju (*Anacardium occidentale*) na remoção de corante em meio aquoso

Produção do carvão ativado do mesocarpo da Castanha de Caju (*Anacardium occidentale*) no processo de adsorção para remoção de corante no meio aquoso

O resultado do FTIR apontou a presença de grupos funcionais hidroxilas (OH), carboxila (-COOH) e picos responsáveis por éter aromático. O MEV indicou uma morfologia irregular com partículas empilhadas e aglomeradas. O adsorvente apresenta estrutura compacta, com microporos e baixa área superficial em consequência da quantidade em excesso de oxigênio (O), apontado pelo EDS. Porém, o carvão ativado do mesocarpo da castanha de caju revelou uma adsorção eficiente no corante verde malaquita. Quando a concentração corresponde a 100 mg. L<sup>-1</sup> de VM a porcentagem de remoção é igual a 99,2%. Indicando também 99,6% para 120 mg. L<sup>-1</sup>. A partir desse ponto a porcentagem cai para 79,07% e a capacidade de adsorção aumenta de Qe=248 mg. L<sup>-1</sup> para Qe=553,5 mg. L<sup>-1</sup>, podendo ser explicado pelo aumento da concentração inicial do corante, logo, mais espécies distribuídas do adsorvente, influenciando para maior formação de ligações químicas na superfície. O modelo de Langmuir foi o adequado e o ensaio de cinética ajustou-se a difusão intra-partícula com coeficiente de determinação igual R<sup>2</sup>=0,9966.

#### Biossorventes

Chan, *et al.* (2016)

Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies of a new potential biosorbent for the removal of Basic Blue 3 and Congo Red dyes: Pineapple (*Ananas comosus*) plant stem

Estudo da capacidade adsorvente do caule da planta nativa do abacaxi para remoção do corante catiônico (Basic Blue, BB3) e aniônico (Congo Red, CR).

A análise da superfície do adsorvente resultou na predominância de mesoporos, o MEV revela poros em formato de favo de mel. Confirma-se a presença de celulose, hemicelulose, lignina e grupo hidroxila. O pH ideal para remoção de BB3 e CR foi de 10 e 4, respectivamente. O estudo cinético se adequou ao modelo de pseudo-segunda ordem. O modelo isotermo que se ajustou para remoção de BB3 foi o Freundlich, para CR se adequou ao de Langmuir e Temkin. A análise termodinâmica revelou o processo favorável e exotérmico, onde a adsorção BB3 e CR declinaram com o aumento da temperatura. A remoção mostrou-se mais eficiente na adsorção do corante catiônico Basic Blue 3, com 80% de remoção.

Panthania, Sharma & Siddiqui (2016)

Removal of congo red dye from aqueous system using *Phoenix dactylifera* seeds

Avaliação do biossorvente da semente de *Phoenix dactylifera*, conhecida como tâmaras para a remoção do corante vermelho do congo nos efluentes industriais

A caracterização revelou porosidade do material, mas com quantidades significativas de óleos e proteínas, 69%, configurando áreas amorfas. A análise do tempo de contato apontou 120 minutos para o equilíbrio, onde conseguiu remover 76,6% do corante. Nos experimentos para verificar os efeitos do pH constatou-se que em soluções ácidas, igual a 2 obteve-se a adsorção de 84%. O modelo de Langmuir foi o mais adequado e a cinética foi descrita pela modelo de pseudo-segunda ordem. O estudo termodinâmico resultou no processo favorável, espontânea e endotérmico.

Shakoor & Nasar (2016)

Removal of methylene blue dye from artificially contaminated water using *Citrus limetta* peel waste as a very low cost adsorbent

Produção de adsorvente originado do *Citrus limetta*, conhecido como limão doce para remoção do corante azul de metileno.

O MEV revelou a superfície irregular, com tamanhos e formas diferentes. O tempo de equilíbrio é atingindo em 3 horas. A melhor dosagem é de 2 g.L<sup>-1</sup> atingindo a remoção de 97,1%. O pH<sub>pez</sub> igual a 8 se mostrou favorável para adsorção do corante catiônico. A avaliação do tamanho da partícula indicou que em frações menores a remoção é otimizada, tendo como eficiência 98,2%. A cinética indicou o modelo de pseudo-segunda ordem e o estudo de isoterma se adequou ao isoterma de Langmuir. Os parâmetros termodinâmicos apontaram o processo como espontâneo e endotérmico.

Nascimento, <i>et al.</i> (2017)	Biossorção do corante índigo carmim por <i>Pennisetum purpureum</i> Schumach. 1827 (Poales: Poaceae) (Capim elefante).	Investigar a eficiência da remoção do corante índigo utilizando a gramínea, <i>Pennisetum purpureum</i> Schumach 1827 (Poales: Poaceae) (Capim Elefante).	Observa-se que a diminuição do pH afeta a quantidade de sítios carregados positivamente aumenta, favorecendo a remoção de corantes aniônicos. Indica o modelo de Langmuir o mais adequado, com coeficiente de determinação de $R^2 = 0,998$ , logo o mecanismo ocorre em monocamadas. Quanto à capacidade biossorção a remoção atinge 72% do corante índigo. A melhor temperatura trabalhada foi a de 60 °C, pois em temperaturas superiores influenciam na diminuição da capacidade biossortiva. Os testes termodinâmicos indicam processo exotérmico e ocorrência de fisissorção.
Antunes, <i>et al.</i> (2018)	Remoção de corante têxtil utilizando a casca de abacaxi como adsorvente natural.	Avaliação da influência da dose do adsorvente e concentração inicial do adsorvato no processo de remoção de corante.	O percentual de remoção foi de 81% do corante azul de metileno. O aumento da massa influenciou o aumento na eficiência de adsorção, mas diminuiu a capacidade de adsorção. Do mesmo modo, a elevação da concentração inicial do adsorvato implicou na redução de remoção do corante e aumento da capacidade de adsorção unitária. Foi observado que conforme a temperatura aumenta desfavorece a remoção do corante. A quantidade máxima adsorvida foi de 17,12 mg g <sup>-1</sup> e 10,66 mg g <sup>-1</sup> nas temperaturas de 30 e 40 °C. Os dados experimentais se ajustaram ao modelo de isoterma de Freundlich.
Georgin, <i>et al.</i> (2018)	Biosorption of cationic dyes by Pará chestnut husk ( <i>Bertholletia excelsa</i> )	Verificar o potencial da casca de castanha do Pará para remoção de corantes catiônicos (Cristal violeta e azul de metileno)	O biossorvente apresentou o $pH_{pzc}=4,8$ , estrutura completamente amorfa, presença de celulose, lignina e hemicelulose e a superfície de tamanho e formato irregular. A dosagem de 0,5 g. L <sup>-1</sup> foi selecionada devido a observação da diminuição de eficiência no aumento da concentração de adsorvente. A cinética foi explicada pelo modelo de pseudo-primeira ordem e a isoterma se ajustou ao modelo de Freundlich. Proporcionam 90% da cor em efluentes industriais.
de Oliveira, <i>et al.</i> (2018)	Use of grape pomace as a biosorbent for the removal of the Brown KROM KGT dye	Avaliar e caracterizar o biossorvente de bagaço de uva para remoção do corante Brown KROM	A determinação do ponto de carga zero determinou o valor igual a 3, em pH superior a esse valor o biossorvente apresentou carga líquida negativa, o inverso possuía um caráter positivo. O estudo cinético apontou para modelo de pseudo-primeira ordem, atingindo o equilíbrio em 12 horas e com remoção de 93%. A isoterma de Langmuir foi a melhor que se ajustou aos dados, sugerindo que o processo de adsorção ocorre em monocamada. A avaliação termodinâmica determina a reação como favorável e exotérmico.
Rangabhashyam, Lata & Balasubramanian (2018)	Biosorption characteristics of methylene blue and malachite green from simulated wastewater onto <i>Carica papaya</i> wood biosorbent	Avaliação da adsorção de corantes utilizando biossorventes produzido com madeira de <i>Carica papaya</i>	A estrutura do biossorvente apresentou rugosidades, irregularidades, cavidades e poros irregulares. O ponto de carga zero foi próximo de 8, onde favorece a biossorção de corantes catiônicos. A avaliação do efeito da dosagem indicou que o aumento da dose contribuiu para otimização da biossorção atingindo 94,50% para azul de metileno e 96,94% para verde de malaquita. O tempo de equilíbrio foi de 100 e 120 minutos para AM e VM. A cinética de biossorção se ajustou melhor ao modelo de pseudo-segunda ordem e a isoterma de Langmuir se adequou aos dois corantes. Os dados termodinâmicos revelaram o processo espontâneo e endotérmico para ambos.
Stavrinoua; Aggelopouloua & Tssakirogloua (2018)	Exploring the adsorption mechanisms of cationic and anionic dyes onto agricultural waste peels of banana, cucumber and potato: Adsorption kinetics and equilibrium isotherms as a tool.	Análise das cascas de banana (BP), batata (PP) e pepino (CP) como biossorventes para adsorção do corante catiônico (azul de metileno) e aniônico (laranja G).	O resultado da área superficial de todo os três adsorventes foi inferior a 1 m <sup>2</sup> e com ausência de microporos, indicando uma adsorção física limitada. Foi verificado que a quimiossorção é o mecanismo dominante. O pH ideal para o azul de metileno é igual a 6 e para laranja G o pH=2. A isoterma de Langmuir descreveu a biossorção de MB em BP e PP e o modelo de Freundlich se ajustou ao processo de remoção azul de metileno em CP. Já para o corante laranja G as equações de Langmuir tiveram melhores resultados. O modelo de pseudo-primeira ordem e Elovich foram mais eficazes para os materiais estudados. As porcentagens de remoção do MB com base nos efeitos da dose de adsorvente correspondem a 98,5%, 95,6% e 75,7% para BP, PP e CP, respectivamente. Enquanto a eficiência do corante aniônico foi a 74,8%, 59,9% e 44,8% para CP, PP e BP.
Aratújo. <i>et al.</i> (2019)	Estudo cinético da biossorção de corante por fruto de <i>Aiphanes aculeata</i>	Observar o efeito da utilização de um biossorvente derivado de epicarpo de <i>Aiphanes aculeata</i> atuando na biossorção do corante de Laranja Safranina.	O endocarpo do fruto é utilizado como biossorvente. A microscopia eletrônica de varredura apresentou uma grande quantidade de poros assimétricos. Com os estudos abordados nesse trabalho observou-se que a utilização desse biossorvente atuou com remoções de 92,78% a 93,80% em tempos de 1440 e 2880 minutos respectivamente. O derivado de <i>Aiphanes aculeata</i> mostrou uma capacidade de adsorver 51,88 mg de Laranja Safranina para cada grama

			utilizada. O modelo que melhor se ajustou foi o de pseudo-segunda ordem, sugerindo assim que o mecanismo envolvido no processo seja o de quimissorção. Os resultados do presente estudo demonstraram que o biossorbente produzido possui um ótimo desempenho e se mostrou uma boa alternativa no tratamento de efluentes contendo esse tipo de corante.
Beltran, <i>et al.</i> (2020)	Processo de biossorção de corante utilizando casca de tangerina ( <i>Citrus reticulata</i> ).	Avaliar a capacidade adsortiva e a porcentagem de remoção do azul de metileno por ensaios de adsorção em batelada utilizando como biossorbente as cascas da tangerina ( <i>Citrus reticulata</i> ).	A caracterização morfológica mostra que a estrutura se comporta com heterogeneidade com superfícies consideravelmente porosas que favorecem esse processo. Através dos ensaios executados, observou-se que a capacidade de biossorção foi maior com a concentração de 0,4 g. L <sup>-1</sup> de biossorbente e a maior porcentagem de remoção foi com a concentração de 4 g. L <sup>-1</sup> chegando a 97,86 mg g <sup>-1</sup> e 91,81%, respectivamente. A eficiência da casca da tangerina ( <i>Citrus reticulata</i> ) é reforçada com a alta taxa de remoção do azul de metileno sendo maior que 90% e demonstra a viabilidade no tratamento de águas superficiais contaminados com esse corante. O ajuste de pH se mostrou insignificativo no processo de adsorção devido a composição química da casca de tangerina que apresenta afinidade com a estrutura do azul de metileno.
Yamil, <i>et al.</i> (2020)	Powdered biosorbent from pecan pericarp ( <i>Carya illinoensis</i> ) as an efficient material to uptake methyl violet 2B from effluents in batch and column operations.	Investigar a capacidade adsortiva do pericarpo de noz-pecã in natura e em pó e avaliar os parâmetros influentes na remoção do corante MV2B.	A caracterização de ambos biossorbentes através do MEV apresentaram estruturas lamelares, diferentes formas e tamanhos de partículas, por outro lado o material em pó possui mais cavidades, protuberâncias e rachaduras, sendo favoráveis ao processo de biossorção. A análise da área superficial dos materiais resultou em valores baixos. A dose de adsorbente de 0,05 g. 100 mL <sup>-1</sup> corresponde a remoção de 82%, O pH <sub>pcz</sub> foi de 7,5, ou seja, a superfície do biossorbente é negativa em soluções de pH superior. Durante os primeiros cinco minutos a adsorção atingiu 95%, atingindo equilíbrio em 40 minutos. O estudo cinético se adequou ao modelo de ordem geral e a isoterma descrita pelo modelo de Langmuir.
Rigueto, <i>et al.</i> (2020)	Water hyacinth ( <i>Eichhornia crassipes</i> ) roots, an amazon natural waste, as an alternative biosorbent to uptake a reactive textile dye from aqueous solutions.	Estudo da eficácia da raiz do aguapé para remoção do BF – 4B vermelho reativo.	A análise da área superficial do biossorbente foi considerada baixa quando comparada com outros resíduos vegetais, cerca de 8,07 m <sup>2</sup> .g <sup>-1</sup> . O MEV apresenta estrutura na forma de bastonetes fibrosos, superfície irregular e com poros por sua extensão. Através dos estudos cinéticos indicam o tempo de 110 minutos do tempo de equilíbrio, atingindo 95% de remoção do corante. O estudo cinético se adequou aos modelos de segunda ordem e Elovich. A isoterma de adsorção indicou um processo de biossorção favorável e com ajuste ao modelo de Langmuir.
Alessandretti, <i>et al.</i> (2021)	Biossorção do corante vermelho escarlate direto por bagaço de mandioca.	Avaliar a capacidade do biossorbente de bagaço de mandioca na remoção do corante vermelho escarlate.	O bagaço de mandioca apresentou área específica de 3,012 mg g <sup>-1</sup> e com diâmetro de 1,355nm sendo classificado como microporos. As condições ótimas do processo foram pH 2, temperatura de 50 °C e 90 rpm. A cinética apontou para eficiência de 84% em 300 minutos de operação. O processo adsorptivo ocorre através de interações eletrostática, pois os grupos presentes são protonados em meio ácido obtendo carga positiva atraindo moléculas de corante aniônico. Os dados se ajustam ao modelo de Freundlich e a cinética se adequa ao modelo de Elovich e pseudo-segunda ordem, sugerindo que a adsorção ocorre por quimissorção. A capacidade máxima de remoção no mecanismo em monocamada foi estimada pelo modelo de Langmuir com valor de 25,2 mg g <sup>-1</sup> .
de Araújo, <i>et al.</i> (2021)	Estudo cinético da biossorção de vermelho neutro por casca de pinha ( <i>annona squamosa</i> ).	Avaliar a capacidade do biossorbente derivado da casca de pinha ( <i>annona squamosa</i> ) na remoção do corante vermelho neutro da água.	O endocarpo do fruto é utilizado como biossorbente, onde a microscopia eletrônica de varredura apresenta uma interface heterogêneo e rugosidades. Observou-se que a utilização desse biossorbente atuou com remoções de 92,78% a 93,80% em tempos de 1440 e 2880 minutos respectivamente. O modelo que melhor se ajustou foi o de pseudo-segunda ordem, sugerindo que o processo seja o de quimissorção. O biossorbente produzido possui um ótimo desempenho e se mostrou uma boa alternativa no tratamento de efluentes para este corante.

Dos Santos Escobar, *et al.*  
(2021)

Utilization of different parts of  
Moringa oleifera *Lam. seeds* as  
biosorbents to remove Acid Blue  
9 synthetic dye

Verificar a capacidade de biossorção das  
sementes (MOSH) e cascas (MOSP) de  
Moringa oleífera para remoção do corante  
Acid Blue 9 no meio aquoso.

Foram identificados proteínas, carboidratos, lignina, celulose e ácidos graxos. O MOSH apresenta maior área, grande número de poros, irregularidades e diferentes tamanho, enquanto MOSP menor área, cavidades e rugosidades. Quanto a influência do pH verificou que para o adsorvente de semente e casca corresponde ao  $pH_{pez}$  de 3,81 e 6,08, respectivamente. O modelo cinético se adequou ao modelo de Avrami e a isoterma de Liu. A eficiência de remoção atingiu 95%. Os parâmetros termodinâmicos revelaram processos espontâneos, endotérmicos e ocorreram por fisiossorção.

---

Fonte: Autores.



## 6. Discussão

Nos tópicos seguintes, será discutida a relação entre os artigos encontrados. Os tópicos foram divididos de acordo com materiais abordados.

### 6.1 Análise dos resultados das pesquisas sobre carvão ativado

Através da análise da Tabela 2, referente ao carvão ativado, observa-se que as matérias-primas precursoras sofrem transformações estruturais através de processos físicos e químicos com a finalidade de otimizar o potencial adsorptivo. A ativação física, também chamada de gaseificação, consiste na utilização de vapor d'água ou um fluxo adequado de gases oxidantes em altas temperaturas variando de 400 °C a 700 °C. Fato que condiz com o levantamento das literaturas empregando temperatura efetiva para decomposição da matéria orgânica. Enquanto a ativação química envolve a impregnação do adsorvente ao reagente com propriedade ácida, como o  $H_3PO_4$ , HCl e bases, como hidróxido de sódio e hidróxido de potássio, estes com alta capacidade desidratante e influentes na pirólise. Tanto a temperatura quanto os agentes ativantes podem causar a decomposição dos componentes característicos de biomassas vegetais como lignina, celulose e hemicelulose. Tais modificações promovem o desenvolvimento da estrutura básica do carvão (Amran, 2021; Fukutome et al., 2017).

Vale ressaltar que nem sempre os sítios estão disponíveis e podem estar obstruídos, logo, a análise de teor de cinzas, materiais voláteis e umidade são necessárias. Caso haja a ocupação de moléculas de água, como observado em Silva e Braga (2018) e, resíduos de cinza nos poros, encontrado na pesquisa de Brandão, Queiroz e Silva (2020), tais fatores afetam a capacidade de adsorção. Por outro lado, o maior teor de material volátil é fundamental para o desenvolvimento da estrutura porosa, devido à degradação térmica da hemicelulose e da celulose presente no resíduo vegetal como citado anteriormente.

Quanto a caracterização do adsorvente é importante analisar a área superficial, com tamanho, volume e distribuição de poros e os grupos funcionais presentes na superfície do material poroso. Portanto, na maioria dos materiais estudados após ativação revelaram o aumento da área superficial, presença predominante de meso e microporos. Em Liew *et al.* (2018), Brandão, Queiroz e Silva (2020), Amran e Zaini (2021) e Medhat *et al.* (2021) focam nos efeitos da utilização de diferentes agentes ativadores e a comparação entre eles.

O hidróxido de sódio como agente ativador na estrutura do adsorvente atua na liberação de produtos gasosos originando uma abundância de poros no material, além de remover o carbono e auxiliar no aumento das dimensões do sítio, tornando-os locais mais acessíveis para adsorção. O KOH age interferindo e retardando a degradação da celulose que ocasiona o surgimento de microporos, logo o CA apresenta uma superfície específica menor quando compara com NaOH. Por outro lado, pode contribuir para ocorrência da mesoporosidade através do alargamento dos microporos existentes e atinge bons resultados na adsorção de azul de metileno. Tais comportamentos podem ser observados em Amran e Zaini (2021) e Liew *et al.* (2018), no qual este autor se aprofunda sobre os efeitos dos hidróxidos e elabora uma amostra com a mistura dos componentes, onde a interface revela o volume considerável de micro e mesoporos.

A otimização da área superficial pode ocorrer pela variação de temperatura, tempo e proporção do agente. Pois, em temperaturas variando de 700-800 °C o potássio se difunde com maior facilidade no carbono e com NaOH os poros aumentam a ponto de colapsar entre si, causando uma superfície específica mais baixa (Norouzi, *et al.*, 2018).

A ativação do adsorvente com carbonato de potássio se dissemina na estrutura do carbono, limita a formação de alcatrão e intensifica a desidratação. Como resultado em temperaturas de 600 °C há uma superfície menos porosa, somente acima de 700 °C encontra-se o desenvolvimento de poros. O  $H_3PO_4$  dá origem a um material poroso, contudo apresenta desidratação em 300 °C. O cloreto de zinco causa o inchaço da celulose e conseqüentemente a quebra de ligações adjacentes,

revelando o aumento dos vazios para uma superfície específica mais alta, com a presença de mesoporos. Desse modo, quando comparamos o ácido fosfórico com o hidróxido de sódio, os resultados da reação são favoráveis à base (Kang, *et al.*, 2018; Varila, *et al.*, 2017; Saygili & Saygili, 2019).

Grupos funcionais presentes na superfície do carvão são influenciados pelo modo de preparo do carvão, onde as propriedades ácidas são causadas pela existência de carboxilas, lactonas e fenóis tornando o adsorvente mais hidrofílico e diminuindo o pH e o  $pH_{pez}$ . Verifica-se o caráter básico ou neutro com a ocorrência de hidroxilas, carbonilas e éter na interface do sólido poroso. Portanto, os grupos funcionais estão relacionados com a reatividade e as propriedades de adsorção do carvão ativado (Rodrigues, *et al.*, 2020).

Desse modo, os carvões ativados com interface de natureza ácida favorecem a remoção de compostos aniônicos e perante perfil básico ocorre a adsorção de cátions. Observa-se na pesquisa de Ji e Li (2021) que a superfície do carvão ativado apresentou maior quantidade de grupos funcionais ácidos, logo uma interface ácida. Porém, o corante violeta cristal é catiônico, então o primeiro pH adotado (pH=4) não foi favorável e atingindo melhor remoção com pH=10. Segundo Zhang *et al.* (2019) quando o pH é menor que o  $pH_{pez}$ , o adsorvente exibe cargas positivas para adsorver ânions. Em Aboua (2015) a adsorção do corante laranja de metila de caráter aniônico é favorável no pH= 2 atingindo a eficiência de 98% em contraste com a taxa de 56% para pH= 11.

Na maioria dos artigos abordados, os dados experimentais se ajustaram ao modelo de Langmuir, que representa processos de adsorção em sistemas sólido-líquido. O modelo estabelece hipóteses como a da adsorção homogênea, na qual as substâncias adsorvidas não interagem entre si, e forma-se uma monocamada de moléculas do adsorvato na superfície do adsorvente e sítios uniformemente energéticos. Também houve o ajuste no modelo similar, a isoterma de Freundlich, que também é aplicada para representar a adsorção em soluções aquosas. Contudo, defende a inexistência de homogeneidade na superfície do material e assume que a adsorção ocorre em locais na interface energeticamente heterogênea. Como exemplo a pesquisa de Brito *et al.* (2018), Brandão *et al.*, (2020) e Muniyandi *et al.* (2021) que obtiveram o melhor ajuste em ambos os modelos Enquanto para Silva *et al.* (2018) a isoterma Sip foi a mais adequada, onde prevê a heterogeneidade do sistema de adsorção e infere que a reação ocorre em monocamada em uma superfície. O modelo Sip se converte em isoterma de Freundlich em baixas concentrações e se reduz a equação isotérmica de Langmuir em altas concentrações (Dlugosz & Banach, 2018).

Com relação à cinética de adsorção, os artigos selecionados foram testados e analisados utilizando vários modelos cinéticos, porém, o modelo de pseudo-segunda ordem descreveu a maioria dos experimentos. Tal resultado indica que a velocidade de adsorção é controlada pelo mecanismo de quimissorção, no qual é uma reação irreversível e envolve ligações através de transferência de elétrons entre adsorvato e superfície. Além de descrever processos adsorptivos fortes em soluções com baixas concentrações, por outro lado, concentrações mais elevadas podem gerar competições entre as moléculas do soluto (Drweesh, *et al.*, 2016; Silva, 2019).

Para os trabalhos de Silva, *et al.* (2018), Chahinez, *et al.* (2020) e Muniyandi *et al.*, (2021) as cinéticas se ajustaram ao modelo de pseudo-primeira ordem, no qual descreve a reação nos primeiros estágios e descreve a velocidade de adsorção do adsorvato diretamente proporcional a quantidade de sítios livres e descreve o mecanismo de fisissorção. Na pesquisa de de Silva, *et al.* (2021) o melhor ajuste cinético foi de difusão intrapartícula, respectivamente. A cinética da difusão intrapartícula descreve processos no qual a adsorção inicial é rápida e de forma espontânea, seguida de uma fase gradual e posteriormente ocorre a remoção lenta, no qual há uma redução de velocidade conforme a diminuição da concentração e da redução de sítios disponíveis. Em Brito, *et al.* (2018) foi descrito o modelo cinético de Elovich, no qual refere-se ao modelo com bom ajuste para remoção de corantes em soluções aquosas, em sólidos reais e envolvem mecanismos de quimissorção (de Oliveira, *et al.*,

2018; Mohseni-Bandpi *et al.* 2016; Da Silva, *et al.*, 2018).

Observa-se que nos trabalhos de Aboua *et al.* (2015) e Peláez-Cid *et al.* (2016) avaliaram a adsorção competitiva dos corantes empregados e constataram que a porcentagem de remoção diminuiu. Tal fenômeno pode ocorrer devido à saturação dos poros em pouco tempo, onde a capacidade de adsorção é reduzida e a eficiência é comprometida.

## 6.2 Análise dos resultados das pesquisas sobre bioadsorvente

Com a análise dos resultados sobre bioadsorventes observa-se a presença de resíduos agrícolas que em geral contém diferentes tipos de materiais orgânicos, como os lignocelulósicos (celulose, lignina e hemicelulose) e outros compostos funcionais. Tais macromoléculas apresentam hidroxila, carboxila e amina com potencial adsorvativo para corantes através de diferentes mecanismos (de Gisi, 2016).

Através da caracterização do material, nota-se a morfologia heterogênea dos bioadsorventes citados, apresentando características típicas de biomassas lignocelulósicas, como cavidades, rugosidades, estruturas fibrosas e orifícios. Segundo Chang, *et al.* (2016), os mesoporos são adequados para adsorção de grandes moléculas e plano irregular para favorecer a aderência das partículas do corante. Em geral, os materiais biológicos exibem muitos grupos específicos e propriedades diferentes dos poluentes, necessitando de modificação química para aumentar e facilitar o contato do bioadsorvente e adsorvato. Contudo, alguns tratamentos podem resultar na perda da qualidade do bioadsorvente e reduzir a taxa de bioadsorção. Desse modo, é viável a utilização de matéria prima *in natura* que alcança bons resultados sem alterações significativas (Somsesta, *et al.*, 2020; Yaashikaa, *et al.*, 2021).

Diferentemente do carvão, os bioadsorventes selecionados não sofrem alterações de pH com adição de agentes ativantes. Portanto, o processo de bioadsorção baseia-se nas características físico-químicas do bioadsorvente, como por exemplo a presença de grupos funcionais na superfície que promovem a eficiência na remoção das impurezas em recursos hídricos. Os compostos funcionais são influenciados pela solução, pois em pH baixo ocasionam a protonação de grupos funcionais. Tal fenômeno causa a carga positiva na interface do bioadsorvente, dando origem a repulsão eletrostática que impede a adsorção de substâncias catiônicas. Já em pH alto, a repulsão diminuiu, ou seja, favorece a adsorção de poluentes aniônicos (Elgarahy, *et al.*, 2021).

Outro parâmetro para ser analisado é o aumento da dose do adsorvente que eleva o número de sítios disponíveis e em sítios não favoráveis energeticamente que não são ocupados, implicando na diminuição da capacidade máxima de adsorção (Reddy *et al.*, 2016).

Os modelos cinéticos revelaram uma predominância ao modelo de pseudo-segunda ordem, mas, alguns processos de bioadsorção se ajustaram ao modelo de pseudo-primeira ordem e de Avrami. A taxa de variação da adsorção com o tempo é diretamente proporcional a diferença entre a quantidade removida no equilíbrio com a adsorvida no tempo e descrevem o modelo de pseudo-primeira ordem, além de descrever reações em tempos curtos. A relação de Avrami é uma boa opção para processo em multi-etapas e bioadsorções rápidas. As equações de pseudo-segunda ordem supõem que o sistema reacional seja controlado pela adsorção química (quimioadsorção) que envolve o compartilhamento ou transferência de elétrons entre os grupos funcionais do adsorvente e o corante. (dos Santos Escobar, *et al.*, 2021; Chan, *et al.*, 2016).

Com relação às isotermas de adsorção, os artigos presentes têm seu processo mais bem descrito pela isoterma de Freundlich e Langmuir. No qual consiste na adsorção que ocorre em multicamadas, com adsorção não ideal em sítios ativos homogêneos. A veracidade do ajuste é confirmada ao observar a superfície heterogênea dos bioadsorventes citados. Para isoterma de Langmuir, indica bioadsorção com afinidade entre os sítios ativos e as moléculas de adsorvato (Silva, 2018; de Oliveira, *et al.*, 2018; Shooto, *et al.*, 2020).

Com os estudos termodinâmicos, caracterizaram-se a maioria dos processos de adsorção favorável e espontânea devido aos valores negativos de energia de Gibbs, sendo este valor diretamente proporcional, ou seja, quanto mais negativo, mais o processo será favorável. A análise também revelou processos endotérmicos e exotérmicos em virtude dos valores de entalpia. Caso o valor seja negativo aponta para reação exotérmica e o inverso indica natureza endotérmica. A magnitude de  $\Delta H^\circ$  pode ser atribuída ao mecanismo de interação entre o biossorvente/corante, onde a entalpia variando de -4 a 40 kJ mol<sup>-1</sup> caracteriza a fisissorção envolvendo interações de Van der Waals e o intervalo de -40 a -800 kJ mol<sup>-1</sup> é atribuída a quimissorção (Silva, 2019).

Biossorções classificadas como exotérmicas em Chan, *et al.* (2016), do Nascimento, *et al.* (2017) e de Oliveira, *et al.* (2018) revelaram que a eficiência de remoção é influenciada pela temperatura. Escudero, *et al.* (2019) relata que a elevação da temperatura pode causar danos a superfície a biomassa e diminuir as taxas de remoção. Em sistemas no qual adota-se calor para auxiliar na reação, deve levar em conta as energias liberadas durante a processo. Desse modo, a temperatura ideal implica na interação adequada entre a atividade superficial do adsorvente e a energia cinética do adsorvato.

## 7. Considerações Finais

Nesta revisão é possível observar o aproveitamento de materiais que normalmente são descartados se tornando adsorventes alternativos empregados na remoção dos corantes provenientes da indústria têxteis, sendo uma opção ecologicamente vantajosa. Além de apresentar uma eficiência superior ao que havia sido proposto, onde os carvões ativados e biossorventes apresentam remoção variando de 75-90%.

Em ambos os tipos de adsorventes, o conhecimento dos efeitos dos parâmetros como a concentração inicial, pH, temperatura e presença nos grupos funcionais na superfície é fundamental para economia de custo e do tempo, além de aumentar a eficiência.

Observou-se que para algumas matérias-primas é necessário o prévio tratamento físico e químico, originando o carvão ativado com condições mais favoráveis para a adsorção de corantes, como a otimização da estrutura porosa e sua distribuição. Porém, entre as desvantagens estão o custo com reagentes químicos, com a necessidade de lavagem para a retirada do excesso de produto químico originando outro tipo de rejeito. Por outro lado, em relação ao custo/benefício, os biossorventes apresentam grande vantagem que é a utilização dos materiais *in natura*, ou seja, dispensa os processos de ativação. Logo, economiza os gastos com reagentes, energia no aquecimento e tempo. De qualquer modo, os estudos obtiveram remoções ótimas, em vários, superior ao do carvão ativado produzido com a mesma biomassa e o comercial, atingindo remoções acima de 90%.

O tipo de contaminante presente no soluto pode influenciar na escolha entre o carvão ativado e biossorvente. As características texturais do carvão ativado mostraram-se superiores, com área superficial otimizada após tratamento, portanto, moléculas do adsorvato maiores podem não ser adsorvidas na superfície de uma adsorvente com morfologia inferior. Por outro lado, materiais provenientes de resíduos agroindustriais possuem maior capacidade dessortiva, ou seja, podem ser reutilizados mais de uma vez.

Portanto, com o elevado acúmulo de resíduos sem o despejo adequado ocasiona uma elevada poluição ambiental. Desse modo a utilização de materiais que reaproveitem os materiais alternativos é uma ótima opção econômica e viável para solucionar a problemática dos efluentes contaminados.

Como sugestão para trabalhos futuros é interessante uma pesquisa com carvões ativados e biossorventes na remoção de fármacos, visto que também é um dos principais contaminantes de efluentes. Buscando uma metodologia de cinética de

adsorção com condições operacionais semelhantes, como temperatura, concentração de adsorvato e tempo de reação. No qual o objetivo da pesquisa seria avaliar a porcentagem de remoção para indicar o melhor adsorvente. Além de abordar o processo de dessorção para garantir a reutilização do material e minimizar custos.

## Referências

- Aboua, K. N., Yobouet, Y. A., Yao, K. B., Gone, D. L., & Trokourey, A. (2015). Investigation of dye adsorption onto activated carbon from the shells of Macoré fruit. *Journal of Environmental Management*, 156, 10-14. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.03.006>.
- Adeniyi, A. G., Otoikhian, K. S., Ighalo, J. O., & Mohammed, I. A. (2019). Pyrolysis of different fruit peel waste via a thermodynamic model. *ABUAD J Eng Res Dev*, 2, 16-24.
- Ahsaine, H. A., Zbair, M., Anfar, Z., Naciri, Y., El Alem, N., & Ezahri, M. J. M. T. C. (2018). Cationic dyes adsorption onto high surface area 'almond shell' activated carbon: kinetics, equilibrium isotherms and surface statistical modeling. *Materials Today Chemistry*, 8, 121-132. <https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2018.03.004>
- Alessandretti, I., de Jesus, R. R., Guedes, S. F., Loss, R. A., de Paula, J. M., & Geraldi, C. A. Q. (2021). Biossorção do corante vermelho escarlata direto por bagaço de mandioca. *Research, Society and Development*, 10(4), 16510413964-16510413964. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i4.13964>
- Almeida, N. P., & dos Santos, K. G. (2020). Ensino do Laboratório de Engenharia Química baseado em projeto: adsorção de gasolina empregando casca de banana. *Research, Society and Development*, 9(3), e184932716-e184932716. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i3.2716>.
- Amran, F., & Zaini, M. A. A. (2021). Valorization of Casuarina empty fruit-based activated carbons for dyes removal-activators, isotherm, kinetics and thermodynamics. *Surfaces and Interfaces*, 101277. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2021.101277>.
- Antunes, S, E. C. E., Pereira, J. E. S., da Silva Ferreira, R. L., de Medeiros, M. D. F. D., & Neto, E. L. B. (2018). Remoção de corante têxtil utilizando a casca do abacaxi como adsorvente natural. *HOLOS*, 3, 81-97. <https://doi.org/10.15628/holos.2018.5334>.
- De Araújo, L. A., Ghiotto, G. A. V. M., Beltran, L. B., Gomes, R. G., & Bergamasco, R. (2021). Estudo cinético da biossorção de vermelho neutro por casca de pinha (Annona squamosa). *Brazilian Journal of Development*, 7(4), 43317-43326. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n4-680>
- Araújo, L. A. D., Januário, E. F. D., Beltran, L. B., Guerra, A. C. S., Gomes, R. G., & Bergamasco, R. (2019). Estudo cinético da biossorção de corante por fruto de aiphanes aculeata. <http://rdu.unicesumar.edu.br/handle/123456789/3354>
- Azimi, A., Azari, A., Rezakazemi, M., & Ansarpour, M. (2017). Removal of heavy metals from industrial wastewaters: a review. *ChemBioEng Reviews*, 4(1), 37-59. <https://doi.org/10.1002/cben.201600010>.
- Belmabkhout, Y.; Guillerm, V.; Eddaoudi, M. (2016). Low concentration CO<sub>2</sub> capture using physical adsorbents: Are metal-organic frameworks becoming the new benchmark materials? *Chemical Engineering Journal*, v. 296, p. 386-397. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.03.124>.
- Beltran, L. B., Januário, E. F. D., de Araújo, L. A., Souza, A. C., Meloni, C. E. P., Magiero, P. E., & Vieira, A. M. S. (2020). Processo de biossorção de corante utilizando casca de tangerina (Citrus reticulata). *Brazilian Journal of Development*, 6(6), 41760-41771. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n6-641>
- Brandão, A. C. T., Queiroz, V., & Silva, R. G. C. (2020). Síntese e caracterização de carvão ativado quimicamente com H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> e NaOH à partir da casca de pequi (Caryocar brasiliense). *Brazilian Journal of Development*, 6(8), 60945-60962. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-493>.
- Brito, M. J. P., Veloso, C. M., Santos, L. S., Bonomo, R. C. F., & Fontan, R. D. C. I. (2018). Adsorption of the textile dye Dianix® royal blue CC onto carbons obtained from yellow mombin fruit stones and activated with KOH and H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>: kinetics, adsorption equilibrium and thermodynamic studies. *Powder technology*, 339, 334-343. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.08.017>.
- Ceron, L. P. (2019). Verificação da capacidade de adsorção da cinza da casca de arroz em efluente de cromo hexavalente em fluxo contínuo. *Engevista*, 21(1), 114-125. <https://doi.org/10.22409/engevista.v21i1.13296>.
- Chahinez, H. O., Abdelkader, O., Leila, Y., & Tran, H. N. (2020). One-stage preparation of palm petiole-derived biochar: Characterization and application for adsorption of crystal violet dye in water. *Environmental Technology & Innovation*, 19, 100872. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100872>.
- Chan, S. L., Tan, Y. P., Abdullah, A. H., & Ong, S. T. (2016). Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies of a new potential biosorbent for the removal of Basic Blue 3 and Congo Red dyes: Pineapple (Ananas comosus) plant stem. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 61, 306-315. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.01.010>.
- Du, W., Sun, J., Zan, Y., Zhang, Z., Ji, J., Dou, M., & Wang, F. (2017). Biomass-derived nitrogen-doped hierarchically porous carbon networks as efficient adsorbents for phenol removal from wastewater over a wide pH range. *RSC advances*, 7(74), 46629-46635.
- Đługosz, O., & Banach, M. (2018). Kinetic, isotherm and thermodynamic investigations of the adsorption of Ag<sup>+</sup> and Cu<sup>2+</sup> on vermiculite. *Journal of Molecular Liquids*, 258, 295-309. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.03.041>.
- Drweesh, S. A., Fathy, N. A., Wahba, M. A., Hanna, A. A., Akarish, A. I., Elzahany, E. A., & Abou-El-Sherbini, K. S. (2016). Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies of Pb (II) adsorption from aqueous solutions on HCl-treated Egyptian kaolin. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(2), 1674-1684. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.02.005>.



- Elgarahy, A. M., Elwakeel, K. Z., Mohammad, S. H., & Elshoubaky, G. A. (2021). A critical review of biosorption of dyes, heavy metals and metalloids from wastewater as an efficient and green process. *Cleaner Engineering and Technology*, 4, 100209. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100209>.
- Erdem, M., Orhan, R., Şahin, M., & Aydın, E. (2016). Preparation and characterization of a novel activated carbon from vine shoots by ZnCl<sub>2</sub> activation and investigation of its rifampicine removal capability. *Water, Air, & Soil Pollution*, 227(7), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s11270-016-2929-5>.
- Escudero, L. B., Quintas, P. Y., Wuilloud, R. G., & Dotto, G. L. (2019). Recent advances on elemental biosorption. *Environmental Chemistry Letters*, 17(1), 409-427.
- Escudero-Oñate, C., Fiol, N., Poch, J., & Villaescusa, I. (2017). Valorisation of Lignocellulosic Biomass Wastes for the Removal of Metal Ions from Aqueous Streams: A. *Biomass volume estimation and valorization for energy*, 381. <http://dx.doi.org/10.5772/65958>.
- Ferreira, B. D., Silva, V. R., Jacobsem, B. B., Yoshida, M. I., & Sebastiao, R. C. (2017). Estudo cinético de decomposição térmica de espumas rígidas de poliuretano por rede neural artificial. *Química Nova*, 40, 1149-1157. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170128>.
- Ferreira, C. E. C., Mendonça, N. M., Oliveira, D. C. D., Souza, G. D. S. C. D., & Corrêa, M. S. (2018). Efeito do tempo de contato e massa de carvão ativado do caroço de açaí (1, 2mm) na adsorção de corante catiônico. *Ciências ambientais e o desenvolvimento sustentável na Amazônia* 3.
- Fontana, I. B., Peterson, M., & Cechinel, M. A. P. (2018). Application of brewing waste as biosorbent for the removal of metallic ions present in groundwater and surface waters from coal regions. *Journal of environmental chemical engineering*, 6(1), 660-670. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.01.005>.
- Fukutome, A., Kawamoto, H., & Saka, S. (2017). Kinetics and molecular mechanisms for the gas-phase degradation of levoglucosan as a cellulose gasification intermediate. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 124, 666-676. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2016.12.010>.
- Geetha, P., Latha, M. S., & Koshy, M. (2015). Biosorption of malachite green dye from aqueous solution by calcium alginate nanoparticles: equilibrium study. *Journal of Molecular Liquids*, 212, 723-730. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2015.10.035>.
- Georgin, J., Marques, B. S., Peres, E. C., Allasia, D., & Dotto, G. L. (2018). Biosorption of cationic dyes by Pará chestnut husk (*Bertholletia excelsa*). *Water Science and Technology*, 77(6), 1612-1621. <https://doi.org/10.2166/wst.2018.041>.
- De Gisi, S., Lofrano, G., Grassi, M., & Notarnicola, M. (2016). Characteristics and adsorption capacities of low-cost sorbents for wastewater treatment: A review. *Sustainable Materials and Technologies*, 9, 10-40. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2016.06.002>.
- Gomes, P. B., Bianchi, M. L., & Magalhães, F. (2021). Obtenção de carvão ativado a partir do resíduo fuligem de candeia. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 26. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620210002.1265>.
- Gul, E., Alrawashdeh, K. A. B., Masek, O., Skreiberg, Ø., Corona, A., Zampilli, M., Wang, L., Samarasf, P., Yang, Q., Zhou, H., Bartocci, P. & Fantozzi, F. (2021). Production and use of biochar from lignin and lignin-rich residues (such as digestate and olive stones) for wastewater treatment. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 158, 105263. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105263>.
- Gupta, V. K., Carrott, P. J. M., Singh, R., Chaudhary, M., & Kushwaha, S. (2016). Cellulose: a review as natural, modified and activated carbon adsorbent. *Bioresource technology*, 216, 1066-1076. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.05.106>.
- Haque, M. S., Nahar, N., & Sayem, S. M. (2021). Industrial water management and sustainability: Development of SIWP tool for textile industries of Bangladesh. *Water Resources and Industry*, 25, 100145. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2021.100145>.
- Iakovleva, E., Maydannik, P., Ivanova, T. V., Sillanpää, M., Tang, W. Z., Mäkilä, E., ... & Wang, S. (2016). Modified and unmodified low-cost iron-containing solid wastes as adsorbents for efficient removal of As (III) and As (V) from mine water. *Journal of Cleaner Production*, 133, 1095-1104. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.147>.
- Ji, Q., & Li, H. (2021). High surface area activated carbon derived from chitin for efficient adsorption of Crystal Violet. *Diamond and Related Materials*, 118, 108516. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2021.108516>.
- Joshi, N. C. (2017). Heavy metals, conventional methods for heavy metal removal, biosorption and the development of low cost adsorbent. *European Journal of Pharmacy and Medical Research*, 4, 388-393.
- Kang, S., Jiang, S., Peng, Z., Lu, Y., Guo, J., Li, J., ... & Lin, X. (2018). Valorization of humins by phosphoric acid activation for activated carbon production. *Biomass conversion and biorefinery*, 8(4), 889-897. <https://doi.org/10.1007/s13399-018-0329-3>.
- Kausar, A., Iqbal, M., Javed, A., Aftab, K., Bhatti, H. N., & Nouren, S. (2018). Dyes adsorption using clay and modified clay: a review. *Journal of Molecular Liquids*, 256, 395-407. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.02.034>.
- Kavitha, G., Subhapiya, P., Dhanapal, V., Dineshkumar, G., & Venkateswaran, V. (2021). Dye removal kinetics and adsorption studies of activated carbon derived from the stems of *Phyllanthus reticulatus*. *Materials Today: Proceedings*, 45, 7934-7938. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.837>.
- Liew, R. K., Azwar, E., Yek, P. N. Y., Lim, X. Y., Cheng, C. K., Ng, J. H., ... & Lam, S. S. (2018). Microwave pyrolysis with KOH/NaOH mixture activation: a new approach to produce micro-mesoporous activated carbon for textile dye adsorption. *Bioresource technology*, 266, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.06.051>.
- De Lima Mesquita, A., Barrero, N. G., Fiorelli, J., Christoforo, A. L., De Faria, L. J. G., & Lahr, F. A. R. (2018). Eco-particleboard manufactured from chemically treated fibrous vascular tissue of acai (*Euterpe oleracea* Mart.) Fruit: A new alternative for the particleboard industry with its potential application in civil construction and furniture. *Industrial Crops and Products*, 112, 644-651. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.074>.



- Medhat, A., El-Maghrabi, H. H., Abdelghany, A., Menem, N. M. A., Raynaud, P., Moustafa, Y. M., & Nada, A. A. (2021). Efficiently activated carbons from com cob for methylene blue adsorption. *Applied Surface Science Advances*, 3, 100037. <https://doi.org/10.1016/j.apsadv.2020.100037>.
- Meili, L., Lins, P. V., Zanta, C. L. P. S., Soletti, J. I., Ribeiro, L. M. O., Dornelas, C. B., Silva, T. L. & Vieira, M. G. A. (2019). MgAl-LDH/Biochar composites for methylene blue removal by adsorption. *Applied Clay Science*, 168, 11-20. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2018.10.012>.
- Meryemoglu, B., Irmak, S., & Hasanoglu, A. (2016). Production of activated carbon materials from kenaf biomass to be used as catalyst support in aqueous-phase reforming process. *Fuel Processing Technology*, 151, 59-63. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2016.05.040>.
- Mohseni-Bandpi, A., Al-Musawi, T. J., Ghahramani, E., Zarrabi, M., Mohebi, S., & Vahed, S. A. (2016). Improvement of zeolite adsorption capacity for cephalixin by coating with magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles. *Journal of Molecular Liquids*, 218, 615-624. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.02.092>.
- Morais, R. M., Santana, G. M., Lelis, R. C. C., Paes, J. B., Schueler, M. V. E., & Morbeck, F. L. (2019). Produção e desempenho de carvão ativado fisicamente a partir de Bambusa vulgaris. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 39. <https://doi.org/10.4336/2019.pfb.39e201801668>.
- Müller, L. C., Alves, A. A. D. A., Mondardo, R. I., & Sens, M. L. (2019). Adsorção do azul de metileno em serragem de Pinus elliottii (pinus) e Drepanostachyum falcatum (bambu). *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 24, 687-695. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019160344>.
- Muniyandi, M., Govindaraj, P., Balji, B. (2021). Potential removal of Methylene Blue dye from synthetic textile effluent using activated carbon derived from Palmyra (Palm) shell. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.468>.
- Do Nascimento, A. C. C., da Cruz Filho, I. J., de Lima, V. F., do Nascimento Junior, A. J., Marques, O. M., & Gondim, M. V. S. (2017). Biossorção do corante índigo carmin por Pennisetum purpureum Schumacher. 1827 (Poales: Poaceae)(Capim elefante). *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 44-49. <https://doi.org/10.24221/jeap.2.1.2017.1033.44-49>.
- Nascimento, R., Lima, A. C. A., Vidal, C. B., Melo, D. Q., Raulino, G. S. C. (2020). Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais. 2ª Edição. Fortaleza: Imprensa Universitária.
- Norouzi, S., Heidari, M., Alipour, V., Rahmani, O., Fazlzadeh, M., Mohammadi-Moghadam, F., & Dindarloo, K. (2018). Preparation, characterization and Cr (VI) adsorption evaluation of NaOH-activated carbon produced from Date Press Cake; an agro-industrial waste. *Bioresource technology*, 258, 48-56. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.02.106>.
- Okoli, C. (2019). Guia para realizar uma Revisão Sistemática de Literatura. *EAD em Foco*, 9(1). <https://doi.org/10.18264/eadf.v9i1.748>.
- De Oliveira, A. P., Módenes, A. N., Bragião, M. E., Hinterholz, C. L., Trigueros, D. E., & Isabella, G. D. O. (2018). Use of grape pomace as a biosorbent for the removal of the Brown KROM KGT dye. *Bioresource Technology Reports*, 2, 92-99. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2018.05.001>.
- Pathania, D., Sharma, A., & Siddiqi, Z. M. (2016). Removal of congo red dye from aqueous system using Phoenix dactylifera seeds. *Journal of Molecular Liquids*, 219, 359-367. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.03.020>.
- Peláez-Cid, A. A., Herrera-González, A. M., Salazar-Villanueva, M., & Bautista-Hernández, A. (2016). Elimination of textile dyes using activated carbons prepared from vegetable residues and their characterization. *Journal of environmental management*, 181, 269-278. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.06.026>.
- Perrich, J. R. (2018). *Activated carbon adsorption for wastewater treatment*. CRC press.
- Queiroz, M. T. A., de Lima, L. R. P., Alvim, L. B., Leão, M. M. D., & Amorim, C. C. (2016). Gestão de resíduos na indústria têxtil e sua relação com a qualidade da água: estudo de caso. *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*, 8(15), 114-135.
- Rajapaksha, A. U., Premarathna, K. S. D., Gunarathne, V., Ahmed, A., & Vithanage, M. (2019). Sorptive removal of pharmaceutical and personal care products from water and wastewater. In *Pharmaceuticals and Personal Care Products: Waste Management and Treatment Technology* (pp. 213-238). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816189-0.00009-3>.
- Rangabhashiyam, S., Lata, S., & Balasubramanian, P. (2018). Biosorption characteristics of methylene blue and malachite green from simulated wastewater onto Carica papaya wood biosorbent. *Surfaces and Interfaces*, 10, 197-215. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2017.09.011>
- Reddy, P. M. K., Verma, P., & Subrahmanyam, C. (2016). Bio-waste derived adsorbent material for methylene blue adsorption. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 58, 500-508. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2015.07.006>.
- Rigueto, C. V. T., Piccin, J. S., Dettmer, A., Rosseto, M., Dotto, G. L., de Oliveira Schmitz, A. P., & Geraldi, C. A. Q. (2020). Water hyacinth (Eichhornia crassipes) roots, an amazon natural waste, as an alternative biosorbent to uptake a reactive textile dye from aqueous solutions. *Ecological Engineering*, 150, 105817. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105817>
- Rodrigues, D. L. C., Machado, F. M., Osório, A. G., de Azevedo, C. F., Lima, E. C., da Silva, R. S., & Gonçalves, F. M. (2020). Adsorption of amoxicillin onto high surface area-activated carbons based on olive biomass: kinetic and equilibrium studies. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(33), 41394-41404. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09583-6>.
- Sanfeld, A., Royer, C., & Steinchen, A. (2015). Thermodynamic, kinetic and conformational analysis of proteins diffusion-sorption on a solid surface. *Advances in colloid and interface science*, 222, 639-660. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2014.10.006>.
- Samsami, S., Mohamadizani, M., Sarrafzadeh, M. H., Rene, E. R., & Firoozbahr, M. (2020). Recent advances in the treatment of dye-containing wastewater from textile industries: Overview and perspectives. *Process safety and environmental protection*, 143, 138-163.

- Saygılı, H., & Saygılı, G. A. (2019). Optimized preparation for bimodal porous carbon from lentil processing waste by microwave-assisted K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> activation: spectroscopic characterization and dye decolorization activity. *Journal of cleaner production*, 226, 968-976. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.121>.
- Dos Santos Escobar, O., de Azevedo, C. F., Swarowsky, A., Adebayo, M. A., Netto, M. S., & Machado, F. M. (2021). Utilization of different parts of Moringa oleifera Lam. seeds as biosorbents to remove Acid Blue 9 synthetic dye. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 105553. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105553>.
- Shakoor, S., & Nasar, A. (2016). Removal of methylene blue dye from artificially contaminated water using citrus limetta peel waste as a very low cost adsorbent. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 66, 154-163. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.06.009>.
- Siddique, K., Rizwan, M., Shahid, M. J., Ali, S., Ahmad, R., & Rizvi, H. (2017). Textile wastewater treatment options: a critical review. *Enhancing cleanup of environmental pollutants*, 183-207. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-55423-5\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-55423-5_6).
- Silva, E., de Araujo, E. B., Andrade, T. D., de Almeida, A. R. F., & Zottis, R. (2018). Produção de carvão ativado a partir da palha de azevém para adsorção de corante têxtil. *Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp*, 194-208.
- Silva, F., Nascimento, L., Brito, M., da Silva, K., Paschoal, W., & Fujiyama, R. (2019). Biosorption of methylene blue dye using natural biosorbents made from weeds. *Materials*, 12(15), 2486. <https://doi.org/10.3390/ma12152486>.
- Silva, J., & Braga, N. (2018). Produção de carvão ativado a partir da embaúba (cecropia sp.) e sua aplicação na adsorção do corante azul de metileno. XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Química. <https://doi.org/10.5151/cobeq2018-PT.0441>.
- Da Silva, J. P. S., Barral, A. V. S., Azevedo, L. E. C., Oliveira, T. S., de Sousa, A. A. O., Nobre, J. R. C., & Sousa, V. C. (2021). Carvão ativado oriundo do mesocarpo do fruto da castanha de caju (Anacardium occidentale) na remoção de corante em meio aquoso. *Research, Society and Development*, 10(3), 21710313221-21710313221. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i3.13221>.
- Da Silva, W. L. L., & Simoni, J. D. A. (2018). Estudo termodinâmico da adsorção de cobre (II) em montmorilonita organicamente modificada. *Cerâmica*, 64, 403-412. <https://doi.org/10.1590/0366-69132018643712395>.
- Shooto, N. D., Thabede, P. M., Bhila, B., Moloto, H., & Naidoo, E. B. (2020). Lead ions and methylene blue dye removal from aqueous solution by mucuna beans (velvet beans) adsorbents. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(2), 103557. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103557>.
- Souza, N. B. A., Bitencourt, D. D. S. L., da Rosa, G. S., & de Almeida, A. R. F. (2021). Produção de carvão ativado a partir do resíduo da casca da acácia negra para adsorção de nimesulida. *Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp*, 17, 173-186.
- Somsesta, N., Sricharoenchaikul, V., & Aht-Ong, D. (2020). Adsorption removal of methylene blue onto activated carbon/cellulose biocomposite films: Equilibrium and kinetic studies. *Materials Chemistry and Physics*, 240, 122221. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.122221>.
- Stavrinou, A., Aggelopoulos, C. A., & Tsakiroglou, C. D. (2018). Exploring the adsorption mechanisms of cationic and anionic dyes onto agricultural waste peels of banana, cucumber and potato: adsorption kinetics and equilibrium isotherms as a tool. *Journal of environmental chemical engineering*, 6(6), 6958-6970. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.10.063>.
- Tan, X., Liu, Y., Gu, Y., Zeng, G., Wang, X., Hu, X., & Yang, Z. (2015). Immobilization of Cd (II) in acid soil amended with different biochars with a long term of incubation. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(16), 12597-12604. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4523-6>.
- Tien, C. (2018). *Introduction to adsorption: Basics, analysis, and applications*. Elsevier.
- Tran, H. N., You, S. J., & Chao, H. P. (2016). Thermodynamic parameters of cadmium adsorption onto orange peel calculated from various methods: A comparison study. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(3), 2671-2682. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.05.009>.
- Van Dinter, R., Tekinerdogan, B., & Catal, C. (2021). Automation of systematic literature reviews: A systematic literature review. *Information and Software Technology*, 106589. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2021.106589>.
- Varila, T., Bergna, D., Lahti, R., Romar, H., Hu, T., & Lassi, U. (2017). Activated carbon production from peat using ZnCl<sub>2</sub>: Characterization and applications. *BioResources*, 12(4), 8078-8092.
- Yaashikaa, P. R., Kumar, P. S., Saravanan, A., & Vo, D. V. N. (2021). Advances in biosorbents for removal of environmental pollutants: A review on pretreatment, removal mechanism and future outlook. *Journal of Hazardous Materials*, 420, 126596. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126596>.
- Yamil, L. D. O., Georjgin, J., Franco, D. S., Netto, M. S., Grassi, P., Piccilli, D. G., & Dotto, G. L. (2020). Powdered biosorbent from pecan pericarp (Carya illinoensis) as an efficient material to uptake methyl violet 2B from effluents in batch and column operations. *Advanced Powder Technology*, 31(7), 2843-2852. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2020.05.004>.
- Zhang, W. Q., Sui, X., Yu, B., Shen, Y. Q., & Cong, H. L. (2019). Preparation of high specific surface area and high adsorptive activated carbon by KOH activation. *Integrated ferroelectrics*, 199(1), 22-29. <https://doi.org/10.1080/10584587.2019.159259>.