



SÍNTESE DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DE CASCAS DE AMENDOIM PARA A ADSORÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO

Ana Luiza Soldá¹
 Felipe de M. Pinheiro^{1*}
 Gisele J. da Fonseca¹
 Gisle de O. Alves¹

Orientadora: Márcia F. da Silva
 Coorientadoras: Thais T. dos Santos e Aline A. Ramos

RESUMO

As indústrias têxteis, devido ao aumento de sua produção, muitas vezes são associadas a impactos ambientais relacionados ao uso de corantes, sobretudo a contaminação da água por efluentes industriais, ocasionando na eutrofização do meio aquoso. Se ações não forem tomadas, com o passar do tempo, o ambiente será prejudicado fazendo-se necessárias medidas que tratem e busquem atingir os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Dentre inúmeros processos de tratamento, a adsorção tem se mostrado um grande destaque, com ênfase ao carvão ativado. Para produção desse adsorvente, utilizam-se materiais com alto teor de carbono e baixo teor de cinzas, sendo uma opção favorável a utilização de cascas de amendoim, resíduo de expressão no Brasil, uma vez que o país é o quinto maior produtor em escala global desta leguminosa, com seu consumo impulsionado pela cultura local, como festas juninas. Este trabalho tem como objetivo produzir um carvão ativado a partir das cascas de amendoim, com a parceria em doação das cascas, avaliando seu potencial como adsorvente. Primeiramente, as cascas foram lavadas com água destilada, secas e peneiradas. O material foi impregnado com H_3PO_4 85%, com secagem na estufa. Em seguida, foi levado à mufla em rampa de aquecimento. O carvão ativado apresentou rendimento médio de 73,2%. O processo adsorvente consistiu no preparo de soluções contaminantes de 100 mg/L do corante azul de metileno, mantidas em agitação magnética com o carvão ativado em 1 g/L. Após 45 minutos, as soluções foram lidas em espectrofotômetro UV-Vis em 666 nm e as concentrações remanescentes de azul de metileno foram determinadas. A remoção de azul de metileno foi 99,37% e a capacidade adsorvente do carvão foi de 99,75 mg/g. Dessa forma, os processos de produção do carvão ativado a partir das cascas de amendoim e posterior remoção do azul de metileno da água por adsorção foram bem-sucedidos. O percentual de adsorção adquirido demonstrou um alto grau de eficiência do carvão ativado, atendendo aos objetivos definidos, e também se mostra favorável a possíveis aplicações em grandes escalas, como em filtros, capacitando o produto a cumprir as ODS 6, 8, 9 e 14.

Palavras-chave: Adsorção. Amendoim. Azul de metileno. Carvão ativado. Corantes têxteis.

ABSTRACT

Textile industries, due to the increase in their production, are often associated with environmental impacts related to the use of dyes, especially water contamination by industrial effluents, causing eutrophication of the aqueous environment. If actions are not taken over time, the environment will be harmed, making necessary measures that address and seek to achieve the Sustainable Development Goals (SDGs). Among

¹ Curso Técnico em Química – ETEC Irmã Agostina
 Av. Feliciano Correa s/n – Jardim Satélite - CEP 04815-240 - São Paulo – Brasil
 * fmorais.pinheiro@gmail.com

Recebido em: 01/12/2022

Apresentado à banca em: 08/12/2022

numerous treatment processes, adsorption has been a great highlight, with emphasis on activated carbon. To produce this adsorbent, materials with a high carbon content and low ash content are used, with a favorable option being the use of peanut shells, a popular residue in Brazil, since the country is the fifth largest producer on a global scale. of this legume, with its consumption driven by local culture, such as June festivals. This work aims to produce activated carbon from peanut shells, with the partnership in donating the shells, evaluating its potential as an adsorbent. First, the shells were washed with distilled water, dried and sieved. The material was impregnated with 85% H₃PO₄, dried in the oven. It was then taken to the muffle on a heating ramp. Activated carbon showed an average yield of 73,2%. The adsorptive process consisted of preparing contaminating solutions of 100 mg/L of methylene blue dye, maintained under magnetic stirring with activated carbon at 1 g/L. After 45 minutes, the solutions were read on a UV-Vis spectrophotometer at 666 nm and the remaining concentrations of methylene blue were determined. The removal of methylene blue was 99,37% and the adsorptive capacity of the charcoal was 99,75 mg/g. In this way, the processes of producing activated carbon from peanut shells and subsequently removing methylene blue from water by adsorption were successful. The adsorption percentage acquired demonstrated a high degree of activated carbon efficiency, meeting the defined objectives, and is also favorable for possible applications on large scales, such as in filters, enabling the product to comply with ODS 6, 8, 9 and 14.

Keywords: Adsorption. Peanut. Methylene blue. Activated charcoal. Textile dyes.

1 INTRODUÇÃO

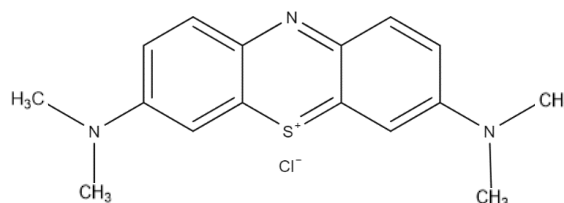
A crescente industrialização da cadeia produtiva vem recebendo destaque no cenário da economia brasileira, no entanto, é importante notar que este setor também é responsável por um significativo volume de efluentes (líquidos, sólidos e gasosos) e por consequência surge uma necessidade iminente de buscar soluções sustentáveis capazes de reverter o impacto causado por esses efluentes (SOUZA; ROSADO, 2009).

Um dos principais desafios enfrentados pela indústria têxtil reside na remoção de corantes sintéticos. Dentre os resíduos industriais, os efluentes que possuem corantes provenientes das indústrias são um dos mais difíceis de serem tratados, pois possuem origem sintética e estrutura aromática complexa, tornando-os produtos estáveis e de difícil degradação física, química e biológica. Estima-se que aproximadamente 20% das 20 toneladas anuais de corantes consumidos pela indústria têxtil sejam descartadas nos efluentes. Isso ocorre principalmente devido à fixação incompleta do corante à fibra do tecido durante o processo de tingimento (DÚRAN *et al.*, 2002; DALLAGO; OLIVEIRA; SMANIOTTO, 2005).

Entre os corantes de maior aplicabilidade, destaca-se a classe dos reativos, que se caracterizam por apresentar em sua estrutura um ou mais grupamentos –N=N– ligados a sistemas aromáticos, conferindo-lhes maior estabilidade química (KUNZ *et al.*, 2002). Nesta classe se encontra o azul de metileno, representado na Figura 1, um corante catiônico muito empregado na indústria têxtil no tingimento de tecidos de algodões e lãs, porém, quando não tratado de forma adequada, o lançamento não controlado em rios e lagos afeta não só a transparência das águas mas também limita a passagem de radiação solar,

diminuindo a atividade fotossintética natural e provocando alterações na biota aquática, o que origina a toxicidade aguda e crônica desses ecossistemas (DÚRAN *et al.*, 2002; OLIVEIRA; SILVA, 2012). Torna-se, portanto, indispensável a busca por métodos de tratamento de efluentes derivados das indústrias têxteis.

Figura 1: Estrutura do azul de metileno.



Dentre eles vem ganhando enorme destaque procedimentos adsorptivos. A adsorção é um fenômeno físico-químico de transferência de massa de um fluido (adsorvato) para a superfície de uma fase sólida (adsorbente), sendo considerada uma das técnicas mais eficientes na remoção de contaminantes em meios aquosos em decorrência de seu caráter flexível, simples, insensível a compostos tóxicos e possibilidade de reutilização da água após tratamento adequado. O adsorbente é limitado a um sólido poroso, uma vez que sua interação com o adsorvato ocorre em seu exterior e, quanto maior sua área superficial por unidade de massa sólida, maior é a eficiência do processo adsorptivo. (COSTA; FURMANSKI; DOMINGUINI, 2015; NASCIMENTO *et al.*, 2020).

Dessa forma esta etapa pode ocorrer por quimissorção ou fisissorção. Na quimissorção, ocorrem reações químicas entre as fases, havendo uma interação específica entre as moléculas do

adsorvato com os sítios ativos da superfície do adsorvente; é um processo irreversível. A fisissorção, por sua vez, ocorre por forças fracas (como a de van der Waals), não específica, pois a interação ocorre em toda a superfície; é reversível e pouco energético. Devido às condições para que ocorra, a fisissorção é mais utilizada no tratamento de água (CRITTENDEN *et al.*, 2012; SCHIFFINO, 2005; TEIXEIRA, 2020).

Dentre muitos adsorventes utilizados, um dos principais é o carvão ativado, um material com alto teor de carbono que apresenta estrutura porosa interna desenvolvida, alta área superficial e um grande volume de poros. Existem dois tipos de carvão ativado, o CAP (carvão ativado em pó) e o CAG (carvão ativado granular) (GONZALEZ; CID, 2005; LOUREIRO, 2012).

A produção do carvão consiste basicamente em 2 processos: pirólise e ativação. Na pirólise ocorre a carbonização do material, onde são retirados compostos indesejados, como oxigênio e hidrogênio (DIAS, 2007; MANGUEIRA, 2014). Já na ativação a alta porosidade do material e a sua área superficial são desenvolvidas através da reação com agentes desidratantes, caso seja feita a ativação química, ou agentes oxidantes, caso seja feita a ativação física (NUNES, 2014; PÉSSOA, 2017).

Os poros podem ser classificados de acordo com seu formato, que pode ser cônico ou cilíndrico. De acordo com a União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC, 1982), os poros também podem ser classificados de acordo com seus diâmetros, podendo ser microporos, quando têm diâmetro de 2 nanômetros, mesoporos, quando são maiores que 2 nanômetros e menores que 50, e macroporos, quando são maiores que 50 nanômetros (SOARES, 1998).

Para a produção dos carvões ativados, recomenda-se o uso de matérias primas com alto teor de carbono e baixo teor de cinzas. Dentre diversas possibilidades, o amendoim ganha certa notoriedade por ser uma das principais leguminosas e oleaginosas cultivadas no Brasil, possuindo relevância global devido suas propriedades nutritivas, sendo uma importante fonte de proteína vegetal e vitaminas A, B e E. (BARROS; JARDINE, 2021).

Como indicado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2022), a produção brasileira de amendoim esperada nos anos de 2021 e 2022 foi de 746,7 mil toneladas. São Paulo é o estado que mais produz amendoim no Brasil, simbolizando 88% do valor obtido no ano de 2020, isto posto, uma de suas principais culturas, com o aumento de produção significativo ao passar dos anos (FIESP, 2021).

Com este cultivo ascendente, os descartes dos resíduos sólidos industriais também se intensificaram, portanto, segundo Dalpian e

Albuquerque (2019), essa questão merece reconhecimento, com a criação de propostas que abrangem as impurezas vegetais e minerais do amendoim, agregando-lhes valor, diminuindo assim, seu descarte irresponsável como também evitando perda de lucro dos produtores por parte de taxações feitas por empresas processadoras de amendoim.

Desta forma, medidas político-econômicas e socioambientais, como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), devem serem atingidos com o fim de assegurar a prosperidade entre o ser humano e a natureza. Dentre as ODS, a 8 e 9 tange a promoção de um crescimento econômico sustentável, por meio de infraestruturas resilientes e inclusivas, auxiliando na problemática das culturas de amendoim em território nacional (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2023).

Além do mais, conforme estabelecido pelas ODS 6 e 14, até o ano de 2030 a água deve ser de acesso universal, equitativo e segura para todos, assegurando, ademais, a conservação dos recursos marinhos (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2023).

Por conseguinte, o presente trabalho tem como objetivo sintetizar e analisar as capacidades adsorptivas do carvão ativado feito à base de casca de amendoim, frente efluentes contaminados por azul de metileno, conciliando o crescente desenvolvimento do mercado agrícola e a redução de seus impactos ambientais, por meio de uma geração mais ambiental da economia.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Produzir um carvão ativado a partir de cascas de amendoim (resíduo agroindustrial) para adsorção do corante azul de metileno.

2.2 Objetivos específicos

- Produzir o carvão ativado por ativação química com H_3PO_4 ;
- Determinar o ponto de carga zero do carvão;
- Realizar os ensaios de adsorção;
- Avaliar a efetividade do adsorvente de acordo com o percentual de remoção e a capacidade adsorptiva.

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais

Os reagentes utilizados para realização dos procedimentos, suas purezas e fornecedores estão descritos a seguir: H_3PO_4 85% (Synth); HNO_3 P.A.

(Neon); NaOH P.A. (Dinâmica); NaNO₃ P.A. (Synth); NaHCO₃ P.A. (Dinâmica) e AM 99,5% (Synth).

Os equipamentos utilizados, bem como suas especificações de modelo e marca, são: balança analítica (AG-200/GEHAKA), estufa (MT513-i/NOVATECNICA); mufla (ZEZIMAQ); liquidificador (PH-900/PHILCO); espectrofotômetro UV/Visível (NI-1600UV/NOVA), centrífuga (80-2B/IONLAB), agitador magnético (KASVI) e pHmetro (PG-1800/GEHAKA).

3.2 Métodos

3.2.1 Tratamento das cascas de amendoim

As cascas de amendoim fornecidas foram separadas manualmente de possíveis resíduos de grande escala. As cascas foram lavadas em água corrente abundante, seguida de lavagem com água destilada e secagem em estufa a 105°C por 24h. O material foi triturado e peneirado para a obtenção de partículas finas.

3.2.2 Síntese do carvão ativado

Para a obtenção do carvão ativado, pesou-se aproximadamente 30 g do material peneirado, que foi ativado quimicamente com solução de H₃PO₄ 85% na razão de 1:1,5 (massa do precursor/massa de ativante). A mistura foi homogeneizada manualmente por 15 minutos e foi levada à estufa a 105°C por 24h para impregnação. Em seguida, a mistura foi levada à mufla em 150°C por (30 min), 250°C (30 min) e 350°C (1h), obtendo-se, assim, o carvão ativado.

Após carbonização, o carvão ativado foi lavado com solução de NaHCO₃ 2,5% até obtenção de neutralidade (pH 6,5 – 7,0 medido em água pós-filtração). O material foi seco em estufa a 105°C por 24h, macerado e pesado para determinação do rendimento de produção, de acordo com a Equação 1.

$$R_c = \frac{m_c}{m_a} \cdot 100 \quad (1)$$

Na qual: Rc é o rendimento (%), m_c é a massa de carvão (g) e m_a é a massa de cascas de amendoim (g).

Preparou-se, seguindo os mesmos procedimentos, um lote piloto e outros três lotes (1, 2 e 3) do carvão ativado, que, após síntese, foram armazenados para utilização nos ensaios de adsorção e no teste de caracterização.

3.2.3 Determinação do Ponto de Carga Zero (PCZ)

Em 6 tubos de fajans com tampa, foram adicionados 10 mL de solução de NaNO₃ 0,1 mol/L.

As soluções tiveram seus pH ajustados para 1, 2, 4, 6, 9 e 11 com soluções concentradas de NaOH e HNO₃. Em seguida, adicionou-se 10 mg do carvão ativado em cada tubo. As suspensões foram mantidas em repouso com agitação periódica. Após tempo de contato, os pH das soluções foram medidos novamente.

3.2.4 Construção da curva analítica do azul de metileno

Para construção do espectro de absorvância do azul de metileno, realizou-se uma varredura de absorvância na região do visível (400 – 700 nm) para detectar seu pico máximo de absorção, utilizando o padrão de concentração intermediária (4 mg/L).

Foram preparadas soluções de diferentes concentrações a partir de uma solução estoque de azul de metileno a 100 mg/L, como ilustra a Figura 2. Foram determinadas as absorvâncias nas concentrações de 0,25; 0,75; 1,0; 1,25; 1,75; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0 e 10,0 mg/L em espectrofotômetro UV/Visível.

Figura 2: Soluções padrão de azul de metileno.



3.2.5 Ensaios de adsorção

3.2.5.1 Lote piloto

O ensaio de adsorção realizado com o lote piloto teve como objetivo determinar os parâmetros experimentais de maior eficiência adsorptiva. Dessa forma, especificou-se parâmetros fixos: concentração de azul de metileno (100 mg/L), volume (50 mL) e massa de adsorvente (50 mg); e parâmetros variáveis: pH (4, 7 e 10) e tempo de contato (15, 25, 35 e 45 minutos).

A concentração remanescente de azul de metileno foi detectada em espectrofotômetro UV-Visível e o percentual de remoção foi determinado de acordo com a Equação 2.

$$\%_{\text{removido}} = \frac{C_o - C_e}{C_o} \cdot 100 \quad (2)$$

Nas quais: C_o é a concentração inicial do adsorvato (mg/L) e C_e é a concentração de adsorvato no equilíbrio (mg/L).

3.2.5.2 Lotes 1, 2 e 3

Preparou-se 50 mL de uma solução contaminante de 100 mg/L de azul de metileno. A solução foi mantida em agitação magnética por 45 minutos em contato com carvão ativado em 1 g/L. A concentração remanescente de azul de metileno foi determinada por espectrofotômetro UV-Visível e calculou-se o percentual de remoção e a capacidade adsorptiva dos carvões, de acordo com a Equação 3. Os ensaios foram realizados em quadruplicata para cada lote.

$$q = \frac{C_o - C_e \cdot V}{m} \quad (3)$$

Nas quais: q é a capacidade de adsorção do adsorvente (mg/g), V é o volume de solução (L) e m é a massa de adsorvente (g).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Carvão ativado

Após síntese, o carvão produzido foi pesado para cálculo do rendimento, de acordo com a Equação 1. Os resultados estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1: Rendimento (%) da produção de carvão quimicamente ativado.

| LOTES | m_a (g) | m_c (g) | Rendimento (%) |
|-------|-----------|--------------|----------------|
| 1 | 30,0 | 21,7 | 72,3 |
| 2 | 30,0 | 21,0 | 70,0 |
| 3 | 30,0 | 23,2 | 77,3 |
| | | Média | 73,2 |

De acordo com procedimento descrito por Sousa *et al.* (2018), o rendimento do carvão produzido a partir das cascas de amendoim em mesmas proporções de ativante/precursor obtiveram rendimento médio de 44,55%, com carbonização a 500°C. Dessa forma, tendo em vista que temperaturas elevadas no processo de carbonização podem influenciar a diminuição do rendimento (e decorrente aumento do custo de produção), acredita-se que a escolha de reduzir a temperatura máxima de carbonização para 350°C pode ter sido um fator determinante para o alto rendimento encontrado (TAN *et al.*, 2017).

Ainda, sobre a produção do carvão, cabe ressaltar que o tamanho das partículas do pó das cascas de amendoim influenciou significativamente em seu aspecto final. Cascas peneiradas com partículas de até 1 mm produziam um material precursor mais denso, que ao ser misturado com o ativante adquiriram um aspecto molhado, que persistiu no carvão, sendo assim descartado. Assim, a padronização de um pó fino e homogêneo (de até 0,4 mm), conforme a Figura 3, garantiu que o aspecto final do carvão fosse seco, escuro e leve, apresentado na Figura 4.

Figura 3: Aspecto das cascas de amendoim após trituração e peneiração.



Figura 4: Aspecto do carvão ativado.

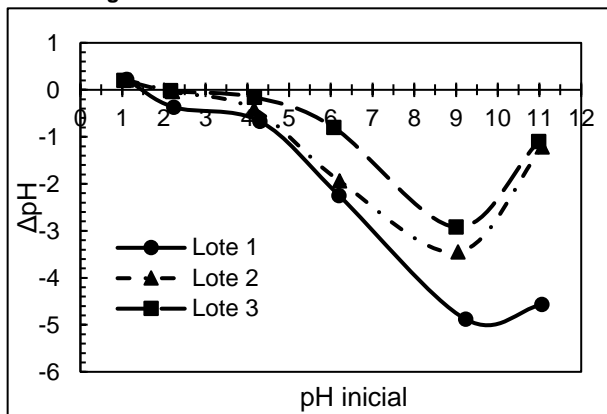


4.2 Ponto de Carga Zero (PCZ)

O Ponto de Carga Zero (PCZ) é determinado como o pH de menor variação após o sistema adsorptivo atingir o equilíbrio, por conseguinte, indica o pH no qual a superfície do carvão tem comportamento neutro, isto é, é capaz de adsorver moléculas de caráter aniônico e catiônico na mesma proporção. Nas caracterizações, o PCZ médio encontrado foi de 1,85.

As relações do pH para com o PCZ revelam a capacidade de atração dos diferentes íons quanto a superfície do adsorvente. Quando o pH do sistema adsorptivo é superior ao ponto de carga zero, a superfície do carvão se torna carregada negativamente, sendo capaz de adsorver cátions em maior quantidade e vice-versa. Assim, quaisquer pH > 1,85 utilizados nos ensaios de adsorção do azul de metileno seriam eficazes para a adsorção deste corante pelo carvão ativado desenvolvido. A Figura 5 correlaciona os dados obtidos no teste de caracterização do ponto de carga zero.

Figura 5: Curvas de PCZ dos lotes dos carvões.



Assumindo a diferença de potencial de cargas entre adsorvente e adsorvato, quanto maior for a variação de pH, representado pelo eixo da ordenada, mais elevada é a taxa de adsorção significativa para cada lote, designados em ordem crescente pelos lotes 3, 2 e 1, respectivamente. Por outro lado, o eixo da abcissa simboliza a faixa de potencial hidrogeniônico mais adequada para remoção de cátions, sendo do lote 1 próximo de pH 10 e dos lotes 2 e 3 aproximadamente em pH 9. Depreende-se que o carvão ativado sintetizado é propício para adsorção de íons carregados positivamente, principalmente em meios alcalinos entre pH 9 e 10, demonstrando eficácia na remoção de corantes como o azul de metileno.

4.3 Construção da curva analítica

Após varredura de absorvância realizada na região do visível por espectrofotômetro UV-Vis, verificou-se que o comprimento máximo de absorção do azul de metileno era de 666 nm, apresentada na Figura 6, sendo utilizado posteriormente na construção da curva analítica, expressa na Figura 7, e nos ensaios de adsorção.

Figura 6: Recorte do espectro de absorção do azul de metileno na faixa de 600 a 680 nm.

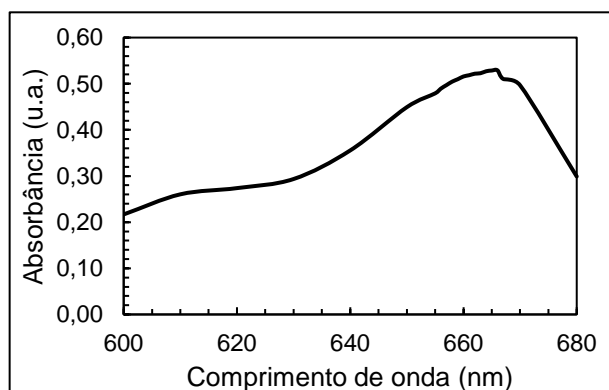
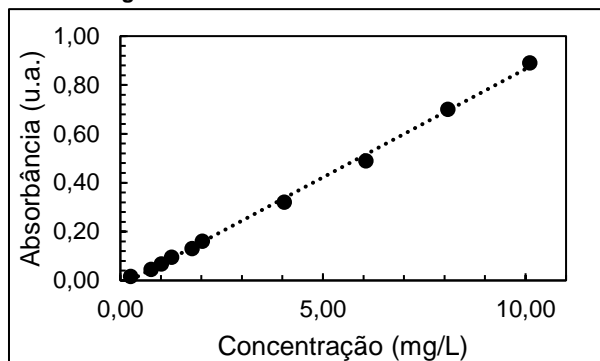


Figura 7: Curva analítica do azul de metileno.



As curvas analíticas do azul de metileno se comportaram dentro da linearidade favorecendo a Lei de Lambert-Beer. As equações da reta adequadas aos padrões da análise estão descritas na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2: Equações da reta e seus respectivos valores de R² para as curvas analíticas do azul de metileno.

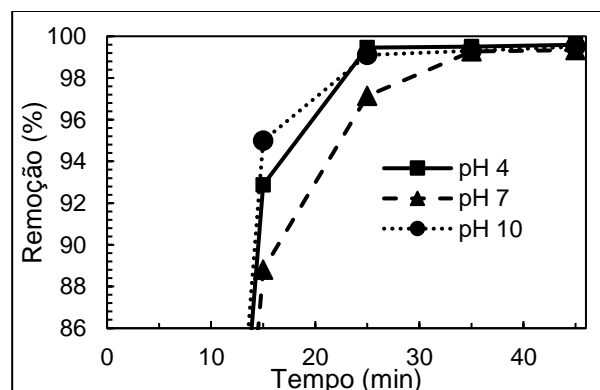
| Equação da reta | R ² |
|----------------------------------------------|----------------|
| $Abs_{666nm} = 0,0887 \cdot C_{AM} - 0,0217$ | 0,9981 |
| $Abs_{666nm} = 0,0823 \cdot C_{AM} - 0,0300$ | 0,9943 |
| $Abs_{666nm} = 0,1078 \cdot C_{AM} - 0,0160$ | 0,9945 |

4.4 Ensaios de adsorção do lote piloto

Alíquotas foram retiradas nos tempos estipulados, centrifugadas e lidas em espectrofotômetro para quantificação das concentrações remanescentes. As remoções percentuais do corante, em função do tempo e do pH estão descritas na Figura 8.

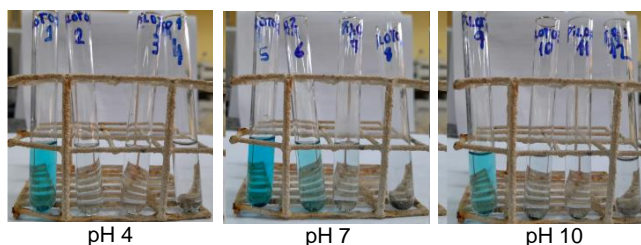
Em primeira análise, cabe ressaltar que aos 15 minutos, a adsorção de azul de metileno sobre o carvão ativado já obteve resultados acima de 88% nos três pHs testados. O pH 10, no entanto atingiu maior taxa de remoção (95%), como aferido pelo teste de ponto de carga zero, cuja faixa de índice de potencial hidrogeniônico mostrou-se mais favorável para adsorção, prostando-se para o fenômeno químico da quimissorção.

Figura 8: Ensaio de adsorção do lote piloto.



Após análise do gráfico, observou-se que ocorreu um equilíbrio na adsorção do azul de metileno, em todos os pHs, em 35 minutos, apesar do pH 7 ter se mostrado o mais lento para tal. A partir deste ensaio com o lote piloto, representado na Figura 9, determinou-se como tempo necessário para a adsorção 45 minutos, a fim de garantir o equilíbrio entre adsorvente e adsorvato.

Figura 9: Alíquotas retiradas no ensaio de adsorção do lote piloto.



Este teste possibilitou determinar que a adsorção do azul de metileno seria $\geq 99\%$ independentemente de o meio estar ácido, alcalino ou neutro. Assim, para os ensaios subsequentes dos lotes 1, 2 e 3 estabeleceu-se a não modificação do pH das soluções contaminantes.

Encontra-se descrita na Tabela 3, a remoção média por tempo obtida neste ensaio, relacionando os pHs testados.

Tabela 3: Remoção média (%) por tempo.

| t (min) | Remoção (%) |
|---------|------------------|
| 15 | 92,23 \pm 3,14 |
| 25 | 98,57 \pm 1,24 |
| 35 | 99,36 \pm 0,13 |
| 45 | 99,48 \pm 0,13 |

4.5 Ensaio de adsorção dos lotes 1, 2 e 3

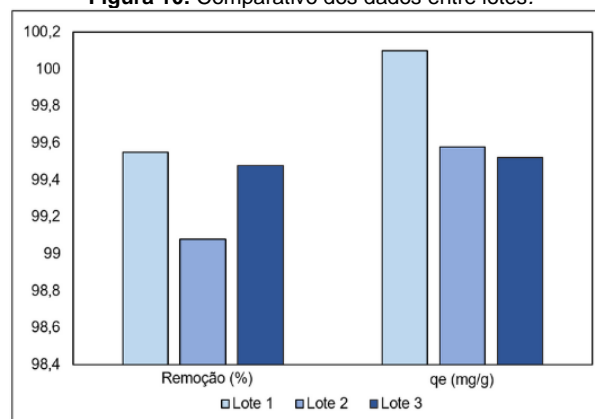
Alíquotas foram retiradas das soluções, centrifugadas e lidas em espectrofotômetro para quantificação das concentrações remanescentes. Após leitura foram feitos os cálculos do percentual de remoção do azul de metileno e da capacidade adsorvativa dos carvões. Todos os dados dos ensaios de adsorção, em conjunto com os resultados dos cálculos e seus respectivos desvios padrões, encontram-se na Tabela 4 e comparadas na Figura 10.

Tabela 4: Ensaio de adsorção dos lotes 1, 2 e 3

| LOTE | Concentração remanescente (mg/L) | Remoção (%) | q (mg/g) |
|------|----------------------------------|------------------|-----------------|
| 1 | 0,4562 \pm 0,0432 | 99,55 \pm 0,04 | 100,1 \pm 0,3 |
| 2 | 0,9246 \pm 0,2300 | 99,08 \pm 0,23 | 99,58 \pm 0,6 |

| | | | |
|---------------|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 3 | 0,5235 \pm 0,1085 | 99,48 \pm 0,11 | 99,52 \pm 0,73 |
| Média: | 0,6348\pm0,2546 | 99,37\pm0,25 | 99,75\pm0,55 |

Figura 10: Comparativo dos dados entre lotes.



Após análise da Tabela 4 e da Figura 10 é possível averiguar que os ensaios de adsorção do lote 1 foram os mais bem sucedidos, apresentando a menor concentração remanescente, maior percentual de remoção e maior capacidade adsorvativa. Além disso, o lote 1 também apresenta os menores valores de desvio padrão.

O estudo de Mildemberg (2018) também apresentou valores aproximados de capacidade adsorvativa para a mesma concentração de azul de metileno (100 mg/L), embora sua matéria prima tenha sido outro material do que as cascas de amendoim, sendo esse valor de 101,64 mg/g enquanto o obtido pelo grupo foi de, em média, 99,75 mg/g. A remoção média do trabalho em questão foi de 99,54%, se mostrando também muito próxima ao percentual de remoção média do grupo, que foi de 99,37%.

Com base nesses dados é possível concluir que os ensaios de adsorção foram positivos, seguindo o valor de adsorção de $\geq 99\%$, estipulado pelo grupo após os ensaios com o lote piloto. Também é possível concluir que o adsorvente produzido é efetivo para o tratamento de efluentes com azul de metileno.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como enfoque a produção de um carvão sólido feito a partir dos resíduos agroindustriais para tratamento de efluentes do setor têxtil por meio dos processos adsorvativos.

O material sintetizado teve como insumo as cascas de amendoim, obteve-se um sólido com, em média, mais de 70% de rendimento, de potencial hidrogeniônico perto da neutralidade e com partículas finas. Alguns testes foram feitos com

objetivo de determinar as características e eficiência do composto produzido.

Nas análises realizadas, constatou-se que o valor médio do ponto de carga zero foi de 1,85. Portanto, qualquer valor de pH superior a 1,85 empregado nos ensaios de adsorção do azul de metileno demonstrou eficácia na absorção desse corante pelo carvão ativado desenvolvido.

Por meio da análise de espectrofotometria foram realizados os ensaios de adsorção do carvão ativado, a 1 mg/L, em azul de metileno que indicaram uma remoção média de pouco mais de 99% do corante em 45 minutos.

Diante destes resultados é possível afirmar que o material tem um futuro promissor industrial, pois além de diminuir a quantidade residual sólida da natureza e agregá-la valor, demonstra eficiência no tratamento de efluentes, conseguindo contribuir, de tal maneira, para fomentação do cumprimento das ODS 6 e 14 que tangem o tratamento de corpos d'água, e a geração de uma economia mais sustentável, explicitadas nas ODS 8 e 9.

Futuros testes ainda serão feitos, com perspectivas de análises do Ensaio de Área Superficial (BET), confecção das isotermas de adsorção, ensaios da remoção de agrotóxicos, fármacos, metais pesados, além da análise do índice de potabilidade da água, como turbidez, pH, índice de iodo, entre outros. Esses testes serão de extrema importância não só para confirmar a qualidade final do produto, como para atender as necessidades ecológicas, seja pelo tratamento e manutenção da água seja pelo avanço da ciência ambiental.

REFERÊNCIAS

- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Produção de amendoim cresce mais de 100% nos últimos 8 anos.** Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4768-producao-de-amendoim-cresce-mais-de-100-nos-ultimos-8-anos>>. Acesso em: 02 jun. 2023.
- COSTA, P. D.; FURMANSKI, L.M.; DOMINGUINI, L. Produção, Caracterização e Aplicação de Carvão Ativado de Casca de Nozes para Adsorção de Azul de Metileno. **Rev. Virtual Quim.**, v. 7, n. 4, p. 1272-1285, 2015.
- CRITTENDEN, J. C. et al. **MWH's Water treatment: Principles and design.** New Jersey: John Wiley & Sons INC, ed. 3, 2012.
- DALLAGO, R. M.; OLIVEIRA, L. C. A.; SMANIOTTO, A. Resíduos sólidos de curtumes como adsorventes para a remoção de corantes em meio aquoso. **Química Nova**, v. 28, n. 3, p. 433-437, fev. 2005.
- DALPIAN, A. S. M.; ALBUQUERQUE, E. B. **Análise do resíduo sólido do amendoim na cadeia agroindustrial: uma pesquisa bibliométrica.** In: XVI Encontro Sobre a Cultura do Amendoim, 2019, Jaboticabal, SP.
- DIAS, J. M. et al. Waste materials for activated carbono preparation and its use in aqueous-phasestreatment: A review. **J. Environ. Manag.** n.85, p. 833-846, 2007.
- DÚRAN, et al. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova**, v. 25, n. 1, p. 78-82, jan. 2002.
- FIESP. **Agronegócio do amendoim no Brasil.** 2021.
- GONZALEZ, M. F. E.; CID, A. A. P. **Adsorbentes de origen natural para la eliminación de colorantes textiles.** In: REINOSO, F. R. Descontaminación Ambiental Mediante Adsorbentes. Espanha: CYTED, 2005. 262p.
- IUPAC: União Internacional de Química Pura e Aplicada. **Reporting Physisorption data forgás/solid systems**, v. 54, p. 2201-2218, 1982.
- KUNZ, A. et al. Novas tendencias no tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova**, v. 25, p. 78-82, 2002.
- LOUREIRO, L. F. **Avaliação da adsorção do herbicida 2,4-D em carvão ativado em pó e granular por meio de análises de isotermas de adsorção utilizando diferentes qualidades de água.** 2012. Dissertação. Universidade Federal do Espírito Santo – UFPR, Vitória, ES.
- MANGUEIRA, E. S. V. **Produção de carvão ativado a partir de Endocarpo de Coco da Baía (Cocus nucífera) aplicado ao processo de adsorção do herbicida metribuzin.** 2014, 103f. Dissertação.Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PA.
- EMBRAPA. **Amendoim.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/biodiesel/materias-primas/amendoim>. Acesso em: 6 jul. 2023.
- MILDEMBERG, A. N. **Obtenção de carvão ativado a partir de bagaço de malte e sua aplicação na remoção de azul de metileno.** 2018. Dissertação. Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba, PR.
- NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil.** Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 23 ago. 2023.

NASCIMENTO, R. F. et al. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. 2 ed. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2020.

NUNES, A. S. **Produção de adsorventes a partir da casca de amendoim visando a aplicação na remoção de corantes orgânicos**. 2014. Dissertação. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB, Itapetinga, BA.

OLIVEIRA, S. P.; SILVA, W. L. L. Modificação das características de adsorção do bagaço de cana para remoção de azul de metileno de soluções aquosas. **Scientia Plena**, v. 8, n. 9, p. 1-9, set. 2012.

PÊSSOA, N. T. **Avaliação do uso de adsorventes preparados a partir da casca de amendoim para adsorção de cádmio e níquel**. 2017. Dissertação. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE.

SCHIFFINO, J. **Apostila de Físico-química III**. Porto Alegre: UFRGS, 2005.

SOARES, J. L. **Remoção de corantes têxteis por adsorção em carvão mineral ativado com alto teor de cinzas**. 1998,06 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

SOUSA L. S. et al. Síntese de carvão ativado a partir de resíduos de amendoim (*Arachis hypogaea*). **XXII Congresso Brasileiro de Química**, 2018, São Paulo.

SOUZA, A. F.; ROSADO, F. R. Utilização de fungos basidiomicetes em biodegradação de efluentes têxteis. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 2, p. 121-139, 2009.

TAN, X. F. et al. Biochar as potential sustainable precursors for activated carbon production: multiple applications in environmental protection and energy storage. **Bioresource Technology**, v. 227, p. 359-372, 2017.

TEIXEIRA, J. L. **Obtenção e caracterização de carvão ativado a partir da casca de coco verde**. 2020. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRS, Porto Alegre, RS.