

Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
ETEC Júlio de Mesquita  
Curso Técnico em Química

## **CASCA DE CAFÉ COMO BIOADSORVENTE PARA AZUL DE METILENO**

Ana Carolina Carvalho Veloso<sup>1</sup>  
Daniel Barroso Torres<sup>2</sup>  
Giulia de Almeida Batista<sup>3</sup>  
Isabella Petez Farias<sup>4</sup>  
Wallysson Gomes de Almeida Dias<sup>5</sup>  
Esp. Magali Canhamero<sup>6</sup>  
Dr. Jhonny Frank Sousa Joca<sup>7</sup>

### **RESUMO**

A crescente contaminação de recursos hídricos por corantes sintéticos, especialmente os provenientes das indústrias têxtil, de papel e de couro, tem impulsionado a busca por métodos alternativos de tratamento de efluentes. Este trabalho investigou o uso da casca de café, um resíduo agroindustrial abundante, como bioadsorvente para remoção do corante catiônico azul de metileno em soluções aquosas. Foram realizados tratamentos prévios da biomassa, incluindo elutriação, lavagem e secagem, seguidos por experimentos de adsorção em diferentes concentrações de corante. Determinou-se o ponto de carga zero (pHPZC) do adsorvente entre pH 5,5 e 9,0, sendo o pH 8 escolhido como ideal para os testes de adsorção, visando maximizar a interação eletrostática. Os resultados mostraram boa capacidade de adsorção, com valores significativos de remoção. A casca de café demonstrou-se uma alternativa

---

<sup>1</sup>Aluno do Curso Técnico em Química – [ana.veloso15@etec.sp.gov.br](mailto:ana.veloso15@etec.sp.gov.br)

<sup>2</sup>Aluno do Curso Técnico em Química – [daniel.torres01@etec.sp.gov.br](mailto:daniel.torres01@etec.sp.gov.br)

<sup>3</sup>Aluno do Curso Técnico em Química – [giulia.batista2@etec.sp.gov.br](mailto:giulia.batista2@etec.sp.gov.br)

<sup>4</sup>Aluno do Curso Técnico em Química – [isabella.farias5@etec.sp.gov.br](mailto:isabella.farias5@etec.sp.gov.br)

<sup>5</sup>Aluno do Curso Técnico em Química – [wallysson.dias@etec.sp.gov.br](mailto:wallysson.dias@etec.sp.gov.br)

<sup>6</sup>Professora do Curso Técnico em Química – [magali.camhamero01@etec.sp.gov.br](mailto:magali.camhamero01@etec.sp.gov.br)

<sup>7</sup>Professor do Curso Técnico em Química – [jhonny.joca@etec.sp.gov.br](mailto:jhonny.joca@etec.sp.gov.br)

eficaz, sustentável e de baixo custo para o tratamento de águas contaminadas, contribuindo com a economia circular e o reaproveitamento de resíduos.

**Palavras-chave:** Adsorção; Casca de café; Azul de metileno; Bioadsorvente.

### **ABSTRACT**

The increasing contamination of water resources by synthetic dyes, especially those from the textile, paper and leather industries, has driven the search for alternative methods for effluent treatment. This work investigated the use of coffee husks, an abundant agro-industrial residue, as a bio-adsorbent for the removal of the cationic dye methylene blue from aqueous solutions. Pretreatments of the biomass, including elutriation, washing and drying, were performed, followed by adsorption experiments at different dye concentrations. The point of zero charge (pHZC) of the adsorbent was determined between pH 5.5 and 9.0, with pH 8 being chosen as the ideal for the adsorption tests, aiming to maximize the electrostatic interaction. The results showed good adsorption capacity, with significant removal values. Coffee husks have proven to be an effective, sustainable and low-cost alternative for the treatment of contaminated water, contributing to the circular economy and the reuse of waste.

**Keywords:** Adsorption; Coffee husks; Methylene blue; Bio-adsorbent.

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1. Água**

É um recurso essencial para a vida e equilíbrio dos ecossistemas, sendo amplamente utilizada em processos nas indústrias. No contexto de um crescimento significativo das emissões de efluentes contendo corantes sintéticos dos setores têxtil, papel e couro, a poluição de corpos hídricos tem se agravado. Devido à sua estabilidade química, baixa biodegradabilidade, os corantes não são afetados pelos métodos convencionais de tratamento de águas residuais, podendo ser tóxicos, mutagênicos e cancerígenos em algumas formas, alterando a cor da água e da vida aquática ao redor. Isso pois, mesmo em baixas concentrações, essas substâncias turvam a água, prejudicam a fotossíntese e a tornam inapta para consumo ou uso industrial (Zanoni; Yamanaka, 2016). Contudo, faz-se imprescindível a produção de tecnologias alternativas sustentáveis para que se possa tratar os efluentes como, por exemplo, bioadsorventes provenientes vegetais, os quais são resíduos da agroindústria, dentre eles os provenientes da casca de café, apresentando grande

perspectiva de ser um material promissor para a eliminação de corantes (Calciolari et al., 2022).

## 1.2. Azul de Metileno

O azul de metileno, também conhecido como tetracloreto de metilo de metionina 3,7-bis(dimetilamino), é um composto orgânico com fórmula estrutural  $C_{16}H_{18}ClN_3S$ . Trata-se de um corante catiônico amplamente utilizado em laboratórios, especialmente na identificação de bactérias, além de ter aplicações relevantes na indústria, como no tingimento de tecidos. Entre os diversos tipos de corantes, os de maior aplicabilidade pertencem à classe dos reativos. Esses se destacam por conter, em sua estrutura, um ou mais grupamentos  $-N=N-$  ligados a sistemas aromáticos, o que lhes confere maior estabilidade química, característica essencial para seu uso na indústria têxtil (Kunz et al., 2002).

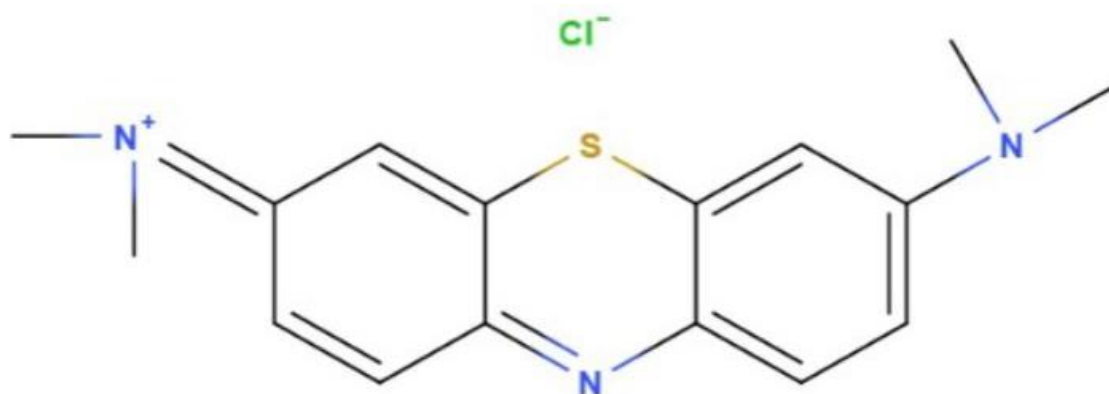


Figura 1. Estrutura Molecular do Azul de Metileno.

Fonte: Autores.

### 1.2.1. Toxicidade do Corante

Quando descartado de forma inadequada, o azul de metileno pode causar impactos significativos em ambientes aquáticos. Seu lançamento não controlado em rios e lagos compromete a transparência da água, dificultando a penetração da radiação solar, o que reduz a atividade fotossintética natural. Isso desencadeia alterações na biota aquática e pode levar à toxicidade aguda e crônica dos ecossistemas. Portanto, o tratamento prévio dos efluentes antes do seu despejo em corpos hídricos receptores é essencial (Honorato et al., 2015).

Esse corante tem sido amplamente estudado como indicador de contaminação ambiental, especialmente em efluentes provenientes das indústrias têxtil e de papel. Entre as tecnologias empregadas para sua degradação, destacam-se os processos oxidativos avançados, como a fotocatalise heterogênea utilizando dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ), utilizado em eletrocatalisadores, que tem se mostrado eficaz na remoção do corante e na redução de sua toxicidade, contribuindo significativamente para o tratamento de águas residuais (Santos et al., 2021).

Além disso, o método de adsorção é frequentemente utilizado na remoção desses efluentes devido ao seu baixo custo e simplicidade operacional. Essa técnica consiste na interação entre o corante e um material adsorvente, promovendo sua retenção e conseqüente remoção do meio aquoso (Honorato et al., 2015).

O azul de metileno também é empregado como ferramenta em estudos ambientais, auxiliando na análise da poluição em bacias hidrográficas e sistemas aquáticos. Seu uso contribui para uma melhor compreensão dos impactos causados por atividades antrópicas, permitindo o desenvolvimento de estratégias mais eficazes de gestão dos recursos hídricos (Santos et al., 2021).

### **1.2.2. Impactos Ambientais e Perdas na Produção**

Com o aumento expressivo da produção, tornam-se inevitáveis as perdas ao longo do processo industrial. Estima-se que cerca de 50% dos corantes utilizados sejam desperdiçados, sendo entre 10% e 15% diretamente lançados nos efluentes (Calciolari et al., 2022). Esses resíduos apresentam elevada carga poluente e, em muitos casos, são compostos por substâncias tóxicas, mutagênicas e até carcinogênicas, representando sérios riscos tanto ao meio ambiente quanto à saúde pública (Lima; Silva; Santos, 2018).

### **1.3. Corantes Orgânicos**

O uso de aditivos de cor orgânicos sintéticos tem crescido consideravelmente nos últimos anos, principalmente devido à sua estabilidade e ao custo relativamente baixo. Esse avanço tem sido essencial para diversos setores industriais, especialmente o têxtil, onde esses compostos são amplamente aplicados (Zanoni; Yamanaka, 2016).

Apesar das vantagens, o descarte desses corantes nos efluentes industriais levanta sérias preocupações ambientais. Eles afetam a qualidade da água, prejudicam

a vida aquática e alteram visualmente os corpos d'água, o que também impacta a percepção pública sobre o meio ambiente (Lima; Silva; Santos, 2018).

Esses corantes são classificados de acordo com seu comportamento em meio aquoso. As tinturas ácidas, por exemplo, são ideais para fibras como lã e nylon, enquanto os corantes reativos formam ligações mais estáveis com fibras celulósicas, como o algodão, garantindo maior resistência à lavagem e à luz (Silva; Oliveira; Pereira, 2020).

Para reduzir seu impacto ambiental, uma das soluções mais utilizadas é a adsorção. Esse método consiste em fixar as moléculas de corante em materiais como carvão ativado ou resíduos agrícolas. Alternativas sustentáveis, como o uso de pele prata de café, casca de castanha de caju e outros resíduos orgânicos, têm mostrado bons resultados como bioadsorventes, além de contribuírem para o reaproveitamento de subprodutos da agroindústria (Calciolari et al., 2022; Honorato et al., 2015).

#### **1.4. Potencial da Casca de Café**

A casca de café apresenta grande potencial. A maior parte das pesquisas sobre esse material tem se concentrado em suas propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, relacionadas à alta concentração de polifenóis (Oliveira et al., 2006). Em processos de torrefação, os resíduos podem representar até 50% do volume total dos grãos processados (Souza; Souza, 2021). Esse dado revela o grande potencial de reaproveitamento desses resíduos, que podem ser utilizados como adsorventes eficientes, de baixo custo e com alto rendimento, especialmente no tratamento de efluentes (Calciolari et al., 2022).

##### **1.4.1. Vantagens do uso da Casca de Café**

**Disponibilidade e baixo custo:** A casca de café é um resíduo abundante, frequentemente descartado, o que torna seu aproveitamento uma solução econômica vantajosa (Oliveira et al., 2006).

**Propriedades de adsorção:** Devido à sua superfície porosa, o resíduo do processamento do café tem a capacidade de adsorver uma ampla variedade de compostos, incluindo corantes sintéticos (Honorato et al., 2015).

**Benefícios ambientais:** O uso desse resíduo agroindustrial contribui para a redução do desperdício e favorece a economia circular, promovendo a reutilização de materiais e a minimização do impacto ambiental (Oliveira; Santos; Ferreira, 2019).

Eficiência: Pesquisas demonstram que o subproduto do café é altamente eficiente na remoção de corantes, mesmo quando presentes em concentrações elevadas (Honorato et al., 2015).

#### **1.4.2. Tratamento da Água Contaminada**

Diante da crescente preocupação com a poluição hídrica, é essencial buscar métodos eficazes para o tratamento de efluentes. Entre as técnicas mais comuns, destacam-se a adsorção, coagulação e floculação, filtração por membranas, processos biológicos e processos oxidativos (Kunz et al., 2002). No entanto, muitas dessas abordagens apresentam desafios, como altos custos, baixa eficiência ou a geração de subprodutos indesejáveis (Silva; Oliveira; Pereira, 2020).

Os corantes sintéticos, amplamente utilizados nas indústrias têxtil, alimentícia e farmacêutica, são conhecidos por sua alta persistência no ambiente e toxicidade para os ecossistemas aquáticos (Zanoni; Yamanaka, 2016). Ao utilizar o resíduo do café como adsorvente, é possível remover de forma eficaz esses poluentes, contribuindo para a redução da poluição da água (Oliveira; Santos; Ferreira, 2019).

#### **1.4.3. Como Funciona o Processo**

A técnica de adsorção se destaca pela sua eficácia na remoção de pigmentos, mesmo em concentrações baixas. O carvão ativado é o adsorvente mais comumente utilizado devido à sua alta capacidade de adsorção, mas seu custo elevado restringe sua aplicação em larga escala (Calciolari et al., 2022). Esse fator tem impulsionado a busca por alternativas mais acessíveis e sustentáveis, como os resíduos agrícolas, que são abundantes e oferecem uma boa eficiência (Oliveira; Santos; Ferreira, 2019).

O material proveniente do café é frequentemente preparado por processos de secagem ou moagem e, em seguida, adicionado à água contaminada. Durante esse processo, os corantes presentes na água se adsorvem às superfícies das partículas do material. Após o tempo de contato adequado, a água pode ser filtrada, removendo o material carregado com os corantes (Honorato et al., 2015).

#### **1.5. Cinética de Adsorção**

A falta de padronização no tamanho das partículas utilizadas nesse processo pode influenciar diretamente o equilíbrio da adsorção, uma vez que essa variável afeta os coeficientes de transferência de massa entre o meio líquido e a superfície sólida

do adsorvente (Cooney, 1999 apud Marllon Moreira, 2015). Este processo permite determinar o ponto de equilíbrio da solução, que é alcançado quando não há mais transferência de massa da solução para o adsorvente. Nesse momento, chega-se ao ponto de carga zero, e o gráfico de adsorção segue um comportamento linear.

A cinética de adsorção descreve a velocidade com que as partículas são adsorvidas pelo material adsorvente. Essa taxa depende das propriedades físico-químicas tanto da substância adsorvida quanto do adsorvente e da solução (Schneider, 2008 apud Marllon Moreira, 2015).

Diversos modelos cinéticos são empregados para analisar os dados experimentais, com o objetivo de entender melhor os mecanismos subjacentes e identificar os fatores limitantes do processo. Modelos lineares, como os de pseudo-primeira e pseudo-segunda ordem, são frequentemente utilizados para estudar o mecanismo controlador da adsorção, como reações químicas, controle de difusão e transferência de massa (Oliveira, 2021). Esses modelos são ilustrados na figura a seguir:

Pseudo primeira ordem	$\ln(q_{eq} - q_t) = \ln q_{eq} - k_1 t$	$q_t$ (mg/g): capacidade de adsorção no tempo $t$ $k_1$ (1/min): taxa constante da pseudo primeira ordem
Pseudo segunda ordem	$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_{eq}^2} + \frac{1}{q_{eq}} t$	$k_2$ (1/min): taxa constante da pseudo segunda ordem

Figura 2. Equações Cinéticas de Adsorção.

Fonte: Oliveira, 2021.

O modelo de pseudo-primeira ordem é uma abordagem mais simples, que se baseia na capacidade de adsorção dos sólidos. Ele foi o primeiro modelo desenvolvido para processos sólido-líquido (Nascimento et al., 2014 apud Fonseca, 2017). Para determinar o valor de  $k_1$ , basta construir um gráfico com  $\ln(q_{eq} - q_t)$  em função do tempo ( $t$ ).

Já o modelo de segunda ordem é utilizado para descrever a capacidade de adsorção ao longo do tempo inteiro do processo. Esse modelo analisa a cinética de adsorção de forma mais completa, considerando todas as fases da adsorção (Oliveira, 2021).

### **1.6. Elutriação**

A elutriação é uma técnica utilizada para separar partículas sólidas com base em suas diferentes velocidades de arraste em um fluxo ascendente de fluido, geralmente ar ou água. Esse processo permite classificar as partículas conforme suas propriedades físicas e fluidodinâmicas - como densidade, tamanho e forma - sendo particularmente útil para materiais com formas irregulares, como é o caso das biomassas e da casca de café (Quintero, 2019).

De acordo com Ramirez Quintero (2019), a elutriação demonstrou bons resultados na separação de partículas de biomassa com diferentes características físicas, permitindo a obtenção de frações com dimensões variadas. Em comparação com o peneiramento, essa técnica oferece melhor desempenho na distinção de propriedades como comprimento, área projetada, volume e esfericidade, mostrando-se bastante promissora para estudos que envolvem o comportamento de partículas irregulares em meios fluidos.

Outro ponto relevante observado no estudo é que as partículas mais finas separadas por elutriação apresentaram maior teor de cinzas, o que indica que, além de classificar, a técnica também contribui para uma análise mais detalhada da composição da biomassa (Quintero, 2019).

Dessa forma, a elutriação se destaca como uma ferramenta eficiente tanto para a separação quanto para a caracterização de partículas de biomassa, sendo bastante útil em aplicações industriais e em pesquisas voltadas para combustão, gaseificação e outras formas de aproveitamento energético desses materiais (Quintero, 2019).

## **2. OBJETIVO**

Analisar a eficácia da casca de café como material adsorvente para a remoção do corante azul de metileno em soluções aquosas, avaliando sua viabilidade como alternativa de baixo custo e fácil acesso no tratamento de efluentes.

## **3. DESENVOLVIMENTO**

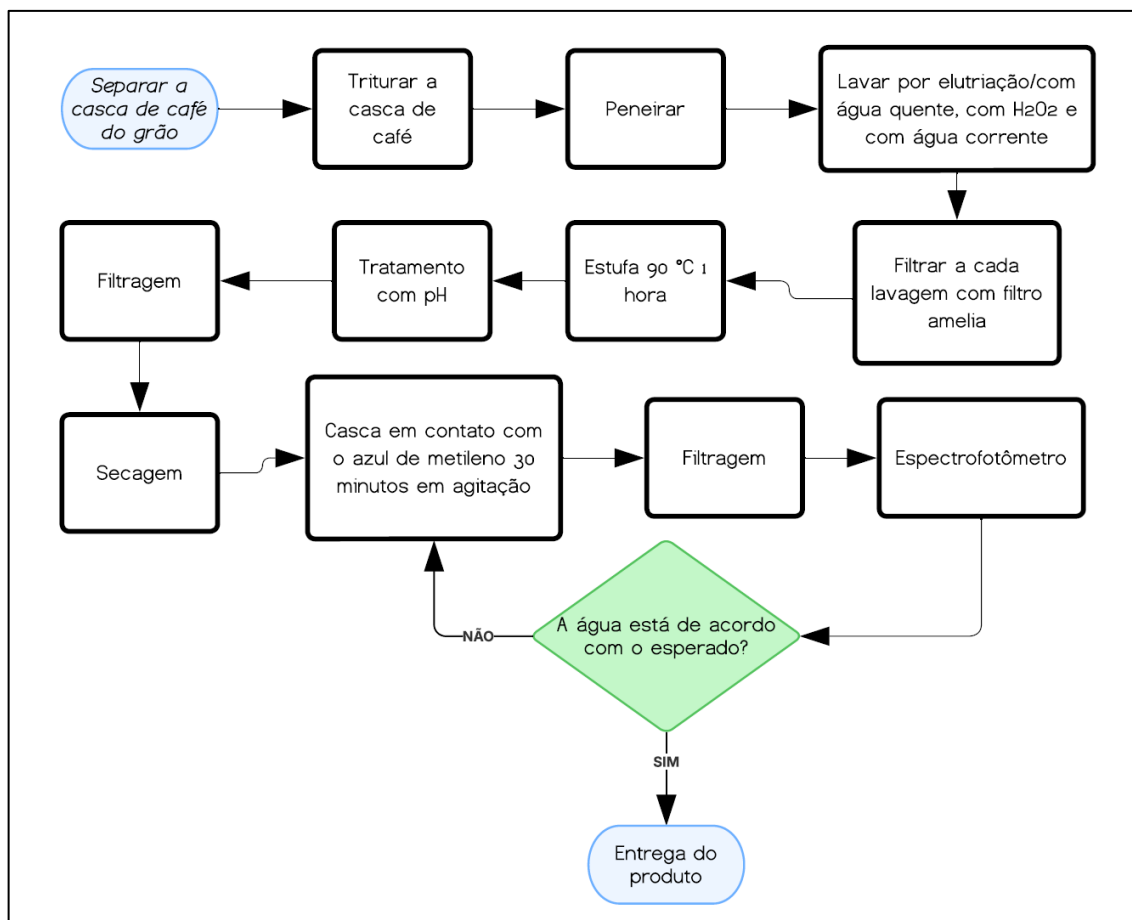


Figura 3. Procedimento e Preparo da Casca do Café Como Adsorvente.

Fonte: Autores.

### 3.1. Reagentes e Equipamentos

A casca de café foi obtida de forma caseira, proveniente de preparo doméstico de grãos, e triturada utilizando um triturador modelo Oster (Oster®, Brasil) com potência de 150W. Para o preparo da solução adsorvato, utilizou-se o corante azul de metileno padrão sólido P.A. (Cromato Produtos Químicos LTDA, Brasil), o qual foi diluído em água destilada para obtenção das concentrações desejadas. Para ajuste de pH e determinação do ponto de carga zero (pHPCZ), empregou-se solução de HCl 0,1 mol/L (LCM Comércio de Produtos, Brasil) e solução de NaOH 0,01 mol/L, preparada manualmente no laboratório com grau analítico.

As medições de pH foram realizadas com auxílio de um pHmetro modelo mPA-210 (MS Tecnopon, Brasil). A pesagem dos materiais foi feita em balança analítica de precisão modelo AY220 (Shimadzu, Japão), com capacidade de até 220 g e resolução de 0,1 mg. A secagem da biomassa foi feita em estufa, e a agitação das amostras foi

conduzida com o uso de um agitador magnético modelo NT103 (Nova Técnica, Brasil). A absorvância das soluções foi determinada utilizando espectrofotômetro UV-VIS modelo 974529 (Eduotec, Brasil), com cubetas de quartzo de alta transparência.

## **3.2. Procedimento Experimental**

### **3.2.1. Preparo do bioadsorvente**

A casca de café foi utilizada como bioadsorvente no processo de adsorção do corante azul de metileno. Inicialmente, 16 g do material foram secas em estufa a 180 °C por 1 hora, conforme procedimentos descritos por Souza et al. (2020) e Lima et al. (2018), visando remover a umidade e preparar a biomassa para os processos subsequentes.

Após o resfriamento, a casca foi triturada em moinho para reduzir a granulometria e, em seguida, submetida ao processo de elutriação, com o objetivo de separar as partículas finas e impurezas, conforme a técnica aplicada por Ramirez Quintero (2019) em estudos sobre a separação física de biomassas.

### **3.2.2. Lavagem**

O processo de pré-tratamento da casca foi dividido em quatro etapas principais: elutriação com água da torneira, lavagem com água quente, tratamento com peróxido de hidrogênio e secagem em estufa.

A seguir, os resultados observados em cada fase:

Fase 1 - elutriação com água corrente (20 minutos): a primeira etapa foi realizada por elutriação com água da torneira, utilizando um funil comum acoplado a uma argola metálica e suporte universal, com escoamento facilitado por uma mangueira e água foi mantida em fluxo contínuo por aproximadamente 20 minutos. A solução resultante apresentou coloração marrom clara, indicando a presença de compostos solúveis e pigmentos naturais liberados da casca. Esse processo permitiu a remoção de impurezas superficiais e materiais particulados leves.

Fase 2 - lavagem com água quente (300 mL): em seguida, a casca foi submetida a uma lavagem com 300 mL de água quente, sendo esse processo repetido, obtendo-se um volume total de 600 mL de água. A solução obtida apresentou coloração mais clara em relação à primeira etapa, evidenciando a remoção de compostos residuais e uma redução da turbidez.

Fase 3 - lavagem com peróxido de hidrogênio a 3% (30 minutos de agitação): o material foi tratado com  $H_2O_2$  a 3%, sob agitação por 30 minutos. A solução final apresentou-se quase incolor, demonstrando eficácia do peróxido na oxidação e clareamento de compostos orgânicos presentes na casca.

Fase 4 - secagem em estufa (90 °C por 1 hora): após a lavagem, o material foi colocado em estufa a 90 °C por 1 hora para retirada da umidade. O produto final apresentou coloração marrom clara e aspecto mais uniforme, com textura fina e livre de resíduos visíveis. Visualmente, o material mostra-se adequado para posterior utilização em análises físico-químicas ou outras aplicações laboratoriais, como para o uso em testes de adsorção.



Figura 4. Casca Tratada Para o pH Com Maior Probabilidade de Atração Eletrostática com o Azul de Metileno.

Fonte: Autores.

### 3.2.3. Ponto de Carga Zero (pHPZC)

Para determinação do ponto de carga zero (pHPZC), foram preparadas 11 soluções com pH variando de 3 a 11, utilizando soluções de HCl (0,1 M) e NaOH (0,01 M) para ajuste. Foram adicionados 50 mL de cada solução em frascos contendo uma massa constante do bioadsorvente (aproximadamente 1 g), que foi mantida em agitação por 2 horas à temperatura ambiente. O pH final foi medido, e o pHPZC

determinado a partir do gráfico  $\Delta\text{pH}$  (pH final - pH inicial) versus pH inicial, identificando o ponto em que  $\Delta\text{pH}$  permanece constante, conforme metodologia adaptada de Park e Regalbuto (1995) e referenciada em Van Raij (1973) e Somavilla et al. (2020).

### 3.2.4. Varredura do Azul de Metileno

Inicialmente, deve-se pesar 15 mg (0,015 g) de azul de metileno em um béquer utilizando uma balança analítica, em seguida dissolver completamente o corante e transferir o mesmo para um balão volumétrico de 1 litro, com auxílio de um funil para se obter maior precisão. Após, completar até o menisco com água destilada, obtendo-se uma solução de 15 mg/L.

Com a solução preparada, ambientar a cubeta de quartzo e configurar o espectrofotômetro para medição da absorbância, ajustando-se o comprimento de onda de 200 nm até 665 nm. Entretanto, antes de iniciar as análises é necessário utilizar uma cubeta contendo água destilada para calibração do equipamento.

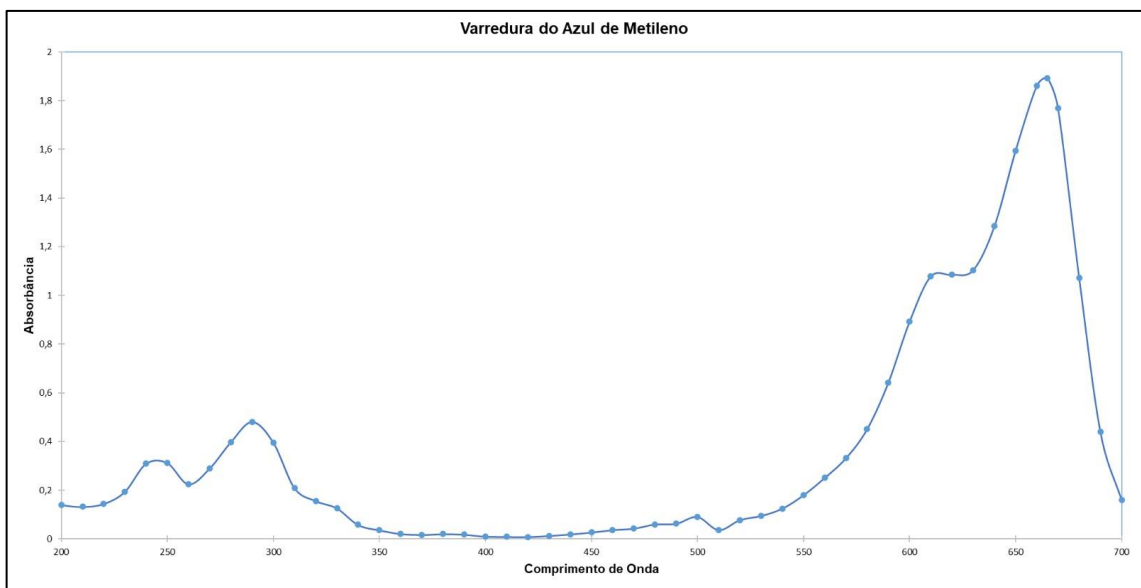


Figura 5. Varredura do Azul de Metileno.

Fonte: Autores.

A partir da solução-mãe, são preparadas diluições para obtenção de soluções-padrão com concentrações variando entre 4 e 10 mg/L. Essas soluções são utilizadas para o cálculo da porcentagem de remoção do corante na faixa do visível (665 nm),

por meio de espectrofotometria UV-Vis, conforme o protocolo descrito por Moreira (2015).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Perda de Massa Durante o Pré-tratamento da Casca de Café

Durante o processo de preparo do bioadsorvente, a casca café passou por sucessivas etapas de lavagem e tratamento químico, resultando em uma redução da massa inicial de 16,0 g para 12,0 g ao final do procedimento. Essa perda de 4,0 g, equivalente a 25% da massa original, reflete a remoção de impurezas, partículas finas, resíduos de solúveis e matéria orgânica superficial. A etapa de elutriação, realizada por 20 minutos em água com agitação, foi responsável pela maior perda de massa, uma vez que promove a separação eficiente de materiais particulados mais leves. As lavagens subsequentes com água quente contribuíram para a eliminação de compostos solúveis e resíduos aderidos à superfície da casca. O tratamento com peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) favoreceu a oxidação de matéria orgânica residual, enquanto a lavagem final com água corrente removeu eventuais resíduos remanescentes do processo.

Etapa	Descrição	Massa (g)	Perda na Etapa (g)
1	Inicial (antes do tratamento)	16,00	0,00
2	Elutriação (20 min agitação)	14,86	1,14
3	Lavagem com 200 mL de água quente (1ª)	14,12	0,74
4	Lavagem com 200 mL de água quente (2ª)	13,50	0,62
5	Tratamento com 100 mL de $H_2O_2$ (peróxido)	12,79	0,71
6	Lavagem final com água corrente	12,00	0,79

Figura 6. Distribuição da Perda de Massa ao Longo das Etapas do Pré-Tratamento.

Fonte: Autores.

### 4.2. Ponto de Carga Zero (pHPZC)

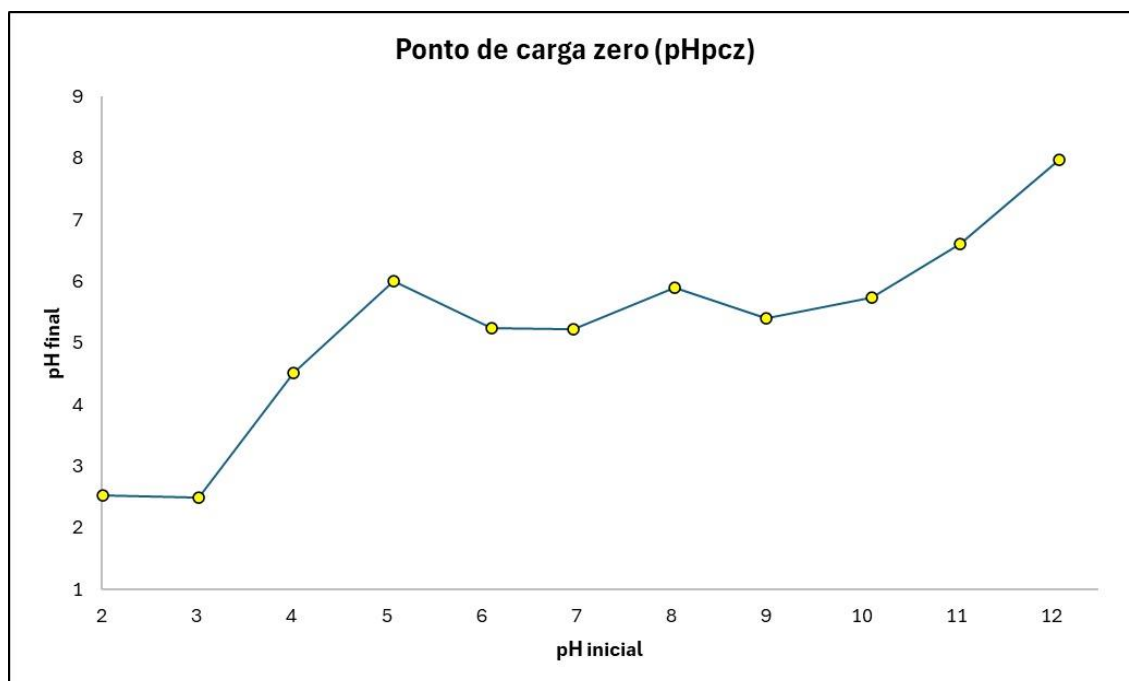


Figura 7. Ponto de Carga Zero.

Fonte: Autores.

O ponto de carga zero estimado é aproximadamente entre pH 5,5 e 9,0. Portanto, considerando que o corante azul de metileno é catiônico, optou-se por trabalhar com valores de pH superiores ao ponto de carga zero, visando favorecer a interação entre o adsorvente e o adsorvato.

A definição do pH ideal é um dos fatores determinantes na eficiência do processo de adsorção, principalmente quando envolve corantes iônicos. No presente trabalho, o corante utilizado é de natureza catiônica, ou seja, apresenta carga positiva em meio aquoso. Para favorecer a adsorção, é necessário que a superfície do adsorvente esteja negativamente carregada, o que ocorre em valores de pH acima do ponto de carga zero (PCZ).

Com base nos dados experimentais de pH inicial e pH final, o PCZ do adsorvente foi estimado na faixa de pH 5,5 a 9,0. Abaixo desse valor, a superfície tende a apresentar carga positiva, o que desfavorece a interação com o corante catiônico devido à repulsão eletrostática (Mohan et al., 2014). Por outro lado, em pH superior ao PCZ, a superfície passa a apresentar carga negativa, favorecendo a atração eletrostática entre o adsorvente e o corante, e, conseqüentemente, aumentando a eficiência da adsorção (Ali et al., 2012; Foo & Hameed, 2010).

Dentre os valores testados, o pH 8 foi selecionado para os ensaios principais de adsorção. Esse valor garante que a superfície do material esteja significativamente carregada negativamente, além de apresentar boa estabilidade do sistema. Observou-se, ainda, que no pH 8 (pH inicial de 8,03), o pH final reduziu para 5,90, indicando forte interação com os íons em solução, o que pode estar associado a uma elevada capacidade de adsorção.

Além disso, a escolha pelo pH 8 evita condições extremas de alcalinidade (pH > 10), nas quais a presença excessiva de íons OH<sup>-</sup> pode competir com o corante pelos sítios ativos do adsorvente ou promover alterações estruturais no corante (Crini & Badot, 2008).

Dessa forma, a escolha do pH 8 representa uma condição ideal de trabalho, promovendo melhor desempenho no processo de adsorção do corante catiônico, ao equilibrar carga superficial, estabilidade do sistema e potencial de remoção.

#### 4.3. Testes de Adsorção

A casca foi previamente tratada para ajuste de pH, visando atingir pH 8, valor identificado como o ponto de carga zero (PCZ) através de gráfico obtido experimentalmente. O tratamento consistiu na imersão de 10 g de casca em 400 mL de solução ajustada para o pH 8, com agitação por 2 horas. Após esse período, o material foi filtrado em papel de filtro quantitativo, a fim de garantir precisão na pesagem. A casca foi seca em estufa, resultando em uma massa final de 5,7136 g.

Em seguida, pesou-se 1 g da casca tratada e colocou-se em contato com 40 mL de solução de azul de metileno com concentrações de 10 mg/L, 8 mg/L, 6 mg/L e 4 mg/L. A agitação foi constante durante 30 minutos. Ao final do tempo de contato, as soluções foram analisadas em espectrofotômetro nas faixas de 665 nm e 290 nm para avaliar a remoção do corante e possíveis interferências.

#### 4.4. Porcentagem de Remoção (%)

A fórmula usada para calcular a porcentagem (%) de remoção foi:

$$\% \text{ Remoção} = \left( \frac{A_{\text{inicial}} - A_{\text{final}}}{A_{\text{inicial}}} \right) \times 100$$

Onde:

- A<sub>inicial</sub> = Absorbância antes do contato com o adsorvente (casca tratada).
- A<sub>final</sub> = Absorbância após o tempo de contato (30 min).

A absorbância está relacionada à concentração pela Lei de Beer-Lambert, então essa fórmula é válida desde que a relação absorbância-concentração seja linear (sendo o caso de baixas concentrações).

<b>Concentração</b>	<b>A (inicial)</b>	<b>A (final)</b>	<b>% Remoção</b>
10 mg/L	1,300	0,055	95,77%
8 mg/L	1,038	0,024	97,69%
6 mg/L	0,788	0,027	96,57%
4 mg/L	0,552	0,024	95,65%

Figura 8. Absorbância Inicial e Final (665 nm – Azul de Metileno).

Fonte: Autores.

<b>Concentração</b>	<b>A (inicial)</b>	<b>A (final)</b>	<b>Varição</b>
10 mg/L	0,373	0,305	-0,068
8 mg/L	0,313	0,250	-0,063
6 mg/L	0,024	0,267	0,024
4 mg/L	0,256	0,264	0,008

Figura 9. Absorbância em 290 nm (Possíveis Interferências).

Fonte: Autores.

A absorbância em 290 nm indica leve interferência ou presença de subprodutos. A variação não foi significativa o bastante para comprometer os dados em 665 nm.



Figura 10. Soluções Diluídas (8 mg/L e 10 mg/L) com Coloração Azul Antes do Contato com o Bioadsorvente.

Fonte: Autores.



Figura 11. Soluções (8 mg/L e 10 mg/L) com Coloração Transparente Após o Contato com o Bioadsorvente.

Fonte: Autores.



Figura 12. Soluções Diluídas (6 mg/L e 4 mg/L) com Coloração Azul Antes do Contato com o Bioadsorvente.

Fonte: Autores.

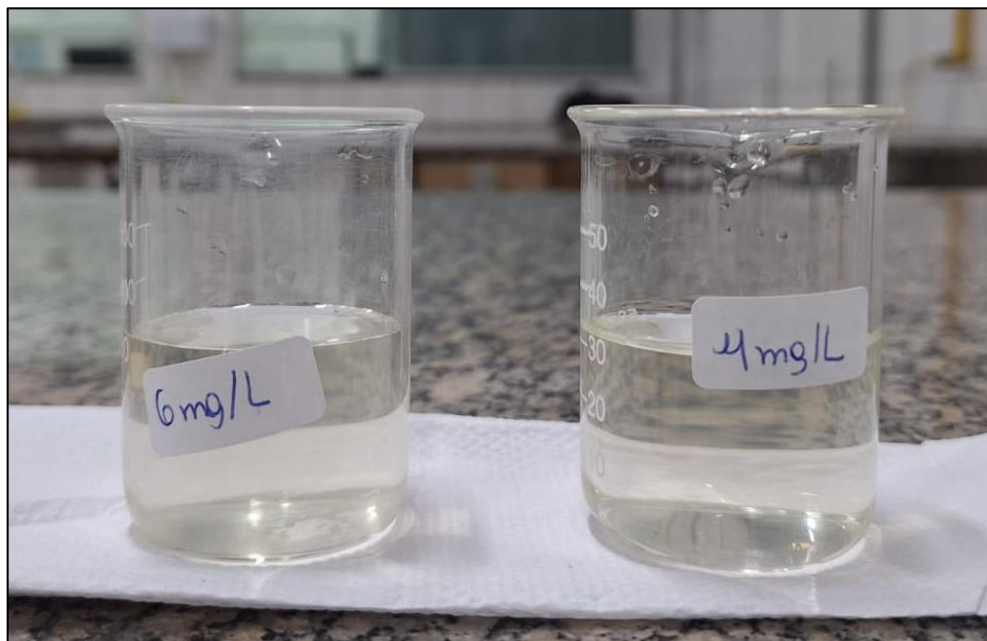


Figura 13. Soluções (6 mg/L e 4 mg/L) com Coloração Transparente Após o Contato com o Bioadsorvente.

Fonte: Autores.

## 5. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Foi investigado o potencial da casca de café como bioadsorvente na remoção do corante azul de metileno em meio aquoso. Os resultados obtidos demonstraram que o material apresenta eficiência significativa no processo de adsorção, atingindo taxas elevadas de remoção mesmo com pequenas massas do bioadsorvente. A determinação do ponto de carga zero (pHPZC) permitiu compreender melhor a interação entre o corante e a superfície da casca de café, contribuindo para a otimização das condições de uso.

A utilização da casca de café, um resíduo agrícola de fácil obtenção e baixo custo, reforça a viabilidade do reaproveitamento de resíduos orgânicos como alternativas no tratamento de efluentes, alinhando-se aos princípios da química verde e da economia circular.

Como continuidade, recomenda-se a investigação de parâmetros adicionais, como o tempo de contato, a influência da temperatura e a capacidade de regeneração do bioadsorvente. Além disso, seria interessante comparar a eficiência da casca de café com outros resíduos agroindustriais, bem como aplicar o material em efluentes reais para avaliar seu desempenho em condições mais complexas.

A modificação química ou térmica da casca de café também representa uma perspectiva promissora para aumentar sua capacidade adsorptiva, podendo contribuir ainda mais para o desenvolvimento de tecnologias acessíveis de tratamento de água.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CALCIOLARI, A. M. et al. Alternativas sustentáveis para remoção de corantes em águas residuais. *Revista Ciência Ambiental*, v. 17, n. 3, p. 88–97, 2022.

CRINI, G.; BADOT, P. M. Application of chitosan, a natural aminopolysaccharide, for dye removal from aqueous solutions by adsorption processes using batch studies: A review of recent literature. *Progress in Polymer Science*, v. 33, n. 4, p. 399–447, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0079670007001293?via%3Dihub>. Acesso em 05 jan. 2025.

FONSECA, L. B. Avaliação da adsorção em sistemas sólido-líquido: estudo com corantes. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Goiás.

FOO, K. Y.; HAMEED, B. H. Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical Engineering Journal*, v. 156, p. 2–10, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894710000318?via%3Dihub>. Acesso em: 06 jan. 2025.

HONORATO, A. C. et al. Biossorção de azul de metileno utilizando resíduos agroindustriais. *Revista Brasileira de Engenharia Ambiental*, v. 19, n. 7, p. 705–710, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n7p705-710>. Acesso em: 07 jan. 2025.

KUNZ, A. et al. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. *Química Nova*, v. 25, n. 1, p. 78–82, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422002000100014>. Acesso em: 09 jan. 2025.

LIMA, E. C.; SILVA, F. D.; SANTOS, G. D. Avaliação da toxicidade de corantes têxteis em organismos aquáticos. *Revista Brasileira de Engenharia Ambiental*, v. 22, n. 3, p. 145–152, 2018.

MATTOS DOS SANTOS, J. et al. Poluição hídrica em rios tropicais: aplicação do azul de metileno no estudo do rio Itapicurú. *Geographia*, v. 20, n. 43, p. 45–59, 2021. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/geographia/article/view/13747/8947>. Acesso em: 04 jan. 2025.

MOHAN, D.; KUMAR, H.; SINGH, V. K. Removal of organic and inorganic contaminants from water by carbonized bagasse: A review. *Environmental Chemistry Letters*, v. 12, n. 4, p. 481–495, 2014.

MOREIRA, F. M. Avaliação da capacidade adsorvente de materiais filtrantes através da adsorção do corante azul de metileno. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina.

OLIVEIRA, A. S. et al. Casca de café em dietas para vacas em lactação: consumo, digestibilidade, produção e composição de leite. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 35, n. 5, p. 2165–2171, 2006. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbz/a/CDH7fBGMpKGNf3fsTZ9zJXp/?lang=pt>. Acesso em: 11 jan. 2025.

OLIVEIRA, K. F. S. Bioadsorvente derivado do carvão da casca da castanha de caju para remoção de contaminantes em água produzida. 2021. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

OLIVEIRA, R. S.; SANTOS, L. A.; FERREIRA, M. C. Remoção de corantes em águas residuais utilizando resíduos agrícolas como adsorventes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 43, n. 4, p. 1–10, 2019.

QUINTERO, J. A. R. Caracterização física de partículas de biomassa por elutriação: um estudo de caso com bagaço de cana-de-açúcar. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos.

SILVA, J. R.; OLIVEIRA, A. F.; PEREIRA, L. H. Uso de biomassa residual na adsorção de corantes têxteis. *Química Nova*, v. 43, n. 5, p. 590–596, 2020.

ZANONI, M. V. B.; YAMANAKA, H. (Orgs.). *Corantes: caracterização química, toxicológica, métodos de detecção e tratamento*. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2016.