

AVALIAÇÃO DA BORRA DE CAFÉ COMO ADSORVENTE DE CORANTES TÊXTEIS ATRAVÉS DA ESTEREOSCOPIA ACOPLADA À ESCALA RGB

Luiz F. O. de Oliveira¹, Daniella N. R. do Nascimento¹, Aisha V. S. Pereira², Gustavo O. de Paula², Heloise O. M. A. Moura¹, Késia K. de O. S. Silva¹, Luciene S. de Carvalho², Tatiana de C. Bicudo¹

¹Programa de Pós Graduação em Engenharia Têxtil (PPgET/UFRN), Departamento de Engenharia Têxtil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil.

²Laboratório de Tecnologias Energéticas, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil.

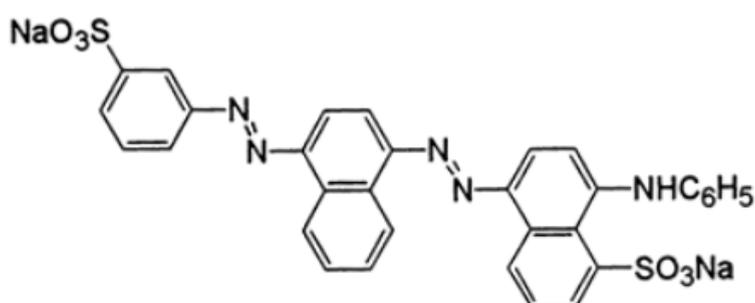
Palavras-Chave: Biomassa residual, Adsorção, Estereoscópio.

1 Introdução

Os corantes, naturais ou sintéticos, são compostos químicos amplamente empregados em diferentes setores, como têxtil, alimentício, de cosmético, plásticos, entre outros, desempenhando um papel essencial na coloração de produtos, seja por razões estéticas, de identificação, diferenciação ou até por funções práticas. No entanto, com o crescimento populacional e o avanço industrial, o uso de corantes aumentou significativamente, expondo questões ambientais devido à falta de tratamento adequado e descarte correto dos resíduos gerados (Silva, 2024). Esses efluentes são constituídos principalmente por corantes e outros produtos químicos tóxicos que, posteriormente, são descartados sem tratamento prévio causando grandes problemas ambientais, uma vez que seus contaminantes causam alterações nas condições do meio ambiente (Dasgupta *et al*, 2015; Xavier *et al*, 2021).

Devido a sua natureza, os corantes podem ser considerados a fonte de contaminação mais peremptória dos efluentes têxteis, por serem visíveis até mesmo em concentrações tão baixas quanto 1 mg L^{-1} , não biodegradáveis e por serem bastante diversos dificultando o tratamento destes efluentes (Guaratini *et al*, 2000; Ledakowicz *et al*, 2001). O Acid Blue 113, por exemplo, é um corante azo (Figura 1) com alto potencial cancerígeno e amplamente utilizado na indústria têxtil para tingimento de fibras sintéticas, como o nylon, e naturais como a seda e a lã (Guaratini *et al*, 2000).

Figura 1. Molécula do corante Acid Blue 113



Fonte: Holanda, 2017.

O descarte de corantes nos efluentes representa um grande desafio, exigindo o uso de técnicas ou tecnologias eficazes para remover essas substâncias contaminantes que, mesmo

em concentrações mínimas, podem causar danos consideráveis ao meio ambiente (Silva, 2024). Alguns métodos de tratamento de águas residuais, como coagulação e floculação, adsorção, filtração por membrana, processos biológicos e processos oxidativos avançados, já são capazes de remover cor dos efluentes (Chaves *et al*, 2022). Dentre eles, a adsorção, que envolve a transferência de poluentes de uma fase fluida para a superfície de um material sólido e é aplicada para eliminar contaminantes orgânicos ou minerais em efluentes líquidos e gasosos, tem se mostrado um método favorável devido à sua alta eficiência, além de baixo custo operacional (Sakly *et al*, 2024).

Os materiais mais aplicados na adsorção são carvão ativado, zeólitas, os silicosos, o argiloso, biomassa/biochar, estruturas metalorgânicas (MOFs), nanomateriais de carbono, polímeros e outros (Pellenz *et al*, 2023). A adsorção usando alguns desses materiais tem método simples, porém o custo elevado pode tornar o processo inviável economicamente. Com isso, a biossorção surge como um método alternativo ou complementar aos tradicionais de adsorção, com a utilização de novos materiais de baixo custo (De Castro Bertacco *et al*, 2019; Vargas *et al*, 2011). Nesse contexto, a borra de café (Figura 2) aparece entre os biorresíduos que podem ser usados para a síntese de adsorventes, como mostrado por Lessa *et al* (2018), que utilizou um compósito com borra de café residual, quitosana e poli(álcool vinílico) para testar a capacidade de adsorção destes compósitos na remoção de produtos farmacêuticos da água. Os autores demonstraram um aumento considerável (de 10 a 44%) na adsorção de produtos farmacêuticos selecionados em comparação com a amostra original, sendo assim considerado um resultado favorável e com custo-efetividade atrativo, uma vez que apresentou notável capacidade de reuso em pelo menos cinco ciclos consecutivos de adsorção/dessorção.

Figura 2. Borra do café.



Fonte: Autor, 2024.

Este trabalho contribui com a avaliação da adsorção do corante Acid Blue 113, decorrente da indústria têxtil, em soluções aquosas, utilizando como adsorvente o resíduo da borra de café *in natura*. A espectrofotometria de UV-Vis é normalmente empregada na análise do processo de adsorção. Como alternativa, propõe-se o uso da estereoscopia acoplada a escala RGB. O estereoscópio é um equipamento capaz de capturar imagens em três dimensões, facilitando a percepção de profundidade que é essencial para uma análise mais assertiva de objetos complexos. Outra característica, é a presença de filtros de 25%, 50% e 75% pixels, projetados para captar, respectivamente, luzes das cores vermelha (R), verde (G) e azul (B), permitindo explorar a escala RGB (RED/BLUE/GREEN) com o auxílio de

softwares específicos (KIOR et al, 2024). Diversas técnicas de caracterização, como microscopia eletrônica de varredura (MEV), difração de raios X (DRX), fluorescência de raios X (FRX) e espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), permitiram avaliar as características do adsorvente.

2 Material e Métodos (3000)

O adsorvente foi preparado a partir da secagem do pó de café (borra) em estufa, na temperatura entre 105 e 110 °C, durante 48 horas. Em seguida, o material foi macerado para remover aglomerados e reduzir a granulometria do material. O corante Acid Blue 113, com nomenclatura comercial Eronyl Marinho A-R (adsorbato) foi preparado em solução aquosa, na concentração de 200 ppm (solução mãe). Então, foram formuladas três diferentes soluções de corante a partir de diluições da “solução mãe”, da seguinte forma: (I) solução de corante diluído em água destilada, (II) solução de corante diluído em sobrenadante da borra, e (III) solução de corante diluído em sobrenadante da borra com contato direto com a borra durante duas horas em uma mesa agitadora.

Para cada um dos sistemas (I, II e III), foram preparadas, em balões de 25 mL, 10 amostras em concentrações distintas, variando de 10 ppm a 100 ppm, com incrementos de 10 ppm entre cada concentração, totalizando 30 amostras. Os sistemas I e II corresponderam às curvas analíticas de calibração. Para as amostras que passaram pelo contato com a borra, houve uma agitação mais intensa para garantir a interação entre o adsorvente e o adsorbato e, posteriormente, a separação do sobrenadante foi feita por meio de filtração a vácuo. As soluções foram analisadas por técnicas de espectrofotometria UV-Vis e de microscopia estereoscópica. Os resultados de UV-Vis foram empregados para determinar a maior faixa de absorbância do corante, nas diferentes soluções e concentrações, permitindo, com o auxílio do *software Microsoft Excel*, a criação de uma curva de calibração. Concomitantemente, utilizou-se um estereoscópio (Figura 3) para extrair imagens a partir das soluções de corantes preparadas anteriormente e, em seguida, com o auxílio do *software Image J* foi possível gerar dados numéricos de RGB relativos às imagens. A partir desses dados, e com o auxílio do *software OriginLab*, foram plotados os gráficos.

Figura 3. Foto do Estereoscópio, marca Leica, modelo EZ4



Fonte: Autor, 2024.

Na caracterização do adsorvente, foram efetuadas análises da morfologia e estrutura do material através da microscopia eletrônica de varredura (MEV) e difração de raios X (DRX), além de técnicas como a fluorescência de raios X (FRX) e a espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), que auxiliaram na identificação da composição química do material.

3 Resultados e Discussão Máximo de 8.000 caracteres com os espaços.

3.1 Caracterização do adsorvente

3.1.1 Fluorescência de raios X (FRX)

Na composição elementar do adsorvente (Tabela 1), obtida através da análise por FRX, pode ser observado que o componente majoritário é o potássio (K), em média 74%, seguido pelo cálcio (Ca), cujo percentual médio foi 12%. Estes elementos possuem uma alta percentagem relativa na amostra, uma vez que são os elementos em maior quantidade nos solos brasileiros, sendo absorvidos pelas plantas no momento de seu cultivo. Metais de transição como ferro (Fe), cobre (Cu) e a prata (Ag), aparecem em sua composição, porém em pequena concentração.

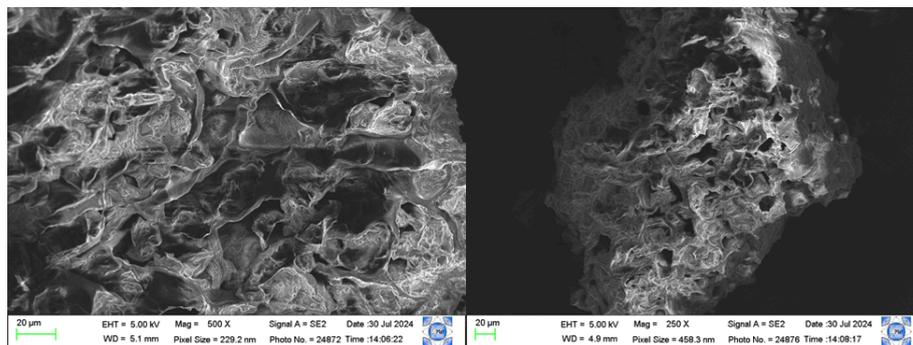
Tabela 1. Porcentagem atômica dos elementos presentes na borra do café, detectáveis através de FRX.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA PERCENTUAL DOS ADSORVENTES	
Elemento	ADSB (%)
K	66,85
Ca	13,65
Ag	5,29
S	4,00
Na	2,75
P	2,74
Fe	2,11
Mg	1,24
Cu	0,78
Mn	0,60

3.1.2 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) acoplada à espectroscopia de energia dispersiva de raios-X (SEM/EDS)

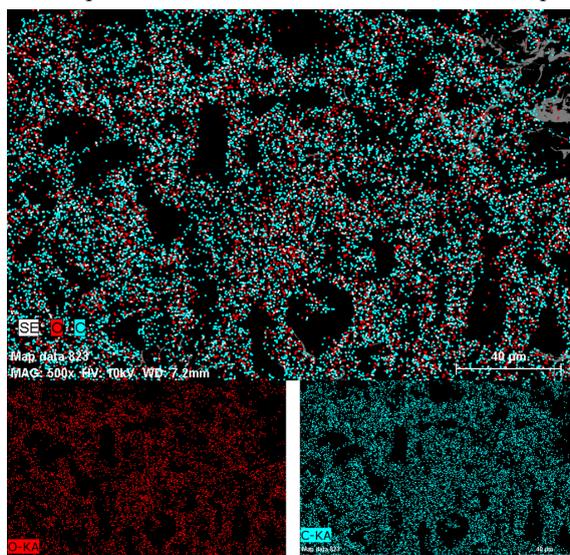
A partir das imagens obtidas por MEV (Figura 4), foram verificadas a amorficidade e baixa macroporosidade superficial do material *in natura*. Além disso, é possível perceber a ampla distribuição granulométrica e a heterogeneidade das partículas.

Figura 4. Imagens da borra de café *in natura*, obtidas por MEV.



O mapeamento elementar obtido por meio da análise de EDS (Figura 5) confirmou a presença e a distribuição dos componentes atômicos da borra do café na superfície do material. Os dados obtidos no mapeamento EDS, revelaram que a composição é predominantemente formada por átomos de carbono e oxigênio, característicos de materiais orgânicos.

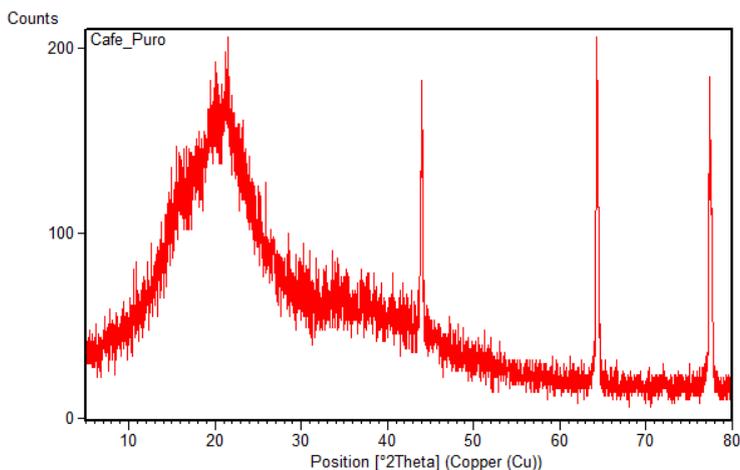
Figura 5. Mapeamento elementar do adsorvente obtido por EDS..



3.1.3 Difratomia de raios-X (DRX)

O padrão de DRX deste adsorvente (Figura 6) apresenta um perfil característico de biomassa lignocelulósica, com alta amorficidade devido à presença de hemicelulose, lignina e uma fração de celulose amorfa, apresentando uma banda amorfa com máxima intensidade em torno de $21^\circ 2\theta$ (MOURA et al., 2018). Entretanto, é possível observar um padrão alargado de maior intensidade entre 10° e $30^\circ 2\theta$, referente a convolução dos picos principais de difração da celulose cristalina nativa (alomorfo I β), referentes aos planos de difração 110. Os picos agudos observados referem-se a impurezas inorgânicas contidas na amostra analisada, supostamente advindas do processo de cultivo, colheita e tratamento do café (Batista, 2023).

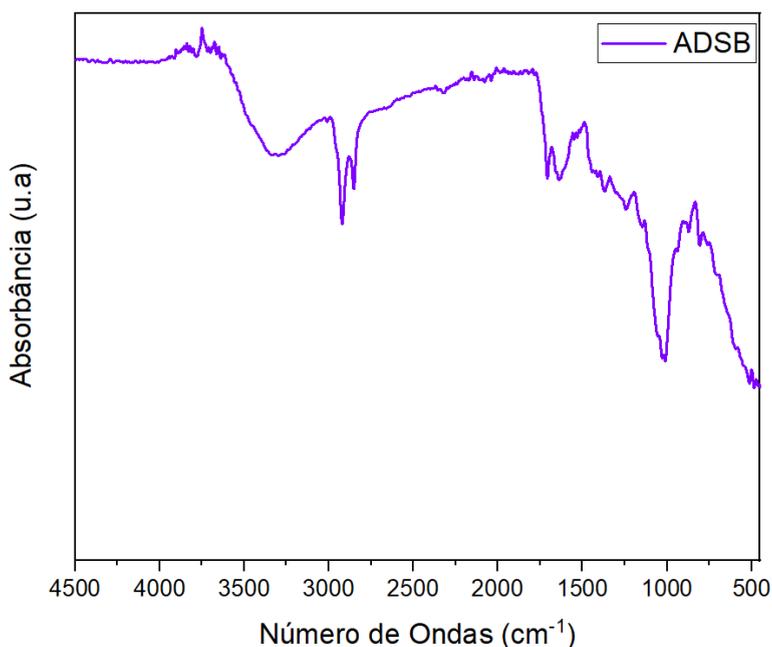
Figura 6. Difratoograma de raios-X do adsorvente.



3.1.4 Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

A partir dos espectros de FTIR do adsorvente, foi possível identificar e caracterizar grupos funcionais presentes na estrutura do material (Figura 7). Para os espectros da amostra, são observados bandas na região de 1800 a 800 cm^{-1} , característicos de ligações C-N, C-O, C=O, N-H e S-O, caracterizando a presença de hemicelulose, celulose e lignina, comuns em compostos orgânicos (MOURA, 2023). Podem ser visualizadas bandas em torno de 3000-2800 cm^{-1} , atribuídos a ligações C-H, além da banda entre 3500-3000 cm^{-1} , típica da presença de O-H em moléculas de água de coordenação e de grupos funcionais orgânicos que possuem hidroxilas.

Figura 7. Espectro de FTIR da borra do café.

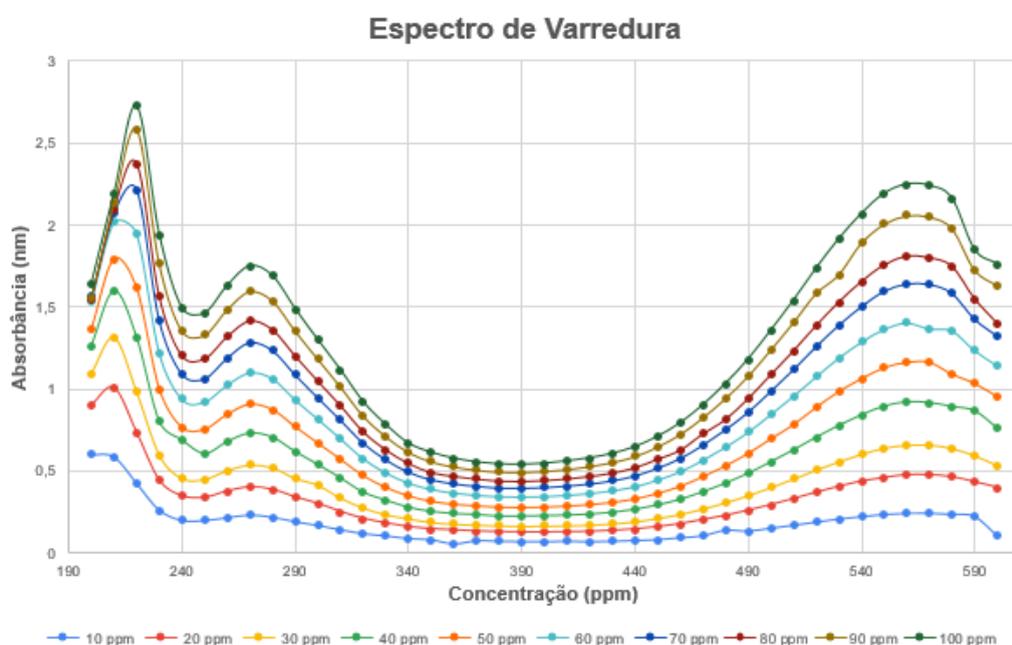


3.2 Análises do corante Acid Blue 113

3.2.1 Quantificação do corante Acid Blue 113

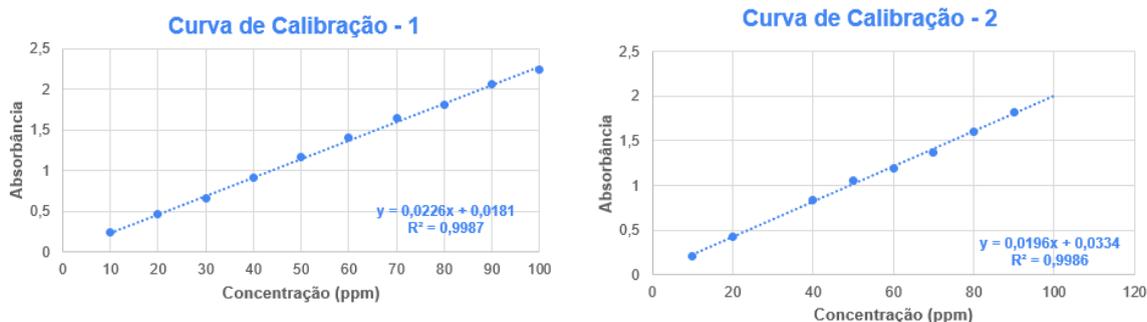
O espectro de absorção UV-Vis do corante Acid Blue 113 em solução aquosa (Figura 8), com varredura entre os comprimentos de onda de 200 a 600 nm, apresentou um melhor comprimento de onda em 560 nm, correspondente à maior absorbância na faixa do visível.

Figura 8. Espectro de absorção do corante Acid Blue 113 na região do UV-Vis.



No comprimento de onda de 560 nm foram construídas as curvas de calibração 1 e 2 (Figura 9), referentes ao corante com duas variáveis: água destilada e sobrenadante da borra do café, de forma a observar a influência de partículas do adsorvente no sobrenadante. O comparativo entre as curvas de calibração impactam na visualização do resultado de adsorção do corante.

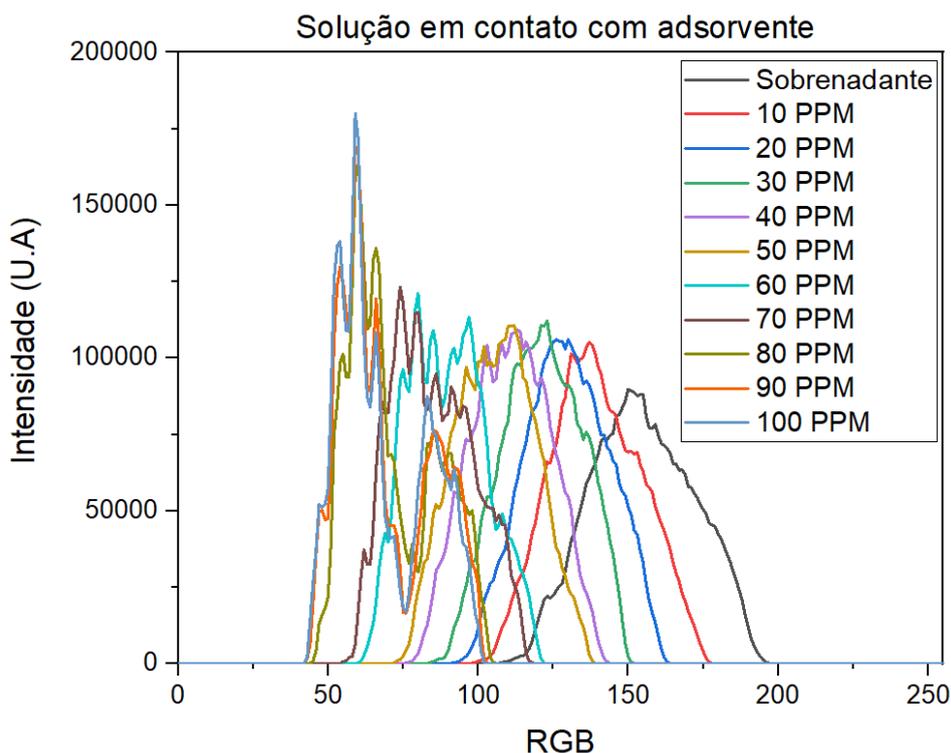
Figura 9. Curva de calibração do corante em água (1) e do corante no sobrenadante (2).



3.2.2 Curva RGB

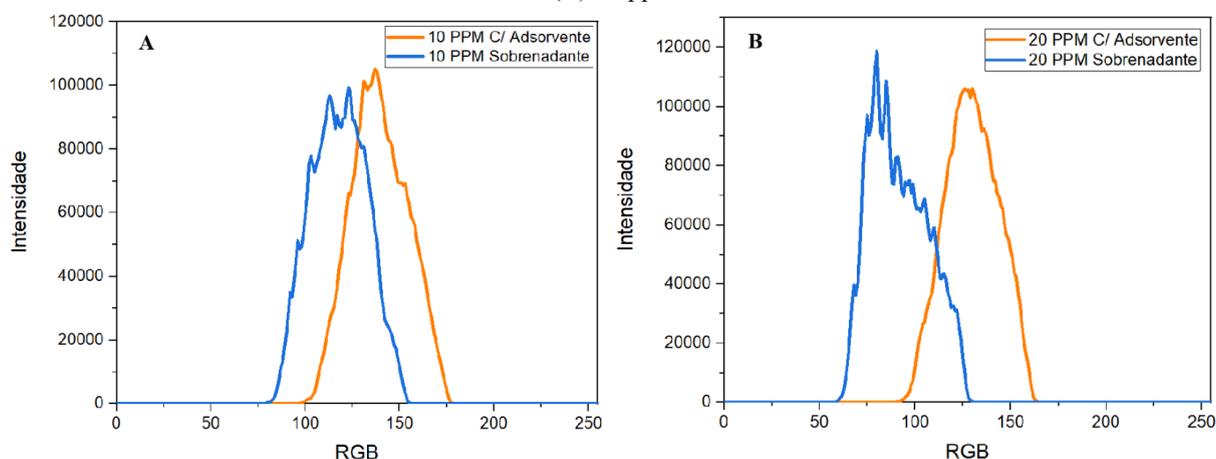
Para a avaliação da eficiência do processo, através de curvas RGB foi necessário realizar alguns testes comparativos entre as amostras, o funcionamento da escala RGB é regido pelos seus respectivos números mínimo e máximo, sendo o 0 referente ao preto (cor mais escura) e o 255 a cor branca (cor mais clara), a leitura pode considerar que quanto maior a concentração de corante, mais os picos estarão deslocado para próximo do 0, por outro lado, quanto menor for a concentração mais deslocado estará o pico para próximo ao 255. Ao aplicar a técnica nas amostras que tiveram contato com o adsorvente e uma amostra apenas do sobrenadante sem o corante (Figura 10), foi possível obter um resultado esperado, onde o pico da amostra de menor concentração (10 ppm) ficou deslocado para mais próximo do 255, enquanto o mais concentrado (100 ppm) ficou mais próximo ao zero mostrando ao todo a divergência nos resultados com base na escala RGB partindo de amostras com diferentes concentrações.

Figura 10. Resultado da estereoscopia nas amostras que tiveram contato com o adsorvente.



No uso da escala RGB como processo avaliação da eficiência da adsorção, se faz necessário um comparativo entre amostras com a mesma concentração, dessa forma a Figura 11 apresenta esse comparativo entre a amostra que foi preparada com o sobrenadante da borra e a que também foi preparada com o sobrenadante da borra mas teve contato com o adsorvente. O claro deslocamento de pico com a mudança apenas da adição do adsorvente, representa a eficiência do material com o propósito proposto.

Figura 11. Comparativo entre amostras que tiveram e que não tiveram contato com adsorvente: (A) 10 ppm e (B) 20 ppm



Conclusões

Com base no estudo apresentado sobre a adsorção do corante ácido Acid Blue 113 utilizando a borra de café como adsorvente, pode-se concluir que o uso de resíduos como a borra de café representa uma alternativa promissora e sustentável para a remoção de corantes têxteis em efluentes aquosos. A utilização de técnicas como a estereoscopia acoplada à escala RGB, aliada a métodos de caracterização, demonstrou bons resultados deste material residual na adsorção de contaminantes.

O estudo, que ainda está em fase de desenvolvimento, destacou que o corante Acid Blue 113, amplamente utilizado na indústria têxtil, através das análises qualitativas do estereoscópio acoplado a escala RGB é eficiente, na remoção utilizando a borra de café, um material de baixo custo e facilmente disponível. As análises, que serão realizadas por espectroscopia UV-Vis, irão confirmar a eficiência do processo de adsorção, que através dos resultados qualitativos, já foram possíveis confirmar o processo adsorptivo. Além disso, o uso de técnicas complementares, como a microscopia eletrônica de varredura e a difração de raios X, permitiu uma compreensão detalhada da estrutura e morfologia do adsorvente, que possui uma amorficidade e uma granulometria desejada para o processo.

Portanto, este trabalho evidencia a relevância da busca por soluções ambientais sustentáveis para o tratamento de efluentes industriais, destacando o potencial da borra de café como adsorvente eficaz e de baixo custo na mitigação do impacto ambiental causado pelos corantes têxteis. Posteriormente, o trabalho terá variações deste adsorventes, visando otimizá-lo, além de outros corantes, como os básicos e neutros.



Referências

- BATISTA, M.J.P. Desenvolvimento e caracterização de filmes de polissacarídeos extraídos de borra de café. Dissertação Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Farmácia, Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos (2023).
- CHAVES, N. O.; DE CARVALHO, L. C. F.; OLIVEIRA, R. M. P. B.. As principais técnicas utilizadas para remoção de corantes das águas residuais da indústria têxtil: uma revisão. *Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia*-ISSN: 14, 1984-5693, 2022.
- DASGUPTA, J. et al. Remediation of textile effluents by membrane based treatment techniques: a state of the art review. *Journal of environmental management*, 147, 55-72, 2015.
- DE CASTRO BERTACCO, T; CERON, L. P.; DOS SANTOS LIKS, L. A. Verificação da capacidade de adsorção da cinza da casca de arroz em efluente de cromo hexavalente em fluxo contínuo Verification of adsorption capacity of rice husk ash in continuous flow hexavalent chromium effluent. *Engvista*, 21, (1), 114-125, 2019.
- GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. *Química Nova*, 23, (1), 71–78, 2000.
- HOLANDA, P. S. B. Estudo do comportamento mecânico e das características de tingimentos de estruturas têxteis de meta-aramida funcionalizadas com polieletrólito PDDACL: Processo Ambientalmente Amigável. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil, 2017.
- KIOR, A. et al. RGB Imaging as a Tool for Remote Sensing of Characteristics of Terrestrial Plants: A Review. *Plants*, v. 13, n. 9, p. 1262, 2024.
- LEDAKOWICZ, S.; SOLECKA, M.; ZYLLA, R. Biodegradation, decolourisation and detoxification of textile wastewater enhanced by advanced oxidation processes. *Journal of biotechnology*, 89, (2-3), 175-184, 2001.
- LESSA, E. F.; NUNES, M. L.; FAJARDO, A. R. Chitosan/waste coffee-grounds composite: An efficient and eco-friendly adsorbent for removal of pharmaceutical contaminants from water. *Carbohydrate polymers*, 189, 257-266, 2018.
- MOURA, H. O. M. A. Investigação do efeito de pré-tratamentos na estrutura de biomassas lignocelulósicas para o isolamento de celuloses de alta reatividade. 2019. Dissertação de Mestrado. Brasil.
- MOURA, H. O. M. A., CAMPOS, L. M. A., DA SILVA, V. L. et al. Investigating acid/peroxide-alkali pretreatment of sugarcane bagasse to isolate high accessibility cellulose applied in acetylation reactions. *Cellulose* 25, 5669–5685 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10570-018-1991-0>
- SAKLY, A. et al. Steric and energetic investigations of adsorption isotherms of methylene blue on new polymeric multi-layered material-based k-carrageenan and alginate. *Desalination and Water Treatment*, 320, 100635, 2024.
- SILVA, M. R. L. Estudo da adsorção dos corantes sintéticos azul de metileno e vermelho do congo e do antibiótico tetraciclina utilizando o argilomineral haloisita. 2024. 129f. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil, 2024.
- VARGAS, A. M. M et al. Preparation and characterization of activated carbon from a new raw lignocellulosic material: Flamboyant (*Delonix regia*) pods. *Journal of environmental management*, 92(1), 178-184, 2011.
- XAVIER, C. S. F. et al.. Secagem e avaliação do bagaço de cana de açúcar como adsorvente de corantes têxteis presentes em soluções aquosas. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 26(1), e12937, 2021.