

UTILIZAÇÃO DA FOLHA DE BANANEIRA IN NATURA COMO ADSORVENTE PARA O CORANTE VIOLETA CRISTAL EM EFLUENTES DA INDÚSTRIA TÊXTIL

Rafael de Jesus Nunes Gomes¹, Caique Santos dos Santos¹, Larissa Santos Conceição¹, Leila Maria Aguilera Campos^{1,2}

¹Universidade Salvador – UNIFACS/INSTITUTO ÂNIMA

²Programa de Pós Graduação em Engenharia Química UNIFACS/UFBA (PPEQ)

E-mail para contato: rafaelgomes09@outlook.com.br

RESUMO

No Brasil, as condições favoráveis do clima e a grande extensão territorial favorecem o cultivo de diferentes espécies de bananeiras, o que acarreta a geração de grandes quantidades de resíduos. Por outro lado, as indústrias têxteis descartam em suas efluentes quantidades consideráveis de corantes, com destaque para o Violeta Cristal (VC), um corante mutagênico e cancerígeno, capaz de ocasionar impactos negativos na biota aquática pois apresenta grande resistência à degradação química, fotoquímica ou biológica. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a capacidade de adsorção do VC utilizando folhas da bananeira como adsorvente, na tentativa de minimizar os impactos ambientais decorrentes deste tipo de descarte nos mananciais hídricos. Para tanto, amostras do corante VC nas concentrações 100 mg/L, 200 mg/L e 300 mg/L e pH 5, 7 e 9 foram colocadas em contato com a biomassa durante 24 horas. O melhor resultado obtido foi referente à condição 300 mg/L e pH 9 com 89,78% de adsorção e capacidade de adsorção equivalente a 2,69 mg/g de biomassa.

PALAVRAS-CHAVE: Adsorção; Violeta Cristal; Folhas de Bananeira.

INTRODUÇÃO

A banana é uma das culturas mais importantes do mundo, devido à sua capacidade nutritiva, valor econômico e facilidade de transporte. Rica em nutrientes, como vitaminas C e B6, e em minerais como fósforo, sódio, potássio, cálcio, magnésio, ferro, cobre, zinco e manganês, a banana se destaca por seus benefícios nutricionais. De acordo com Adsal et al. (2020), o clima tropical favorece o cultivo, como no caso do Brasil, que possui condições climáticas adequadas e ampla extensão territorial, tornando viável o plantio de diversas espécies de bananeiras. Contudo, apesar do curto período de rotação e facilidade de cultivo, após o crescimento do cacho, as folhas deixam de crescer, exigindo o corte do tronco após a colheita. Na maioria das vezes, esse material é descartado no solo sem uso definido, podendo ser aproveitado em processos de adsorção.

A poluição dos mananciais hídricos é um problema global, agravado pela rápida expansão industrial, especialmente no setor têxtil. Os corantes industriais estão entre os poluentes mais prejudiciais associados ao desenvolvimento industrial (DARWEESH *et al.*, 2022). Esses compostos moleculares orgânicos complexos são altamente resistentes à degradação química, fotoquímica ou biológica, causando sérios impactos à biota aquática. O descarte inadequado desses corantes nos mananciais contribui significativamente para a poluição ambiental devido à sua natureza recalcitrante. A presença de “água colorida” reduz a penetração da luz solar, diminuindo os níveis de oxigênio e prejudicando a fotossíntese da vegetação aquática, com impactos negativos na biota (WEKOYE *et al.*, 2020; ELSHERIF *et al.*, 2021).

Dentre os corantes utilizados, o VC, um composto orgânico catiônico derivado do trifenilmetano, é amplamente produzido e utilizado nas indústrias têxteis. Reconhecido como mutagênico e cancerígeno, o VC apresenta riscos significativos (OLOO *et al.*, 2020). Nesse contexto, pesquisas têm buscado alternativas sustentáveis, como processos de adsorção utilizando adsorventes naturais, para remover corantes descartados nos efluentes industriais de maneira eficiente e ambientalmente adequada.

METODOLOGIA

Preparo das folhas de bananeira

As folhas de bananeira foram tratadas, lavadas em ciclos, até que a água ficasse límpida e inodora, secas em estufa, durante 45 minutos, à 100 °C, de forma a alcançar um teor de umidade inferior a 10%, trituradas e, finalmente peneiradas a fim de obter uma granulometria na faixa de 100 mesh.

Preparação das soluções Violeta Cristal (VC)

Foram preparadas 5 soluções VC em diferentes concentrações e Ph. Para as soluções 1 e 2, foram adicionados em um béquer, 25 mg de VC e 100 mL de água destilada, sob agitação constante. Para a solução 3, foram adicionados 50 mg de VC e 100 mL de água destilada e, para as soluções 4 e 5, foram adicionados 75 mg de VC e 100 mL de água destilada. Em seguida, as misturas foram transferidas para uns balões volumétricos de 250 mL e completadas com água destilada até a marca de aferição. O pH das soluções foram ajustados utilizando soluções HCl 0,1M e/ou NaOH 0,1M, com auxílio de um pHmetro e, reservadas.

Determinação do Ponto de Carga Zero (PCZ)

Consiste em identificar em que pH a superfície da folha da bananeira apresenta a mesma quantidade de cargas positivas e negativas. Para tanto, foi utilizada a metodologia proposta por Zanella (2012), a qual se preparou uma mistura contendo 50 mg da biomassa em 50 mL de água, sob diferentes condições de pH, a saber, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12, fazendo os devidos ajustes com soluções de NaOH ou HCl 0,1 mol/L, e ao final de 24 horas, na incubadora, foram feitas novas medições de pH. Em seguida, com os dados de pH inicial e final, foi construído um gráfico pH final versus pH inicial, a fim de identificar a faixa ideal do pH a ser utilizado no processo de adsorção, pois conforme Juchen et al. (2018), o pHPZC corresponde à faixa onde o pH final permanece constante independente do pH inicial.

Processo de adsorção da folha de bananeira

Em 5 erlenmeyers, foram adicionados, separadamente, 5g de folha da bananeira e 50 mL das soluções 1, 2, 3, 4 e 5, previamente preparadas e submetidas à agitação, 250 rpm, à temperatura ambiente, durante 160 minutos. Em seguida, as soluções foram centrifugadas durante 25 minutos, 3600 rpm, cuja fração líquida foi submetida à análise UV-Vis, com comprimento de onda equivalente à 590 nm, com o objetivo de construir a curva de calibração.

Para os cálculos das porcentagens e capacidade de adsorção foram utilizadas, respectivamente, as Equações (1) e (2).

$$\text{Remoção da coloração (\%)} = \frac{C_i - C_e}{C_i} * 100 \quad 1)$$

$$\text{Capacidade de adsorção} = \frac{C_i - C_e}{X} * V \quad 2)$$

Em que:

C_i - Concentração inicial de corante em solução em mg/L;

C_e - Concentração final do corante em solução, em mg/L;

V - Volume da solução, em litros;

X - Massa seca do adsorvente em solução, em g.

Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

Os materiais foram submetidos à análise por espectroscopia no infravermelho, utilizando-se espectrômetro Shimadzu IR Tracer-100 FTIR, na região de 4000 a 400 cm⁻¹.

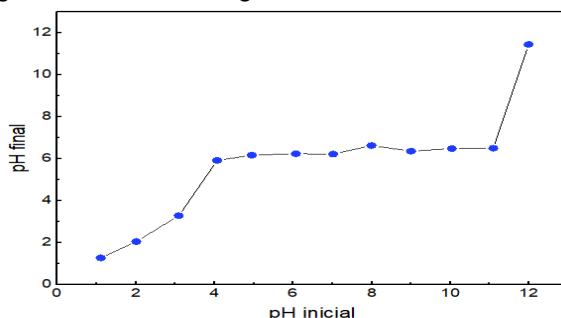
Utilizou-se a técnica da pastilha (disco prensado), adicionando uma quantidade de (0,5 a 1,0 mg) da amostra em aproximadamente 100 mg de brometo de potássio seco e pulverizado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ponto de carga zero (PCZ)

De acordo com Juchen *et al.* (2018), o ponto de carga zero (pH_{PCZ}) é utilizado para caracterizar um material adsorvente, indicando em que pH a superfície do material adsorvente apresentará carga líquida igual a zero. A Figura 1 mostra a variação do pH final em relação ao pH inicial, após 24 horas de agitação.

Figura 1: Ponto de carga zero da folha de bananeira.

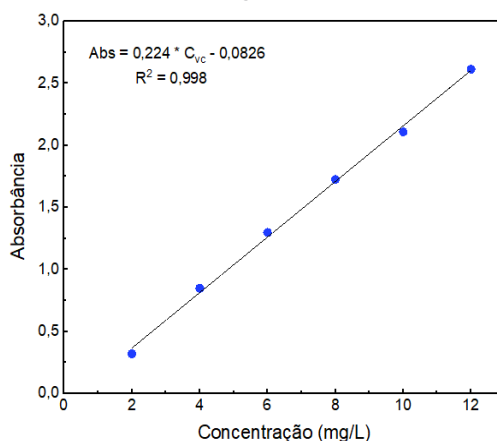


A partir da análise dos resultados, verifica-se que o valor encontrado para o pH_{PCZ} da folha de bananeira foi equivalente a 6,32, evidenciando que o Violeta Cristal é um composto catiônico e, desta forma, a adsorção será favorecida quando o pH da solução for superior ao PCZ da folha da bananeira. Casqueira e Lima (2016) avaliaram a remoção de Cr(III) empregando o pseudocaule da bananeira (*Musa paradisiaca*) como biossorvente e encontraram um pH_{PCZ} de 5,7.

Curva de Calibração

A Figura 2 mostra a curva de calibração do corante Violeta Cristal, considerando uma faixa de concentração de 2 a 12 mg/L.

Figura 2: Curva de calibração do corante violeta cristal.



A curva de calibração apresentou uma significativa linearidade, cujo coeficiente de correlação (R^2) foi equivalente a 0,998, muito próximo de 1, demonstrando uma relação linear positiva evidenciada pelo aumento no valor da absorbância à medida em que aumenta a concentração.

Ensaio de adsorção

As Figura 3 e 4 mostram, respectivamente, a porcentagem de remoção do corante VC e a capacidade de adsorção da folha de bananeira, em função da concentração e do pH, após 160 minutos.

Figura 3: Porcentagem de remoção do corante VC.

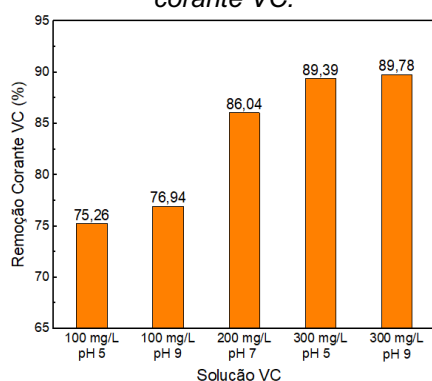
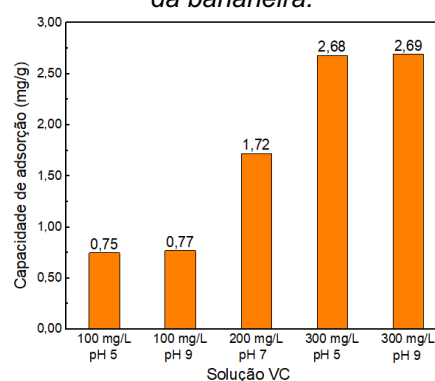


Figura 4: Capacidade de adsorção da folha da bananeira.

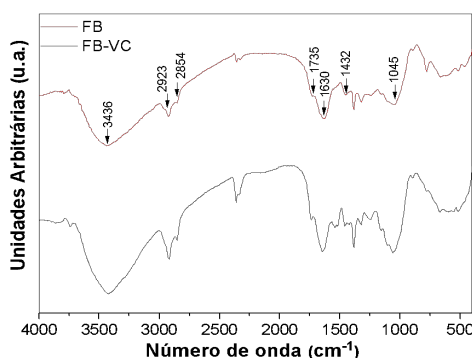


A partir dos resultados obtidos, observou-se que a adsorção do corante Violeta Cristal pela folha de bananeira não sofre influência significativa do pH. Entretanto, vale ressaltar que houve um leve aumento no teor de remoção em virtude das interações eletrostáticas presentes entre as cargas positivas do corante e a superfície da folha da bananeira, quando se aumentou a concentração. Guida *et al.* (2018) obtiveram resultados semelhantes ao trabalhar com argila maranhense nas faixas de concentração de 100 a 300 mg/L e pH 5 e 9. Verificou-se que a concentração foi o principal fator influenciador na adsorção, visto que a remoção do corante foi maior na concentração 300 mg/L. Segundo Sundararaman *et al.* (2016), isso se deve ao fato de que o aumento da concentração inicial do corante Violeta Cristal criou uma força motriz capaz de romper a resistência da transferência de massa entre as fases, ou seja, o aumento da concentração do adsorvato resultou em uma maior quantidade de sítios ativos disponíveis, proporcionando uma melhoria na eficiência da adsorção.

Espectroscopia de infravermelho com Transformada de Fourier (FT-IR)

Na Figura 5 estão representadas as principais bandas de infravermelho (IV) para folha de bananeira antes e após a adsorção do violeta cristal na condição de concentração 200 mg/L e pH 7. Todos os espectros de FTIR após a adsorção apresentaram aspectos semelhantes e, desta forma, foi feita uma escolha aleatória de um deles para efeito comparativo com o espectro da biomassa *in natura*.

Figura 5: Espectro de FTIR da folha de bananeira antes e após a adsorção do corante VC utilizando a folha da bananeira (FB) com concentração de 200 mg/L e com pH 7.



Em ambos os espectros há a presença de uma banda larga em cerca de 3436 cm^{-1} que corresponde ao alongamento dos grupos O-H ligados por hidrogênio de grupos funcionais como álcoois e fenóis e água fisissorvida. As bandas em 2923 cm^{-1} e 2854 cm^{-1} referem-se ao alongamento do grupo C-H, indicando a presença de alcanos e, a banda em 1735 cm^{-1} corresponde à vibração de alongamento das ligações C=O, correspondentes às funções éster e ácido carboxílico presentes na lignina, pectina e hemicelulose. As bandas em 1630 cm^{-1} e 1432 cm^{-1} referem-se ao alongamento das ligações C=C de compostos aromáticos. Por fim, a banda em 1045 cm^{-1} corresponde à deformação no plano C-O de compostos aromáticos e funções acetil e ácido carboxílico (LOULIDI *et al.*, 2020; PATIL *et al.*, 2020). De maneira geral, o espectro FTIR obtido para folha de bananeira antes e após o processo de adsorção apresentou comportamento semelhante quanto à característica de bandas, havendo mudanças sutis

(deslocamento/intensidade) após a adsorção, ou seja, os grupos funcionais existentes, tais como álcoois, fenol, ácido carboxílico, grupo carbonila e éster, estiveram envolvidos ativamente na adsorção de VC (SHOUKAT *et al.*, 2017; JUCHEM *et al.*, 2018).

CONCLUSÃO

A análise dos resultados evidenciou que a alteração do pH não teve influência na eficiência do processo de adsorção do corante Violeta Cristal pela folha de bananeira *in natura*, não se mostrando relevante quanto à capacidade de adsorção, entretanto, a concentração exerceu uma influência significativa, tendo sido constatada uma diferença de 14,52% entre as soluções menos e mais concentradas. A maior taxa de remoção do corante ocorreu na solução 300 mg/L e pH 9, com 89,78%. A partir desses resultados preliminares podemos vislumbrar a possibilidade de utilizar essa biomassa como adsorvente de corantes, entretanto torna-se necessário analisar outros parâmetros tais como, temperatura, razão adsorvente/adsorvato, dentre outros, a fim de comprovar a eficiência da folha da bananeira como adsorvente de corantes.

REFERÊNCIAS

- CASQUEIRA, R. G.; LIMA, A. C. Avaliação da remoção de Cr(III) empregando o pseudocaule da bananeira (*musa paradisiaca*) como bioadsorvente. *Engvista*, v. 18, n. 1, p. 174, 2016.
- DARWEESH, M. A; ELGENDY, M. Y; AYAD, M. I; AHMED, A. M; ELSAYED, N. M. K; HAMMAD, W. A. Adsorption isotherm, kinetic, and optimization studies for copper (II) removal from aqueous solutions by banana leaves and derived activated carbon. *South African Journal of Chemical Engineering*, v. 40, pg. 10-20, 2022.
- ELSHERIF, K. M; EL-DALI, A; ALKAREWI, A. A; EWLAD-AHMED, A. M; TREBAN, A. Adsorption of crystal violet dye onto olive leaves powder: Equilibrium and kinetic studies. *Chemistry International*. v. 7, pg. 79-89, 2021
- GUIDA, I. I. S.; FALCÃO, S. S. Remoção do Corante Textil Violeta Cristal Utilizando Argila Maranhense de Montes Altos Como Adsorvente. *Revista Virtual Química*, v. 10, pg. 1087-1099, 2018.
- JUCHEN, P. T. PIFFER, H. H. VEIT, M. T. GONÇALVES, G. C. PALÁCIO, S. M. ZANETTE, J. C. Biosorption of reactive blue BF-5G dye by malt bagasse: kinetic and equilibrium studies. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 6, n. 6, p. 7111-7118, 2018.
- LOULIDI, I. BOULHLIFI, F. OUCHABI, M. AMAR, A. JABRI, M. KALI, A. CHRAIBI, S. HADEY, C. AZIZ, F. Adsorption of Crystal Violet onto an Agricultural Waste Residue: kinetics, isotherm, thermodynamics, and mechanism of adsorption. *The Scientific World Journal*, v. 2020, p. 1-9, 2020.
- OLOO, C. M; ONYARI, J. M; WANYONYI, W. C; WABOMBA, J. N; MUINDE, V. M. Adsorptive removal of hazardous crystal violet dye from aqueous solution using *Rhizophora mucronata* stem-barks: Equilibrium and kinetics studies. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, v 2, 64-72, 2020.
- PATIL, S. R.; SUTAR, S. S.; JADHAV, J. P. Sorption of crystal violet from aqueous solution using live roots of *Eichhornia crassipes*: kinetic, isotherm, phyto and cyto-genotoxicity studies. *Environmental Technology & Innovation*, v. 18, p. 100648, 2020
- SUNDARARAMAN, B. MUTHURAMU, K. L. A comparison of mango seed kernel powder, mango leaf powder and Manilkara zapota seed powder for decolorization of methylene blue dye and antimicrobial activity. *Journal of Environmental Biology*, v. 37, pg. 1315-1321, 2016.
- SHOUKAT, S. et al. Mango stone biocomposite preparation and application for crystal violet adsorption: a mechanistic study. *Microporous and Mesoporous Materials*, v. 239, p. 180-189, 2017.
- SINGH, R. K; PANDEY, D; PATIL, T; SAWARKAR, A. N. Pyrolysis of banana leaves biomass: Physico-chemical characterization, thermal decomposition behavior, kinetic and thermodynamic analyses. *Bioresource Technology*, v310, 2020.
- TARRÉS, Q; ESPINOSA, E; DOMÍNGUEZ-ROBLES, J; RODRÍGUEZ, A; MUTJÉ, P; DELGADO-AGUILAR, M. The suitability of banana leaf residue as raw material for the production of high lignin content micro/nano fibers: From residue to value-added products. *Industrial Crops and Products*, v 99, 27-33, 2017.
- WEKOYE, J. N; WANYONYI, W. C; WANGILA, P. T; TONUI, M. K. Kinetic and equilibrium studies of Congo red dye adsorption on cabbage waste powder. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, v. 3, 131-132, 2021.

FOMENTO

O trabalho teve a concessão de Bolsa pelo Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Tecnológica e Inovação (PIBITI), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da FAPESB.