

## **II-622 - ADSORÇÃO DO CORANTE INDUSTRIAL ANIÔNICO VERMELHO BX 400% UTILIZANDO CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

### **Joana Eliza de Santana<sup>(1)</sup>**

Engenheira Química pela UFPE, com Técnico em Química Industrial pelo IFPE, especialização em Engenharia Ambiental e Saneamento Básico pela Universidade Estácio de Sá e Mestrado em Engenharia Civil pela UFPE. Técnica de Laboratório da UFPE.

### **Matheus Luiz da Silva Oliveira**

Graduando em Engenharia Química pela UFPE.

### **Fábio Gabriel Silva de Andrade**

Técnico em Química Industrial pelo IFPE. Graduando em Química Industrial pela UFPE.

### **Aldebarã Fausto Ferreira**

Engenheiro Químico pela UFPE, com Técnico em Eletrônica pelo IFPE, especialização em Gestão Integrada da Qualidade, Auditoria e Certificações pela FAFIRE e Mestrado em Ciência dos Materiais pela UFPE. Doutorando em Química pela UFPE e Engenheiro Químico da COMPESA.

### **Maurício Alves da Motta Sobrinho**

Engenheiro químico pela Universidade Católica de Pernambuco. Mestre em Engenharia química pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Doutor em Engenharia de processos pelo Institut National Polytechnique de Lorraine. Pós-Doutorado na UFPE e na UMINHO (Portugal). Professor Titular e coordenador do curso de Eng. Química do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco. Editor Adjunto da Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. dos Economistas, s/n, Cidade Universitária, Recife-PE, CEP: 50740-590, Brasil - Tel: (81) 21267267 - e-mail: [joana.santana@ufpe.br](mailto:joana.santana@ufpe.br)

## **RESUMO**

Neste estudo, a cinza do bagaço da cana-de-açúcar, gerada como resíduo da usina de açúcar, foi utilizada como adsorvente para a remoção do Vermelho BX 400% (VB) de solução aquosa. Esse corante é largamente utilizado no ramo industrial. Os dados de caracterização da cinza mostraram que a sílica é o composto inorgânico presente em quantidade mais expressiva, quando comparado aos demais; a área superficial BET tem valor de  $62,79 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$  e o diâmetro médio dos poros é igual a  $3,366 \text{ nm}$ ; o ponto de carga zero ( $\text{pH}_{\text{pzc}}$ ) foi de 8,45 e as micrografias eletrônicas de varredura evidenciaram a estrutura porosa do adsorvente; a análise de DRX confirmou a presença de sílica ( $\alpha\text{-SiO}_2$ ). Em relação aos testes adsorptivos, os modelos cinéticos Pseudo-primeira ordem, Pseudo-segunda ordem, Intrapartícula e Elovich foram usados para ajustar os dados experimentais. O modelo de pseudo-segunda ordem foi o que melhor representou a cinética de adsorção. As isotermas de equilíbrio foram analisadas pelas equações de Langmuir e Freundlich, ambas com ajustes linear e não linear, usando coeficientes de correlação e fator qui-quadrado. A equação de Freundlich foi a que melhor representou os dados de equilíbrio para a remoção de VB pela cinza. Os testes mostraram que a capacidade de adsorção experimental chegou a  $10,20 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  em pH 2,0. A cinza, que foi utilizada sem nenhum pré-tratamento, parece ter potencial para ser utilizada como adsorvente para mitigar efluentes com corante VB em baixas concentrações.

**PALAVRAS-CHAVE:** Remoção de corante, Sustentabilidade, Cinética de adsorção, Isotermas, Resíduo de usina.

## **INTRODUÇÃO**

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar [1], um produto extremamente versátil e grande protagonista no setor sucroenergético. A Conab estima que a produção de cana-de-açúcar na safra 2021/2022

tenha atingido 585,2 milhões de toneladas [2]. Nessa mesma safra, a produção de álcool totalizou 26,8 bilhões de litros, sendo 16,2 bilhões do tipo hidratado, e 10,6 bilhões do anidro. Já a produção de açúcar foi de 35 milhões; em que, desse total, 26,0 milhões foram exportados [3]. Esses altos números confirmam a importância da cana-de-açúcar como commodity.

Na indústria sucroalcooleira, o bagaço é gerado em grande quantidade, aproximadamente 30% do peso da cana total moída [4]. Essa biomassa é queimada em caldeiras de alta pressão para geração de vapor e eletricidade, tornando algumas indústrias autossuficientes em energia e oferecendo a possibilidade de venda do excedente. O processo de queima do bagaço gera, como resíduo, a cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA), que, se não for disposta corretamente, pode configurar sério problema ambiental.

Contendo alto teor de sílica,  $\text{SiO}_2$ , a cinza do bagaço tem sido muito estudada para fins de construção, como por exemplo, como aditivo mineral na fabricação de cimentos e cerâmicas, na fabricação de concreto reforçado, com o intuito de reduzir a corrosão por cloretos, assim como na preparação de pastas e argamassas [5]. Outros estudos mostraram que a cinza também é utilizada para produzir diversos materiais que podem ser adsorventes, sílica mesoporosa, zeólitas, imobilizadores em reatores e abrasivos secundários [5,6,7].

Das aplicações citadas, o aproveitamento da cinza como adsorvente se torna uma alternativa atraente, especialmente se o adsorvente for barato e prontamente disponível, como é o caso. Ela poderia ser utilizada por indústrias que gerem efluentes contaminados com corantes. O corante Vermelho BX 400% tem ampla aplicação industrial, sendo utilizado em produtos de uso doméstico, como, por exemplo, detergentes líquidos, sabões em barra e saneantes. Desses últimos, podem ser citados os álcoois etílicos 46° e 70° INPM, com corantes utilizados para fins estritamente comerciais, diferenciando, por exemplo, os perfumados dos sem aroma. Além disso, o álcool 80° INPM também pode ser produzido e comercializado como acendedor, de uso especial em churrasqueiras, lareiras, réchauds, aparelhos para fondue e espiriteiras; esse tende a ser comercializado em cores vibrantes, chamando atenção para a sua finalidade. Este corante também é utilizado em cosméticos, na indústria papelreira, em tintas à base de água, para tingir fibras naturais e sintéticas, couro e fotografias [8].

Sendo assim, a cinza do bagaço da cana-de-açúcar, considerada um resíduo, poderia ser valorizada e utilizada como adsorvente, sendo aplicada em indústrias na remoção de corantes de seus efluentes.

## OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho são caracterizar as cinzas geradas a partir da queima do bagaço em caldeiras de alta pressão e cedidas gentilmente pela Usina Petribu, localizada no município de Lagoa do Itaenga-PE, Brasil; e realizar um estudo da adsorção do corante Vermelho BX 400% por essa cinza, avaliando a aplicabilidade de modelos cinéticos e isotérmicos, além de determinar como o pH afeta a sua capacidade de adsorção.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A CBCA foi seca a 105°C por cerca de 24 horas. Em seguida, foi peneirada, e a parte com granulometria < 0,25 mm foi utilizada como adsorvente.

A composição química da CBCA foi determinada por fluorescência de raios-X (FRX) e a análise mineralógica por difração de raios-X (DRX). A área de superfície específica foi medida por isoterma de adsorção-dessorção de  $\text{N}_2$  usando o método Brunauer–Emmett–Teller (BET) e o diâmetro médio dos poros foram avaliados. A análise termogravimétrica (TGA) foi realizada na faixa de 27 a 1000°C com fluxo de  $\text{N}_2$  e taxa de aquecimento igual a 10°C/min; da curva TGA, foi obtida a curva termogravimétrica derivada (DTG).

O ponto de carga zero ( $\text{pH}_{\text{pcz}}$ ) do adsorvente foi obtido conforme metodologia adaptada [9], em que foram avaliados 11 pontos de pH inicial (2 a 12) utilizando solução salina de NaCl 0,1M.

Para a adsorção do Vermelho BX 400% (VB) utilizando como adsorvente a CBCA, os experimentos foram realizados em duplicata e conduzidos em shaker à temperatura de  $30 \pm 1$  °C. As soluções sintéticas de VB foram

preparadas com água destilada. Uma massa de 0,1 g de adsorvente foi adicionada às alíquotas de 25 mL de solução de VB, sob velocidade de agitação de 300 rpm. Ao final de cada experimento, as amostras foram centrifugadas e as concentrações finais foram determinadas por um espectrofotômetro UV-Visível no comprimento de onda de 520 nm.

Para experimentos cinéticos, o tempo de contato variou de 5 a 360 min com soluções de concentração igual a 30 mg.L<sup>-1</sup>. Os modelos avaliados neste trabalho foram Pseudo-primeira ordem (PPO) [10], Pseudo-segunda ordem (PSO) [10], Elovich [11] e Intrapartícula [11].

Para experimentos de equilíbrio, foram utilizadas diferentes concentrações do corante que variaram de 2,5 a 120 mg.L<sup>-1</sup>. Os frascos foram colocados em agitador até atingir o equilíbrio. Os dados experimentais foram ajustados aos modelos de Langmuir e Freundlich [12, 13, 14], considerando ajustes lineares e não lineares.

O efeito do pH inicial (pH<sub>0</sub>) na remoção do corante foi estudado em uma faixa de pH de 2 a 12, sendo a concentração inicial do VB, massa do adsorvente e temperatura iguais a 30 mg.L<sup>-1</sup>, 0,1 g e 30±1 °C, respectivamente. Os frascos foram colocados em agitador até atingir o equilíbrio. O pH<sub>0</sub> foi ajustado pela adição de soluções aquosas diluídas de HCl ou NaOH.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### CARACTERIZAÇÃO DA CINZA

A composição química da CBCA determinada usando FRX é mostrada na Tabela 1. Esses valores são condizentes com aqueles obtidos convencionalmente para essas cinzas [5]. As imagens MEV da CBCA são representadas na Figura 1 e evidenciam a estrutura porosa que surge das células de armazenamento do caldo.

**Tabela 1: Constituintes químicos (%) da CBCA determinados por FRX.**

Constituinte químico	(%)
SiO <sub>2</sub>	52,404
CaO	5,262
K <sub>2</sub> O	5,002
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,086
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,979
MgO	2,100
SO <sub>3</sub>	1,298
Na <sub>2</sub> O	0,993
TiO <sub>2</sub>	0,519
Cl	0,275
MnO	0,206
ZnO	0,053
SrO	0,046
BaO	0,046
CuO	0,031
ZrO <sub>2</sub>	0,031
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,023
RbO	0,015
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,008
Perda ao fogo	23,632

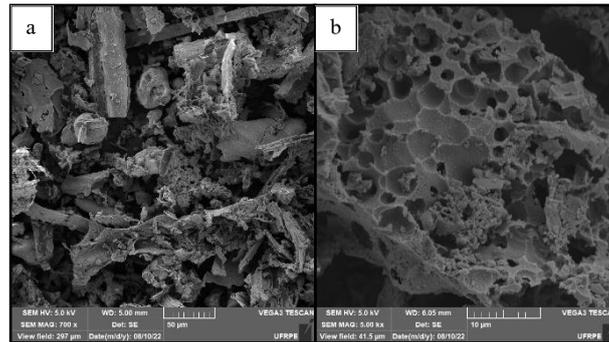


Figura 1: Microscopia eletrônica de varredura da CBCA com aumento de: a) 700 x; b) 5000 x.

Na Figura 2, em que é apresentado o padrão DRX, pode-se observar o caráter amorfo das cinzas (fundo DRX, onde o pico alargado de máximo em  $23^\circ$  é causado pelo componente amorfo) e principalmente sílica ( $\alpha\text{-SiO}_2$ ); percebe-se também a formação de silicato de cálcio e fases de aluminato de cálcio, estando de acordo com outros trabalhos [5,15].

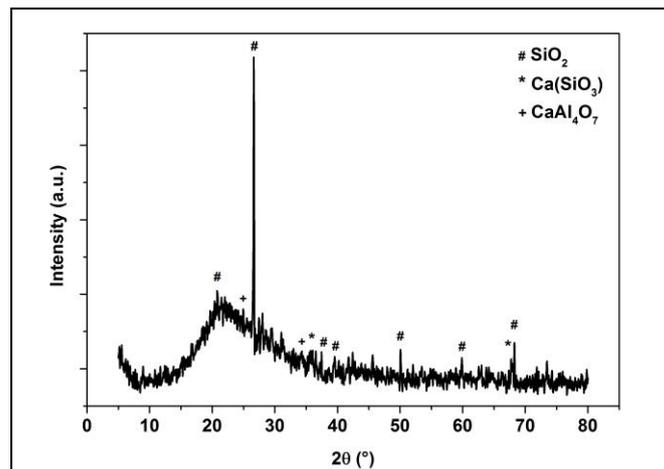


Figura 2: Padrão de difração de raios X da CBCA.

Em relação a caracterização textural da CBCA, a área superficial específica BET foi de  $62,79 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ , um valor pequeno, mas deve-se levar em consideração que as cinzas não passaram por processos de ativação. O diâmetro médio dos poros foi igual a  $3,37 \text{ nm}$ , classificado, segundo a IUPAC, como mesoporoso [16].

As curvas TGA/DTG da CBCA são apresentadas na Figura 3. Conforme observado, existem quatro eventos térmicos principais: em  $42,12^\circ \text{C}$ ,  $312,38^\circ \text{C}$ ,  $534,75^\circ \text{C}$  e  $916,11^\circ \text{C}$ ; eles se referem à eliminação de substâncias voláteis, evaporação da umidade e combustão de carbono remanescentes da queima do bagaço [17]. A perda de massa total foi de  $24,28\%$ , o que condiz com a análise de FRX, em que a perda ao fogo foi de  $23,63\%$ .

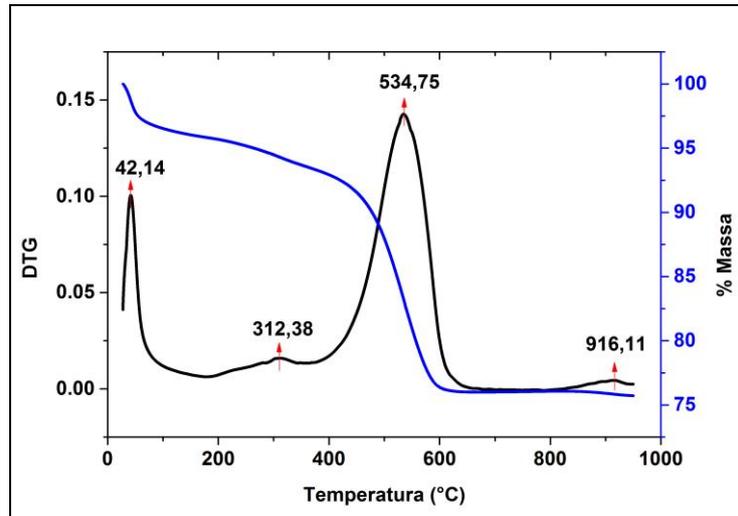


Figura 3: Curva de TGA/DTG da CBCA.

O ponto de carga zero tem sido definido tradicionalmente como o valor de pH para o qual a densidade de superfície de cargas positivas é igual à de cargas negativas (ou seja, carga elétrica líquida igual a zero); é um parâmetro característico para determinada superfície de um sólido em determinada solução aquosa (eletrólito) [18,19]. Seu conhecimento é importante para prever a ionização dos grupos funcionais de superfície e sua interação com as espécies em solução; para valores de pH inferiores ao  $pH_{pcz}$ , a carga superficial é positiva e a adsorção de ânions é favorecida [20]. Obteve-se o gráfico de pH inicial versus  $\Delta pH$  (Figura 4) e o ponto de interseção nulo correspondeu ao potencial de carga zero. O  $pH_{pcz}$  para o adsorvente deste estudo foi de 8,45. Como o corante VB é aniônico, a faixa que deve ser utilizada no teste é de  $pH < 8,45$ .

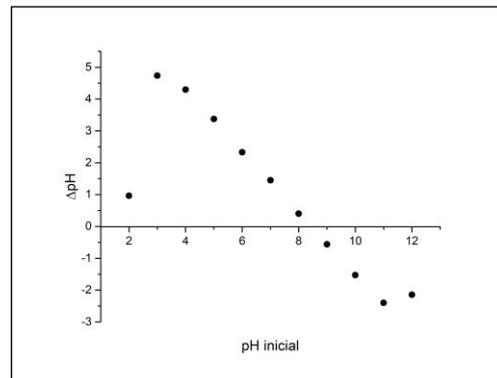


Figura 4: Determinação de  $pH_{pcz}$  para cinza do bagaço da cana-de-açúcar.

## ESTUDO DE ADSORÇÃO

Os parâmetros cinéticos estão descritos na Tabela 2. O experimento cinético mostrou que o estado de equilíbrio foi alcançado em 240 min (Figura 5). O modelo de pseudo-segunda ordem foi o que melhor se ajustou os dados experimentais, com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual a 0,989 e fator qui-quadrado ( $\chi^2$ ) igual a 0,0038. Neste modelo, assume-se que a etapa limitante da velocidade pode ser a adsorção de superfície envolvendo quimissorção, onde a remoção do composto de uma solução é devido a interações físico-químicas entre adsorvente e adsorvato [21,22].

Tabela 2: Parâmetros cinéticos para adsorção de VB pela CBCA.

	PPO	PSO	Elovich	Intrapartícula
$q_e$	1,82	$q_e$ 2,12	a 0,088	$k_{id}$ 0,098
$k_1$	0,020	$k_2$ 0,011	b 2,10	I 0,297
$R^2$	0,966	$R^2$ 0,989	$R^2$ 0,983	$R^2$ 0,902
$\chi^2$	0,011	$\chi^2$ 0,0038	$\chi^2$ 0,0058	$\chi^2$ 0,034

Em que:  $q_e$  ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ );  $k_1$  ( $\text{min}^{-1}$ );  $k_2$  ( $\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ); a ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ); b ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ );  $k_{id}$  ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1/2}$ ); I ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ).

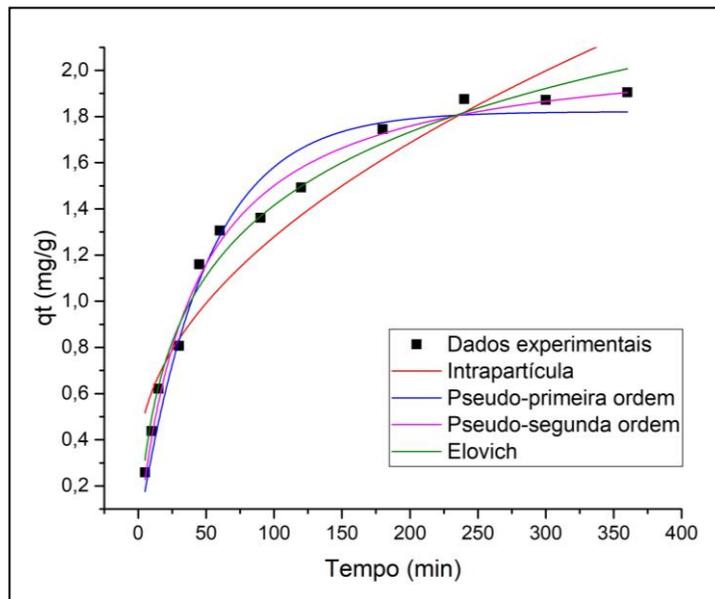


Figura 5: Dados cinéticos de adsorção de VB pela CBCA.

No teste que verifica a influência do  $\text{pH}_0$  na adsorção, a CBCA teve adsorção máxima de VB igual a 77% em  $\text{pH}_0 = 2,0$ . A remoção caiu para uma média de 35% na faixa de  $\text{pH}_0$  de 3 a 9. Deste valor de pH em diante, a remoção caiu até se tornar nula em  $\text{pH}_0 12$ , conforme mostrado na Figura 6. O corante tem densidade de carga negativa e em pH muito ácido há excesso de íons  $\text{H}^+$  na solução, que não competem com o corante pela adsorção, já que o adsorvente possui carga positiva em  $\text{pH} < 8,45$ ; isso condiz com o fato de a adsorção ocorrer melhor em  $\text{pH}_0$  tão baixo. Sendo assim, o estudo do equilíbrio foi feito em  $\text{pH} = 2,0$ .

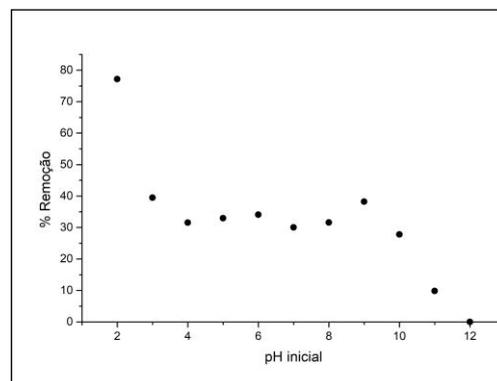


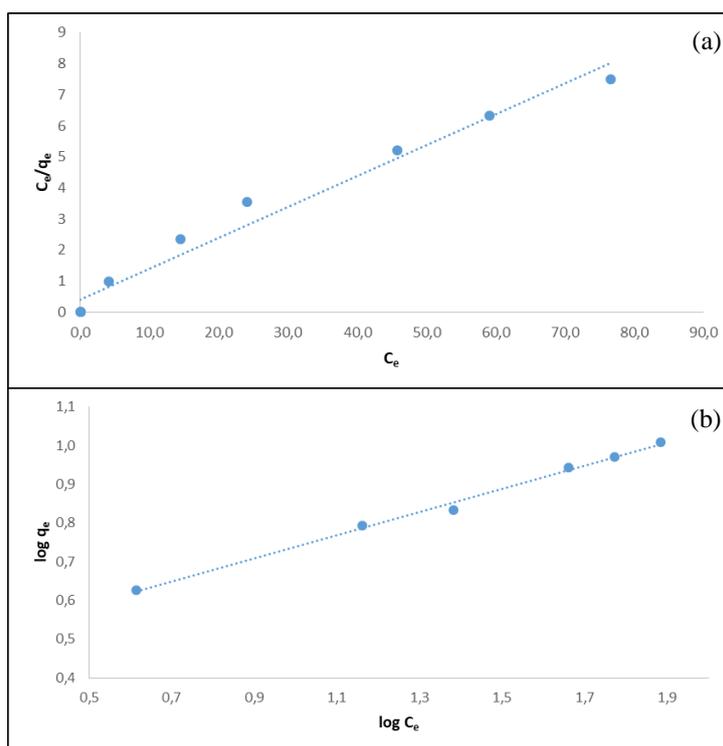
Figura 6: Efeito do  $\text{pH}_0$  na adsorção do corante VB pela CBCA.

Os experimentos de equilíbrio de adsorção mostraram que a capacidade adsorptiva experimental chega a  $10,20 \text{ mg.g}^{-1}$ , a temperatura de  $30^\circ\text{C}$  e  $\text{pH} = 2$ . Para modelagem dos dados obtidos foram testados dois modelos de isoterma em que os parâmetros de equilíbrio estão descritos na Tabela 3. Observa-se que o modelo de Freundlich foi o que melhor se ajustou aos dados de equilíbrio (Figuras 7 e 8). A isoterma de Freundlich é conveniente quando se pretende descrever um sistema adsorptivo não ideal e reversível, em superfícies heterogêneas (os sítios de superfície adsorvente têm um espectro de diferentes energias de ligação), não restrita à formação de monocamada, podendo ser aplicado à adsorção multicamadas [23, 24]. Esse resultado corrobora com o fato de a cinza ser proveniente do bagaço de cana-de-açúcar, que apresenta microestrutura heterogênea, e o seu processo de queima extremamente turbulento.

**Tabela 3: Parâmetros de equilíbrio para a adsorção de VB pela CBCA.**

	Langmuir (linear)	Langmuir (não linear)	Freundlich (linear)	Freundlich (não linear)
$q_m$	10,04	$q_m$ 10,72	$K_F$ 2,74	$K_F$ 2,68
$K_L$	0,252	$K_L$ 0,107	n 3,32	n 3,26
		$\chi^2$ 1,611		$\chi^2$ 1,304
$R^2$	0,976	$R^2$ 0,872	$R^2$ 0,995	$R^2$ 0,896

Em que:  $q_m$  ( $\text{mg.g}^{-1}$ );  $K_L$  ( $\text{L.mg}^{-1}$ );  $K_F$  [ $(\text{mg.g}^{-1}).(\text{mg.L}^{-1})^{-1/n}$ ].



**Figura 7: Gráficos das isotermas de equilíbrio linearizadas de Langmuir (a) e Freundlich (b) para a adsorção de VB pela CBCA.**

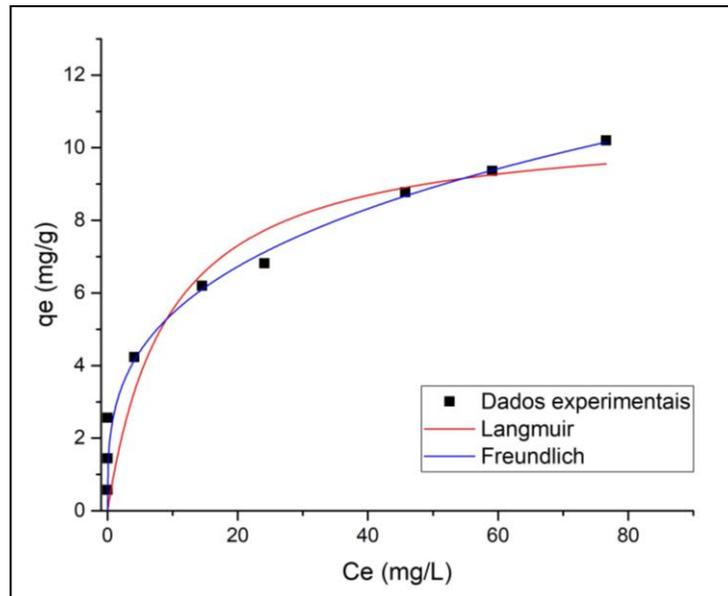


Figura 8: Isotermas de equilíbrio não linearizadas para a adsorção de VB pela CBCA.

## CONCLUSÕES

O presente estudo mostra que a cinza do bagaço da cana-de-açúcar, resíduo obtido da usina Petribu, pode ser utilizada como adsorvente para a remoção do corante Vermelho BX 400% em solução aquosa. O estudo cinético mostrou que o equilíbrio foi alcançado em 240 min, sendo a cinética de adsorção melhor representada pelo modelo de Pseudo-segunda ordem. O teste da influência do pH mostrou que a adsorção máxima do corante pela cinza (77%) ocorreu em pH<sub>0</sub> igual a 2,0. Para o estudo de equilíbrio no pH<sub>0</sub> ótimo, os testes de adsorção mostraram uma capacidade adsorptiva experimental atingindo 10,20 mg.g<sup>-1</sup>. Os resultados mostraram que a isoterma de Freundlich descreveu bem o comportamento de adsorção do corante nas faixas de concentração estudadas. A cinza do bagaço da cana-de-açúcar, que foi apenas seca e peneirada, parece ter potencial para ser utilizado como adsorvente na remoção do corante Vermelho BX 400% em soluções de baixa concentração.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FAOSTAT — Food and Agriculture Organization of the United Nations. Countries by commodity. Disponível em: [https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries\\_by\\_commodity](https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity). Acesso em: 05 dez. 2022.
- [2] CONAB — Companhia Nacional de Abastecimento. Série Histórica das Safras. Brasília: 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>. Acesso em: 05 dez. 2022.
- [3] CONAB — Companhia Nacional de Abastecimento. Análise mensal da cana-de-açúcar (setembro/outubro 2022). Brasília: 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 05 dez. 2022.
- [4] Landi, F. R. (Coord.). Notícias FAPESP. Edição 30, abril de 1998. Disponível em: <[www.revistapesquisa.fapesp.br](http://www.revistapesquisa.fapesp.br)>. Acesso em: 20 dez. 2022.
- [5] Patel, H. Environmental valorisation of bagasse fly ash: a review. RSC Advances, v. 10, n. 52, p. 31611–31621, 2020.
- [6] Sriatun, S.; Taslimah, T.; Suyati, L. Synthesis of Zeolite from Sugarcane Bagasse Ash Using Cetyltrimethylammonium Bromide as Structure Directing Agent. Indonesian Journal of Chemistry, [S.l.], v. 18, n. 1, p. 159-165, feb. 2018.
- [7] Rahman, N. A.; Widhiana, I.; Juliastuti, S. R.; Setyawan, H. Synthesis of mesoporous silica with controlled pore structure from bagasse ash as a silica source. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, v. 476, p. 1–7, 2015.
- [8] CHHABRA, M.; MISHRA, S.; SREEKRISHNAN, T. R. Immobilized laccase mediated dye decolorization and transformation pathway of azo dye acid red 27. Journal of Environmental Health Science and Engineering, v. 13, n. 1, 2015.

- [9] Mahmood, T.; Saddique, M.T.; Naem, A.; Westerhoff, P.; Mustafa, S.; Alum, A. Comparison of different methods for the point of zero charge determination of NiO. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v. 50, n. 17, p. 10017 – 10023, 2011.
- [10] Revellame, E. D.; Fortela, D. L.; Sharp, W.; Hernandez, R.; Zappi, M. E. Adsorption kinetic modeling using pseudo-first order and pseudo-second order rate laws: A review. *Cleaner Engineering and Technology*, v. 1, 2020.
- [11] Wu, F.-C.; Tseng, R.-L.; Juang, R.-S. Characteristics of Elovich equation used for the analysis of adsorption kinetics in dye-chitosan systems. *Chemical Engineering Journal*, v. 150, n. 2-3, p. 366–373, 2009.
- [12] Nascimento, R. F.; Lima, A. C. A.; Vidal, C. B.; Melo, D. Q.; Raulino, G. S. C. Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais - Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014.
- [13] Ahmed, M. J.; Dhedan, S. K. Equilibrium isotherms and kinetics modeling of methylene blue adsorption on agricultural wastes-based activated carbons. *Fluid Phase Equilibria*, v. 317, p. 9–14, 2012.
- [14] Foo, K. Y.; Hameed, B. H. Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical Engineering Journal*, v. 156, n. 1, p. 2–10, 2010.
- [15] Ribeiro, D. V.; Morelli, M. R. Effect of Calcination Temperature on the Pozzolanic Activity of Brazilian Sugar Cane Bagasse Ash (SCBA). *Materials Research*, v. 17, n. 4, p. 974–981, 2014.
- [16] Rouquerol, J.; Avnir, D.; Fairbridge, C. W.; Everett, D. H.; Haynes, J. M.; Pernicone, N.; Ramsay, J. D. F.; Sing, K. S. W.; Unger, K. K. Recommendations for the characterization of porous solids (Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, v. 66, n. 8, p. 1739–1758, 1994.
- [17] Cordeiro, G. C.; Toledo Filho, R. D.; Fairbairn, E. M. G. Caracterização de cinza do bagaço de cana-de-açúcar para emprego como pozolana em materiais cimentícios. *Quim. Nova*, v. 32, n. 1, p. 82-86, 2009.
- [18] Rey, C.; Combes, C.; Drouet, C.; Grossin, D.; Bertrand, G.; Soulié, J. Bioactive Calcium Phosphate Compounds: Physical Chemistry. *Comprehensive Biomaterials II*, p. 244–290, 2017.
- [19] Sposito, G. On Points of Zero Charge. *Environmental Science & Technology*, v. 32, n. 19, p. 2815–2819, 1998.
- [20] Freitas, F. B. A.; Câmara, M. Y. F.; Martins, D. F. F. Determinação do PCZ de adsorventes naturais utilizados na remoção de contaminantes em soluções aquosas. *Blucher Chemistry Proceedings*, v. 3, n. 1, p. 610-618, 2015.
- [21] Robati, D. Pseudo-second-order kinetic equations for modeling adsorption systems for removal of lead ions using multi-walled carbon nanotube. *Journal of Nanostructure in Chemistry*, v. 3, n. 55, 2013.
- [22] Ho, Y. S.; McKay, G. Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochemistry*, v. 34, n. 5, p. 451–465, 1999.
- [23] Ayawei, N.; Ebelegi, A. N.; Wankasi, D. Modelling and Interpretation of Adsorption Isotherms. *Journal of Chemistry*, v. 2017, p. 1–11, 2017.
- [24] Pezoti, O.; Cazetta, A. L.; Bedin, K. C.; Souza, L. S.; Martins, A. C.; Silva, T. L.; Santos Júnios, O. O.; Visentainer, J. V.; Almeida, V. C. NaOH-activated carbon of high surface area produced from guava seeds as a high-efficiency adsorbent for amoxicillin removal: Kinetic, isotherm and thermodynamic studies. *Chemical Engineering Journal*, v. 288, p. 778–788, 2016.