

Adsorção de azul de metileno em materiais adsorventes produzidos a partir do resíduo da extração de compostos bioativos de casca de jabuticaba (*Plinia cauliflora*)

Natália Nara Janner¹, Pietro Serraglio Figueiredo¹, Alaor Valério Filho² e Gabriela Silveira da Rosa³

¹ Universidade Federal do Pampa, Campus Bagé, Discente do curso de Engenharia Química

² Universidade Federal de Pelotas, Campus Pelotas, Doutorando em Ciência e Engenharia de Materiais

³ Universidade Federal do Pampa, Campus Bagé, Docente do mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais

Resumo: A jabuticaba (*Plinia cauliflora*) é uma fruta brasileira que possui casca roxo-escura e polpa branca translúcida. Apresenta alto valor nutricional e, por isso, é matéria-prima de interesse da indústria de alimentos. Durante o processamento dessa fruta são gerados elevados volumes de resíduos sólidos, compostos pela casca e pelas sementes. Os resíduos vegetais gerados na indústria de alimentos têm recebido atenção em estudos que buscam desenvolver novos materiais adsorventes para serem aplicados no tratamento de efluentes líquidos, os quais têm como objetivo remover contaminantes contidos nesses efluentes através do contato dos mesmos com sólidos denominados como adsorventes, buscando a retenção das moléculas indesejadas na superfície do material. Nesse sentido, esse estudo tem como objetivo utilizar o resíduo da extração dos compostos bioativos da casca da jabuticaba para a síntese de um material adsorvente destinado a remover contaminantes contidos em efluentes líquidos sintéticos. Para a produção desse material adsorvente, o resíduo sólido obtido da extração dos compostos bioativos presentes na casca de jabuticaba foi seco e então submetido à ativação química com ácido fosfórico. Os ensaios de adsorção foram realizados com faixas de dosagem de adsorvente (D_{ad}) e pH definidos em testes preliminares. O adsorvente que proporcionou os melhores resultados foi o CJ (casca da jabuticaba seca), seguido por CJA (casca da jabuticaba ativada com ácido). Os ensaios executados com o CJ chegaram a atingir capacidade de adsorção superiores a 125 mg.g^{-1} , além de percentuais de remoção acima de 96%. Já para o CJA, as condições utilizadas permitem obter um q de aproximadamente 90 mg.g^{-1} , e um R superior a 97%.

Introdução

Originada na Mata Atlântica, a jabuticaba (*Plinia cauliflora*) é uma fruta brasileira peculiar. Seus frutos esféricos e com coloração negra na casca, desenvolveram-se aderidos ao caule da jabuticabeira. A casca da jabuticaba possui elevada concentração de compostos fenólicos, responsáveis por conferir ao fruto propriedades antimicrobianas e antioxidantes (SILVA *et al.*, 2014). Por isso, diversos estudos buscam condições favoráveis à extração desses compostos bioativos, como Machry (2018), que estudou o efeito dos parâmetros da secagem convectiva (velocidade do ar e temperatura) da casca da jabuticaba sobre o teor de compostos bioativos, e Avila (2020), que estudou as condições de extração que maximizam a

obtenção desses compostos. Em virtude das suas características organolépticas e alta produtividade a jabuticaba é utilizada industrialmente na produção de outros itens alimentícios, como geleias, doces e bebidas, onde são gerados resíduos constituídos pela casca e pelas sementes (DE LIMA *et al.*, 2008; DUARTE; PAULL, 2014).

Em geral, a indústria de alimentos gera um elevado volume de resíduos vegetais e reutilizá-los é uma alternativa para agregar valor e minimizar o impacto ambiental (ARAÚJO, 2011). Atualmente, a literatura reporta diversos estudos em que esses resíduos são utilizados na produção de novos adsorventes de baixo custo, uma vez que o carvão ativado comercial, utilizado em grande parte dos processos de adsorção, é responsável por 70% dos custos envolvidos na operação (LI; MU; YANG, 2019). É o caso de Aguiar *et al.* (2018), que utilizaram bagaço de feijão verde seco e moído como material adsorvente, e de Silva *et al.* (2020), que utilizaram palha de aveia *in natura* e tratada com H_3PO_4 e NaOH como precursor na produção de carvão ativado, ambos aplicados na remoção de contaminantes presentes em efluentes líquidos.

O setor têxtil destaca-se como a principal preocupação quando se trata de efluentes líquidos (SANTOS *et al.*, 2014). Além dos altos volumes despejados, os efluentes têxteis são altamente tóxicos devido à presença de corantes. As etapas de preparação do tecido, tingimento e acabamento, além de consumirem grande quantidade de água, produzem cerca de 50 a 100 litros de efluentes por quilo de tecido produzido (MARCELINO *et al.*, 2013). Durante o processo de tingimento, estima-se que de 10 a 15% dos corantes utilizados são liberados em efluentes sem tratamento prévio. Os processos tradicionais de tratamento para efluentes muitas vezes não conseguem atingir a exaustão completa do corante, já que eles são produzidos intencionalmente para resistirem a degradações biológicas, fotolíticas e químicas (ARSLAN-ALATON; GURSOY; SCHMIDT, 2008;).

Conhecido como um dos corantes reativos mais amplamente utilizados para o tingimento de fibras de algodão e lã, o azul de metileno é um composto aromático heterocíclico e solúvel em água. Quando descartado incorretamente, pode causar poluição nos corpos d'água, limitando a passagem de radiação solar e gerar toxicidade aguda e crônica nos sistemas naturais, provocando contaminações na cadeia alimentar, o que demonstra a necessidade de técnicas para o tratamento e descarte adequado desse corante (HONORATO *et al.*, 2015).

Para isso, um dos processos comumente utilizados é a adsorção, uma operação unitária de separação baseada nos mecanismos de transferência de massa entre as fases que compõem o sistema. Capaz de tratar correntes fluidas (líquidas ou gasosas), a adsorção consiste no contato entre um sólido inerte e uma solução fluida que contém o composto indesejado. Ao longo do tempo em que estão em contato, as fases interagem, de modo que as moléculas do contaminante ficam retidas na superfície do sólido, que é chamado de adsorvente (DUTTA, 2009; GEANKOPLIS, 1993; IBARZ; BARBOSA-CÁNOVAS, 2003).

Sendo assim, o presente trabalho busca reaproveitar o resíduo sólido gerado no processo de extração dos compostos bioativos da casca da jabuticaba produzindo materiais adsorventes de baixo custo, caracterizando-o e aplicando-o no tratamento de efluentes líquidos simulados de indústrias têxteis, a fim de remover compostos que causam poluição dos recursos hídricos.

Metodologia

A matéria-prima utilizada nesse estudo foi cedida pelo projeto de pesquisa que estudou a extração de compostos bioativos presentes na casca da jabuticaba. Nesse projeto, a casca foi manualmente separada da polpa, higienizada com uma solução de hipoclorito de sódio e congelada a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. As cascas congeladas foram submetidas à liofilização por 48h, sob condições de alto vácuo, a $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Após esse processo, ocorreu a moagem em moinho analítico, seguida do peneiramento, onde foram separadas as partículas com diâmetro inferior a 0,250 mm. Por fim, ocorreu a extração dos compostos bioativos através do método de maceração, otimizada nas condições de $88\text{ }^{\circ}\text{C}$ e pH 1 (AVILA, 2020). O resíduo desse processo foi seco a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24h para ser utilizado como matéria-prima no presente estudo, onde é chamado de casca de jabuticaba seca (CJ).

Após o pré-processamento da casca da jabuticaba foram realizadas ativações químicas com ácido fosfórico. A impregnação com H_3PO_4 foi conduzida de acordo com a metodologia proposta por Portinho (2016). O tratamento foi realizado com amostras de 10 g da biomassa seca em frascos *becker* de 250 mL juntamente com ácido fosfórico 85% até atingir a razão de 4,22g de H_3PO_4 por grama de casca. Os frascos foram agitados em *shaker* a 100 rpm durante 24 h, em temperatura ambiente.

As amostras tratadas foram filtradas a vácuo para separar as frações sólidas, que foram secas em estufa durante 24 h, na temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C}$. Depois de secos, os sólidos foram lavados com água até a obtenção de pH neutro, e secos novamente. Por fim, as cascas tratadas foram peneiradas em uma série de peneiras *Tyler*, a fim de separar as frações com granulometria $d_p < 495\text{ }\mu\text{m}$ para prosseguir os experimentos (VALÉRIO FILHO *et al.*, 2021). A partir de então, as amostras foram chamadas de casca de jabuticaba ativada com ácido (CJA).

A metodologia do planejamento experimental foi utilizada visando obter condições experimentais que permitem a maximização do processo de adsorção do corante azul de metileno nos dois materiais adsorventes produzidos. Com essa técnica, tem-se por objetivo analisar a influência dos parâmetros dosagem de adsorvente (D_{ad}) e pH inicial da solução de adsorvato nas respostas percentual de remoção e capacidade de adsorção, determinadas pelas Equações 1 e 2, respectivamente:

$$R = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} \times 100 \quad (1)$$

$$q = \frac{(C_i - C_f)V}{m_{ad}} \quad (2)$$

em que R é o percentual de remoção (%), q é a capacidade de adsorção ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$), C_i é a concentração inicial do adsorvato ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), C_f é a concentração final do adsorvato ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), V é o volume da solução de adsorvato (L) e m_{ad} é a massa de adsorvente (g).

Os ensaios de adsorção foram realizados com faixas de D_{ad} e pH definidas em testes preliminares. Esse planejamento foi do tipo fatorial 2^2 , com 4 ensaios e 3 pontos centrais, executados em duplicata. Os níveis e os valores reais dos parâmetros avaliados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores reais e codificados das variáveis.

Níveis

Variáveis	-1	0	1
$D_{ad}(\text{g.L}^{-1})$	0,5	1,0	1,5
pH	7	9	11

Fonte: Autores (2021).

As faixas experimentais utilizadas no planejamento para os parâmetros de dosagem do adsorvente e pH do azul de metileno, assim como o tempo de contato entre as fases, foram definidas através de testes preliminares. Todos os ensaios foram realizados com azul de metileno na concentração de 70 mg.L^{-1} . Os resultados foram analisados estatisticamente em *software* estatístico. O Diagrama de Pareto foi utilizado para determinar o efeito e verificar as variáveis significativas para as respostas q e R . A qualidade de ajuste do modelo foi avaliada através da análise de variância (ANOVA), junto ao teste de Fisher de regressão com 95% de confiabilidade. Os valores preditos pelo modelo foram obtidos a partir das superfícies de resposta, que também foi utilizada para definir as condições dos ensaios de adsorção. O modelo de primeira ordem que prevê as respostas é representado pela Equação 3.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j + e \quad (3)$$

em que Y é a resposta, β_0 é o coeficiente constante, β_i é o coeficiente linear, β_{ij} é o coeficiente da interação, X_i e X_j são os níveis das variáveis independentes, k é o número de variáveis e e é o erro experimental.

Resultados

A matriz de experimentos proposta pelo software para todos os planejamentos experimentais executados é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Matriz dos experimentos executados.

Experimento	D_{ad}	pH
1	0,5	7
2	1,5	7
3	0,5	11
4	1,5	11
5	1,0	9
6	1,0	9
7	1,0	9

Fonte: Autores (2021).

A Tabela 3 ilustra os resultados obtidos nesses experimentos, executados para CJ,e CJA.

Tabela 3 – Resultados dos planejamentos experimentais.

	CJ		CJA	
	q (mg.g ⁻¹)	R (%)	q (mg.g ⁻¹)	R (%)
1	117,72±0,44	84,43±1,99	69,81±2,10	49,89±2,30
2	43,96±0,18	94,45±0,38	38,50±2,10	82,51±0,36
3	125,20±1,19	91,21±0,21	90,19±6,26	64,39±3,95
4	44,32±0,28	94,34±0,47	45,56±0,27	97,63±0,06
5	67,07±0,01	95,24±0,20	56,44±2,33	80,14±3,47
6	67,84±0,26	96,72±0,17	53,39±4,22	76,09±5,57
7	67,32±0,59	96,55±0,31	50,35±0,67	72,65±0,82

É possível observar que foram obtidos altos valores para q e R . O adsorvente que proporcionou os melhores resultados foi o CJ, seguido por CJA. Os ensaios executados com o CJ chegaram a atingir capacidade de adsorção superiores a 125 mg.g⁻¹, além de percentuais de remoção acima de 96%. Já para o CJA, as condições utilizadas permitem obter um q de aproximadamente 90 mg.g⁻¹, e um R superior a 97%. Materiais adsorventes semelhantes foram utilizados em outros estudos, como é o caso de Bortoluzzi, Peraça e Pavan (2016), que utilizaram casca de uva niágara rosada como adsorvente visando a remoção de corante. O adsorvato era composto por uma solução aquosa de azul de metileno com pH 8, na concentração de 50 ppm, e os autores obtiveram 46% de remoção e 85 mg.g⁻¹ de capacidade de adsorção em ensaios executados com 0,5 g.L⁻¹ de adsorvente em contato com o contaminante durante 30 min. Diel *et al.* (2018) buscaram a remoção de azul de metileno a partir do bagaço de uva tratado com NaOH, onde obtiveram um q de 47,96 mg.g⁻¹ e um R de 77,93% em ensaios executados com 1 g.L⁻¹ de adsorvente em contato com uma solução do corante na concentração de 60 ppm e pH 5,3 durante 270 min. Ferreira (2019) produziu um material adsorvente a partir da torta de mamona modificada com ácido fosfórico e aplicou na remoção de azul de metileno na concentração de 100 mg.L⁻¹, obtendo 89,24% de remoção com 10 g.L⁻¹ de adsorvente em contato com o corante durante 60 min. Dessa forma, infere-se que os três materiais adsorventes obtiveram resultados satisfatórios na adsorção do azul de metileno.

A Figura 1 apresenta os Diagramas de Pareto gerados para as respostas q e R em cada planejamento experimental.

Figura 1 – Diagramas de Pareto dos planejamentos experimentais.

Diagrama de Pareto para q de CJ

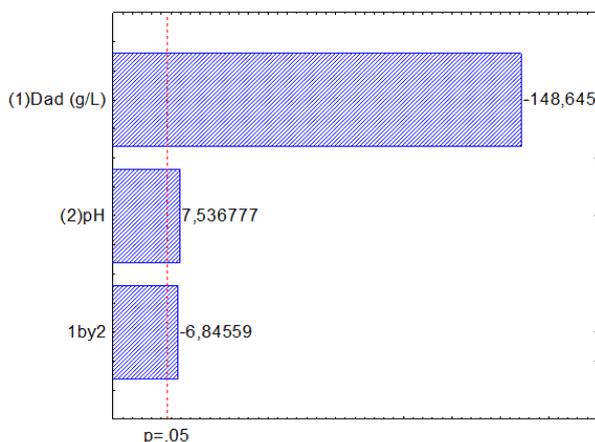


Diagrama de Pareto para R de CJ

Diagrama de Pareto para q de CJA

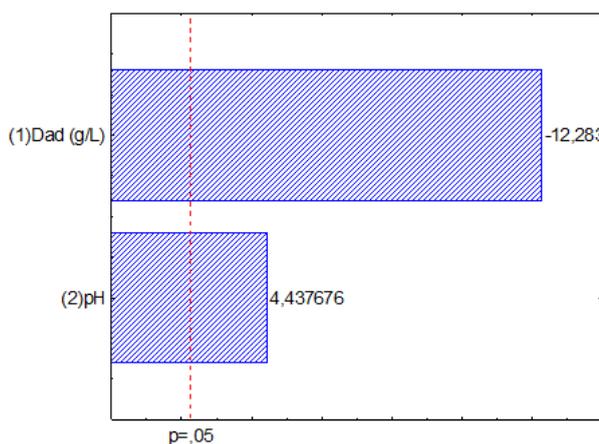
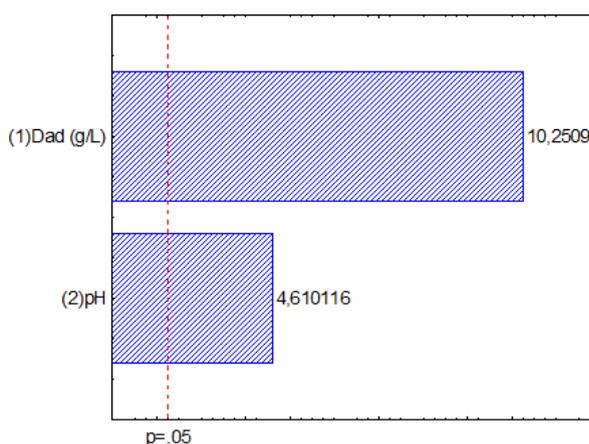


Diagrama de Pareto para R de CJA



A partir do Diagrama de Pareto, é possível inferir que as variáveis D_{ad} e pH apresentaram efeitos significativos em ambas as respostas para os dois materiais adsorventes. A interação entre as variáveis apresentou efeito significativo para a capacidade de adsorção de CJ e CJA. A dosagem do adsorvente foi o parâmetro que apresentou maiores efeitos sobre as respostas, sendo que esse efeito foi negativo para q de todos os materiais adsorventes, o que significa que quanto menor a dosagem do adsorvente, maior a capacidade de adsorção obtida. Para R , ocorre o contrário, já que o efeito de D_{ad} é negativo para todos os materiais adsorventes. Já o pH apresenta efeito positivo para todas as respostas analisadas, indicando que o pH básico favorece os processos de adsorção ocorridos entre os materiais adsorventes produzidos e o azul de metileno. A Tabela 3 apresenta a ANOVA para todos os modelos ajustados.

Tabela 4 – ANOVA para os modelos ajustados nos planejamentos experimentais.

<i>q</i> (CJ)					
	Soma quadrática	GL	Média quadrática	F_{calc}	F_{tab}
Regressão	12012,67	3	4004,22	49,03	3,71
Resíduos	816,75	10	81,68		
Falta de ajuste	811,88	1	811,88		
Erro puro	4,87	9	0,54		
Total	12829,42	13			
% var. explicada	93,63				
% máx. var. explic.	99,96				

<i>R</i> (CJ)					
	Soma quadrática	GL	Média quadrática	F_{calc}	F_{tab}
Regressão	132,53	3	44,18	4,43	3,71
Resíduos	99,66	10	9,97		
Falta de ajuste	87,95	1	87,95		
Erro puro	11,71	9	1,30		
Total	232,19	13			
% var. explicada	57,08				
% máx. var. explic.	94,96				

<i>q</i> (CJA)					
	Soma quadrática	GL	Média quadrática	F_{calc}	F_{tab}
Regressão	3259,52	2	1629,76	38,97	3,98
Resíduos	460,04	11	41,82		
Falta de ajuste	288,05	2	144,03		
Erro puro	171,99	9	19,11		
Total	3719,57	13			

%var. explicada	87,63				
% máx. var. explic.	95,38				
R (CJA)					
	Soma quadrática	GL	Média quadrática	F _{calc}	F _{tab}
Regressão	2607,31	2	1303,65	137,61	3,98
Resíduos	104,21	11	9,47		
Falta de ajuste	25,00	2	12,50		
Erro puro	185,74	9	20,64		
Total	2818,05	13			
% var. explicada	92,52				
% máx. var. explic.	93,15				

A partir dessa análise, é possível observar que o CJ apresentou coeficientes de correlação de 93,63% e 57,08% para q e R , respectivamente. CJA, por sua vez, apresentou coeficientes de correlação de 87,63% para q e 92,52% para R . No teste de Fisher de regressão, todos os ajustes apresentaram o valor de Fisher calculado superior ao valor de Fisher tabelado, o que significa que os ajustes são significativos e que os modelos obtidos permitem boas correspondências com os valores observados experimentalmente. Dessa forma, foi possível gerar as equações que resultam na capacidade de adsorção para CJ (Equação 4) e CJA (Equação 5), bem como as equações preditivas do percentual de remoção para CJ (Equação 6) e CJA (Equação 7).

$$q = 76,2058 - 38,6597D_{ad} + 1,9602pH - 1,7804D_{ad}pH + 0,5411$$

(4)

$$q = 57,7496 - 18,9842D_{ad} + 6,8587pH + 19,1100$$

(5)

$$R = 93,2779 + 3,2894D_{ad} + 1,6662pH - 1,7236D_{ad}pH + 1,3014$$

(6)

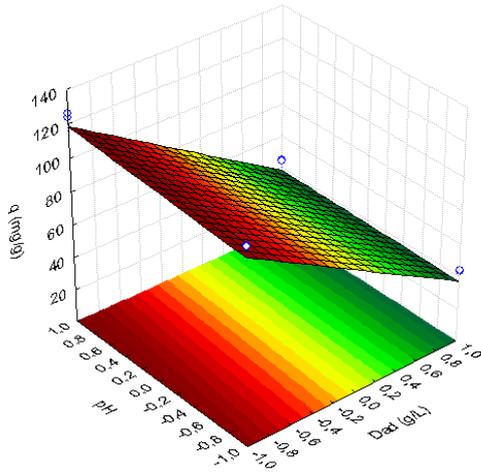
$$R = 74,7555 + 16,4647D_{ad} + 7,4046pH + 20,6382$$

(7)

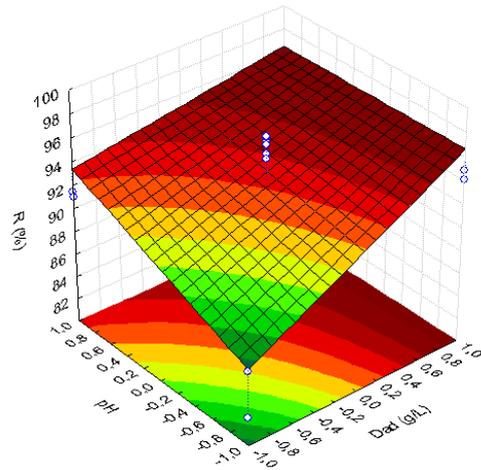
A Figura 2 apresenta as superfícies de resposta obtidas nos planejamentos experimentais executados, com os valores preditos por cada um dos modelos.

Figura 2 – Superfícies de resposta dos planejamentos experimentais.

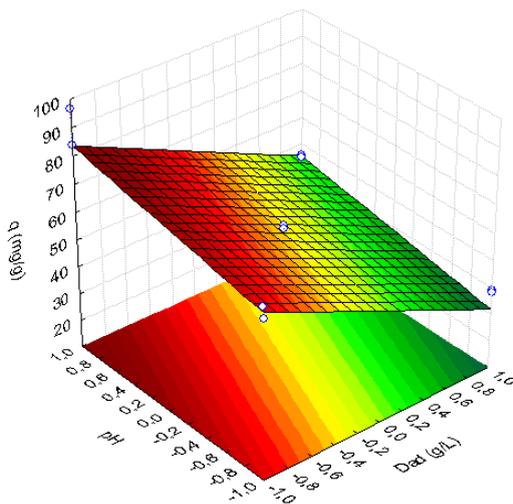
Superfície de resposta para q de CJ



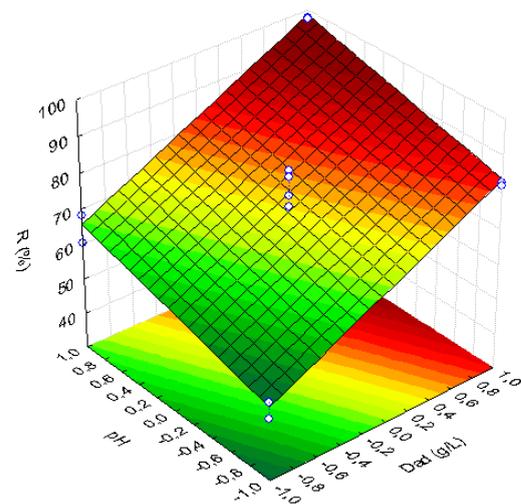
Superfície de resposta para R de CJ



Superfície de resposta para q de CJA



Superfície de resposta para R de CJA



Observa-se que os modelos ajustados preveem que a capacidade de adsorção é maximizada para os menores valores de dosagem para todos os adsorventes utilizados. Já para o percentual de remoção ocorre o contrário, visto que R é favorecido para os maiores valores de D_{ad} . Para ambos os adsorventes, os valores de pH mais básicos, favorecem, ligeiramente, as duas respostas obtidas. O comportamento oposto de D_{ad} na influência das duas respostas analisadas pode ser explicada pela quantidade de sítios disponíveis em cada caso. Quando é utilizada uma baixa dosagem de adsorvente, há uma quantidade menor de sítios não utilizados, o que resulta em uma alta capacidade de adsorção. Quando a dosagem é elevada,

há um alto número de sítios livres disponíveis, fazendo com que o percentual de remoção seja maximizado (VALÉRIO FILHO *et al.*, 2021). Ainda, analisando a Figura 9, pode-se estimar que a superfície dos materiais adsorventes é carregada negativamente, e isso justifica o fato do pH básico favorecer a adsorção do azul de metileno, que é um corante catiônico, ou seja, carregado positivamente. O pH elevado potencializa as forças eletrostáticas que atraem os ânions presentes na superfície do sólido e os cátions que formam as moléculas do corante (SAHA; CHAKRABORTY; CHOWDHURY, 2012). Além disso, a remoção desse corante também é favorecida em soluções básicas, pois, em pH baixo, há uma elevada quantidade de íons positivos na solução, que pode competir com os íons positivos do azul de metileno ao ocupar os sítios disponíveis na superfície do adsorvente (WENG; LIN; TZENG, 2009).

Analisando os resultados, infere-se que a condição de dosagem de adsorvente que promove uma adsorção eficiente de azul de metileno é $0,5 \text{ g.L}^{-1}$ para todos os materiais adsorventes produzidos, uma vez que é a condição que permite maximizar a capacidade de adsorção. Pode-se considerar o pH 7 como uma boa condição de pH inicial do adsorvato em processos utilizando os três adsorventes, uma vez que há pouca variação das respostas em diferentes condições de pH, além dessa condição representar uma economia de material, já que não é necessário fazer o ajuste do pH da solução inserindo mais reagentes.

Conclusão

O presente estudo cumprindo com os objetivos propostos desenvolveu uma metodologia para a obtenção de carvão ativado a partir de uma fonte alternativa e de baixo custo que é o resíduo da indústria alimentícia, a casca da jabuticaba. O produto obtido demonstrou-se eficiente para ser utilizado como adsorvente na remoção de azul de metileno presente em fase líquida, satisfazendo as propriedades estruturais desejadas

O adsorvente que proporcionou os melhores resultados foi o CJ, seguido por CJA e CJB, nesta ordem. Os ensaios executados com o CJ chegaram a atingir capacidade de adsorção superiores a 125 mg.g^{-1} , além de percentuais de remoção acima de 96%. Já para o CJA, as condições utilizadas permitem obter um q de aproximadamente 90 mg.g^{-1} , e um R superior a 97%. Por sua vez, os melhores resultados apresentados por CJB foram capacidade de adsorção de aproximadamente 80 mg.g^{-1} e percentual de remoção de 77%.

Dessa forma, o estudo obteve êxito em seus objetivos inicialmente propostos, promovendo a valorização de um resíduo industrial e contribuindo para os desafios no tratamento de efluentes industriais contaminados com corantes. Ainda, vale ressaltar que a utilização de uma fonte alternativa como material adsorvente traz novas perspectivas para a adsorção de outros poluentes.

Agradecimentos

A Universidade Federal do Pampa pelo apoio e suporte na realização deste projeto, pela disponibilidade dos laboratórios para realização desta pesquisa.

Referências Bibliográficas

AGUIAR, J. C. R. O. F.; OLIVEIRA, L. B. C. O.; NATHALLY, A.; LIMA, A. M. N. O.; NERYS, L. L. A.; RIBEIRO, A. S.; ZAIDAN, L. E. M. C.; MARQUES, O. M.; LIMA, V. F.; SILVA, G. A. S.; FILHO, I. J. C.; MACIEL, S. H. O. Planejamento fatorial para o estudo da

remoção de antibióticos, amoxicilina e cefalexina, usando bagaço de feijão verde como adsorvente natural. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE BIÓLOGOS, 8., 2018, João Pessoa. **Anais** [...] João Pessoa: Rebibio, 2018. p. 264-271.

ARAÚJO, R. R. L. **Modelagem do processo de bioissorção de chumbo utilizando a macrófita aquática *Eichhornia crassipes***. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Paraná, PR. 2011.

ARSLAN-ALATON, I.; GURSOY, B.; SCHMIDT, J.. Advanced oxidation of acid and reactive dyes: Effect of Fenton treatment on aerobic, anoxic and anaerobic processes. **Dyes And Pigments**, [s.l.], v. 78, n. 2, p.117-130, ago. 2008.

AVILA, L. B. **Desenvolvimento e caracterização de embalagens ativas e inteligentes a partir de polímeros biodegradáveis utilizando extrato de casca de jabuticaba (*Plinia cauliflora*) como aditivo natural**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Pampa, RS. 2020.

BORTOLUZZI, B. A. M.; PERAÇA, M. G.; PAVAN, F. A. Remoção do corante azul de metileno de solução aquosa utilizando casca de uva Niágara rosada (*Vitis labrusca*) como adsorvente. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 21., 2016, Fortaleza. **Anais eletrônicos** [...] Campinas: Galoá, 2016. Disponível em: < <https://proceedings.science/cobeq/cobeq-2016/papers/remocao-do-corante-azul-de-metileno-d-e-solucao-aquosa-utilizando-casca-de-uva-niagara-rosada--vitis-labrusca--como-adsor?lang=p-t-br>> Acesso em 03 abr. 2021.

DIEL, J. C.; SOARES, E. C.; DRUZIAN, S. P.; NUNES, I. S. Avaliação da capacidade de remoção de azul de metileno utilizando como adsorvente bagaço de uva. *In*: SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 10., 2018, Santana do Livramento. **Anais eletrônicos** [...] Santana do Livramento: Unipampa, 2018. Disponível em: < <https://periodicos.unipampa.edu.br/index.php/SIEPE/article/view/101122>> Acesso em 03 abr. 2021.

DUARTE, O.; PAULL, R. E. **Exotic fruits and nuts of the New World**. Boston: Cabi, 2014.

DUTTA, B. K. **Principles of Mass Transfer and Separation Processes**. Nova Delhi: PHI Learning, 2009.

GEANKOPLIS, C. J. **Transport Processes and Unit Operations**. 3 ed. Englewood Cliffs: P T E Prentice-Hall, 1993.

HONORATO, A. C.; MACHADO, J. M.; CELANTE, G.; BORGES, W. G. P.; DRAGUNSKI, D. C.; CAETANO, J. Bioissorção de azul de metileno utilizando resíduos agroindustriais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 19, n. 7, p.705-710, jul. 2015.

IBARZ, A.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. **Unit Operations in Food Engineering**. Boca Raton: CRC Press, 2003.

LIMA, A. J. B.; CORRÊA, A. D.; ALVES, A. P. C.; ABREN, C. M. P.; DANTAS-BARROS,

A. M. Caracterização química do fruto jabuticaba (*Myrciaria cauliflora* Berg) e de suas frações. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, v. 58, n. 4, p. 416-421, 2008.

LI, W.; MU, B.; YANG, Y. Feasibility of industrial-scale treatment of dye wastewater via bio-adsorption technology. **Bioresource Technology**, v. 277, n. 1, p. 157-170, 2019.

MACHRY, K. **Secagem da casca de jabuticaba (*Plinia cauliflora*) e quantificação de compostos bioativos**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Pampa, RS. 2018.

MARCELINO, R. B. P.; FRADE, P. R.; AMORIM, C. C.; LEÃO, M. M. D. Tendências e desafios na aplicação de tecnologias avançadas para o tratamento de efluentes industriais não biodegradáveis: atuação do grupo de pesquisas POA Control da UFMG. **Revista UFMG**, Belo Horizonte, v. 20, n. 2, p.358-383, jul./dez. 2013.

PORTINHO, R. **Aproveitamento do engaço da uva para remoção de cafeína por adsorção**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS. 2016.

SAHA, P. D.; CHAKRABORTY, S.; CHOWDHURY, S. Batch and continuous (fixed-bed column) biosorption of crystal violet by *Artocarpus heterophyllus* (jackfruit) leaf powder. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 92, n. 1, p. 262-270, 01 Apr. 2012.

SANTOS, D. C.; ADEBAYO, M. A.; PEREIRA, S. F. P.; PROLA, L. D. T.; CATALUÑA, R.; LIMA, E. C.; SAUCIER, C.; GALLY, C. R.; MACHADO, F. New carbon composite adsorbents for the removal of textile dyes from aqueous solutions: Kinetic, equilibrium, and thermodynamic studies. **Korean Journal of Chemical Engineering**, v. 31, n. 8, p. 1470-1479, 2014.

SILVA, E. O.; DOS SANTOS, V. D.; DE ARAUJO, E. B.; GUTERRES, F. P.; ZOTTIS, R.; FLORES, W. H.; DE ALMEIDA, A. R. F. Removal of methylene blue from aqueous solution by ryegrass straw. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 17, n. 8, p. 3723-3740, 11 Aug. 2020.

SILVA, M. C.; SOUZA, V. B.; THOMAZINI, M.; SILVA, E. R.; SMANIOTTO, T.; CARVALHO, R. A.; GENOVESE, M. I.; FAVARO-TRINDADE, C. S. Use of the jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) depulping residue to produce a natural pigment powder with functional properties. **LWT - Food Science and Technology**, v. 55, n. 1, p. 203-209, 2014.

VALÉRIO FILHO, A.; KULMAN, R. X.; JANNER, N. N.; THOLOZAN, L. V.; ALMEIDA, A. R. F.; ROSA, G. S. Optimization of cationic dye removal using a high surface area-activated carbon from water treatment sludge. **Bulletin of Materials Science**, v. 44, n. 41, p. 1-8, 17 Feb. 2021.

WENG, C. H.; LIN, Y. T.; TZENG, T. W. Removal of methylene blue from aqueous solution by adsorption onto pineapple leaf powder. **Journal of Hazardous Materials**, v. 170, n. 1, p. 417-424, 03 May. 2009.