AVALIAÇÃO DE TRATAMENTO COM CARVÃO ATIVADO PARA ÁGUA DE ÁREA RURAL CONTAMINADA COM AGROQUÍMICOS

Patricia Aline BRESSIANI[1], Eduardo Michel Vieira GOMES[2], Fernando César MANOSSO[1,3], Ticiane Sauer POKRYWIECKI[1,4], Elisângela DÜSMAN[1,5], Ana Paula de Oliveira SCHMITZ[4]

[1]Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental: Análise e Tecnologia Ambiental
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – *Campus* Francisco Beltrão
Francisco Beltrão – Paraná – Brasil

[2]Departamento Acadêmico de Física, Estatística e Matemática
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Francisco Beltrão
Francisco Beltrão – Paraná – Brasil

[3] Departamento de Ciências Agrárias
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – *Campus* Francisco Beltrão
Francisco Beltrão – Paraná – Brasil

[4]Departamento Acadêmico de Engenharias
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – *Campus* Francisco Beltrão
Francisco Beltrão – Paraná – Brasil

[5]Departamento Acadêmico de Química e Biologia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Francisco Beltrão
Francisco Beltrão – Paraná – Brasil

E-mails: pbressiani@alunos.utfpr.edu.br, eduardogomes@utfpr.edu.br, fmanosso@utfpr.edu.br, ticiane@utfpr.edu.br, edusman@utfpr.edu.br, anapoliveira@utfpr.edu.br,

Resumo: *O uso excessivo de agroquímicos com exposição ocupacional de agricultores e exposição ambiental da população em geral, principalmente aqueles que residem em regiões próximas a áreas agrícolas, tem evidenciado efeitos nocivos à saúde humana, indicados por efeitos mutagênicos e citotóxicos. A contaminação por agroquímicos também pode ocorrer pela água, principalmente nas vilas rurais, pois não há tratamento para essas substâncias específicas. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a remoção de 2,4D de água contaminada por adsorção com carvão ativado. A concentração do agroquímico 2,4D nas amostras de água foi determinada por espectroscopia ultravioleta-visível (UV-Vis) (283 nm). Testes preliminares de adsorção, para remoção de 2,4D de amostras de água, mostraram que a condição que favorece esse processo é pH 2. Nos testes de cinética e equilíbrio, verificou-se que o modelo cinético de Elovich (r^2 = 0,974) foi o melhor modelo que descreveu a adsorção de 2,4D e que as isotermas de Redlich Peterson (r^2 = 0,986), Temkin (r^2 = 0,986) e Toth (r^2 = 0,988) obtiveram o coeficiente de determinação muito próximo, sendo adequados para descrever os dados experimentais de equilíbrio da adsorção de 2,4D com carvão ativado, com capacidade máxima de adsorção de 252,8 mg g^{-1}. Tendo em vista os perigos e danos à saúde e ao meio ambiente causados pelo uso e exposição a*

agroquímicos, neste estudo foi possível investigar uma forma de tratamento de água para consumo humano aplicável em áreas rurais para a remoção do agrotóxico 2,4D.

Palavras-chave: *Agroquímico; 2,4D; Água; Adsorção.*

INTRODUÇÃO

O herbicida ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4D) está entre os agroquímicos mais utilizados na agricultura. Sua ampla aplicação em todo o mundo tem por objetivo prevenir o crescimento de ervas daninhas indesejadas e pragas de folha larga, consequentemente aumentando a produtividade de culturas como milho, soja, arroz, trigo e outras (SONG, 2014; GEORGIN *et al.*, 2021; ORDUZ; ACEBAL; ZANINI, 2021). Foi classificado pela Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC, 2018) como grupo 2B, ou seja, possivelmente cancerígeno para humanos, e também foi classificado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2003) como extremamente tóxico (Classe I).

Tendo em vista a necessidade de retirar esse tipo de poluente da água potável e que os processos de tratamento de água empregados pelas empresas de saneamento não são eficazes na remoção desse tipo de substância específica, torna-se relevante a investigação de métodos adequados. Um dos métodos alternativos desenvolvidos para remover poluentes da água é a adsorção com carvão ativado, sendo este um adsorvente com alta área superficial e porosidade (VARGAS *et al.*, 2012; JAWAD; ABDULHAMEED; MASTULI, 2020). Além disso, existe a possibilidade de produção de carvão ativado a partir de resíduos agroindustriais como a casca do coco (FREITAS; NOGUEIRA; FARINAS, 2019).

No contexto da poluição ambiental por 2,4D, este trabalho teve como objetivo avaliar uma alternativa de tratamento de água para consumo humano em vilas rurais abastecidas por poços artesianos. O tratamento de água nesses locais precisa ser de baixo custo e de fácil operação para poder ser implantado diretamente na vila rural. Assim, investigou-se a remoção de 2,4D de água contaminada por adsorção com carvão ativado de casca de coco.

FUNDEMENTAÇÃO TEÓRICA

O uso do herbicida 2,4D tem causado sérias preocupações ambientais, como a poluição da água, devido à sua alta persistência aquática e, portanto, pode ameaçar a saúde

de humanos, animais e plantas (SALMAN; HAMEED, 2010; ISLAM *et al.*, 2018). Estudos como de Bressiani *et al.* (2022) mostram os riscos citotóxicos e mutagênicos desse herbicida para humanos. Os pesquisadores correlacionaram a exposição ambiental da população da vila rural Água Viva, localizada no distrito de Nova Concórdia, Francisco Beltrão-PR com alterações mutagênicas e citotóxicas em células humanas pelo ensaio do citoma do micronúcleo bucal. Além disso, nesta vila rural, o abastecimento de água provinha de um poço artesiano circundado por áreas agrícolas e havia outra fonte de água superficial utilizada para dessedentação dos animais e rega de hortaliças. Em ambas as fontes de água investigadas, o estudo de Bressiani *et al.* (2022) indicou a presença do herbicida 2,4D.

Assim, a determinação e o tratamento de agroquímicos na água, são essenciais para garantir a segurança da saúde humana e do meio ambiente (GEORGIN *et al.*, 2021). Georgin *et al.* (2021), Orduz, Acebal e Zanini (2021) e Rambabu *et al.* (2023) avaliaram a remoção do herbicida 2,4D pelo processo de adsorção utilizando resíduos agroindustriais e apresentam potencial para tratamento de águas contaminadas com este poluente. Além disso, devido às características desse processo, indica-se a possibilidade de realizar tratamento de água em vilas rurais com operação pelos próprios moradores, melhorando a qualidade da água potável nesses locais.

METODOLOGIA

Preparação das soluções de herbicida 2,4-D

O princípio ativo (2,4D) foi fornecido por produtores rurais do município de Marmeleiro-PR, na concentração de 806 g L^{-1}. A solução do analito 2,4D foi preparada por dissolução do princípio ativo em água Mili-Q, resultando na concentração de cada teste.

Testes de Adsorção

Carvão ativado granulado de casca de coco (marca Bahia Carbon) foi utilizado como adsorvente. Após os testes de adsorção, a fase sólida (adsorvente) foi separada da fase líquida (adsorbato) por meio de filtração a vácuo com membrana de PVDF de 0,22 µm. Todos os testes de adsorção foram realizados em duplicata. A análise por espectroscopia ultravioleta-visível (UV-Vis) foi utilizada para quantificar a concentração de 2,4D. Tendo em vista as

altas concentrações do agroquímico nos testes de adsorção, possibilitou-se essa análise por meio de uma técnica mais robusta e de menor custo com garantia de precisão dos dados, conforme estudos apresentados na literatura (NJOKU *et al.*, 2015; RAMBABU *et al.*, 2023).

Foram realizados testes preliminares para determinar o valor de pH que favorece a adsorção do 2,4-D a ser utilizado nos testes cinético e de equilíbrio. Para isso, foram realizados testes com pHs iniciais 2, 3, 5 e 7. Os testes de adsorção em batelada foram realizados em erlenmeyers de 125 mL contendo aproximadamente 0,10 g de adsorvente e 50 mL da solução de 2,4D com concentração inicial de 100 mg L^{-1}. A mistura foi mantida sob agitação a 100 rpm por 8 horas em temperatura ambiente (25ºC). Em seguida, as amostras foram filtradas e analisadas em espectrofotômetro UV-Vis no comprimento de onda de 283 nm. A quantidade de 2,4D adsorvido foi calculada usando o balanço de massa na equação (1), em que q é a quantidade de 2,4D adsorvido (mg g^{-1}), C_o e C as concentrações inicial e final, respectivamente (mg L^{-1}), v o volume da solução (L) e m a massa do adsorvente (g).

$$q = \frac{(Co - C)v}{m} \tag{1}$$

Foram realizados ainda ensaios cinético e de equilíbrio visando determinar o tempo de equilíbrio do processo em estudo e a capacidade máxima de adsorção, respectivamente.

Testes cinéticos e de equilíbrio

No estudo cinético, os testes de adsorção foram realizados em batelada com solução de 2,4D na concentração inicial de 100 mg L^{-1} e na proporção de 0,10 g para 50 mL de solução em pH 2. A mistura foi mantida sob agitação a 100 rpm e à temperatura ambiente (25°C) durante os tempos de contato de 0, 3, 5, 10, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 120, 180, 240, 360, 480 e 1440 min. Para o teste de equilíbrio, foram preparadas soluções de 2,4D diluídas em água milli-Q nas concentrações de 10, 25, 50, 100, 150, 200, 300, 500 e 800 mg L^{-1}. Os testes de adsorção foram novamente realizados em sistema batelada com 0,10 g de carvão ativado e 50 mL de solução de 2,4D, sendo a mistura mantida sob agitação a 100 rpm e temperatura ambiente (25ºC) por 8 horas. Após cada teste, as amostras foram filtradas e a determinação da absorbância foi realizada em espectrofotômetro UV-Vis (283 nm).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Testes preliminares de adsorção

Inicialmente foi verificado o efeito do pH na adsorção do 2,4D (Tabela 1). Verificou-se que os menores valores de pH apresentaram melhor remoção, porém não foi possível observar diferença significativa para os valores da capacidade de remoção de 2,4D nos testes realizados com o pH inicial da solução sendo 2 e 3. Portanto, optou-se por trabalhar com pH 2, pois conforme se observa o aumento do pH, ocorre redução na capacidade de remoção. Rambabu *et al.* (2023), relatam o baixo valor de pKa do 2,4D (2,81) com alta mobilidade em níveis de pH natural em sua forma aniônica.

Tabela 1 - Efeito do pH na adsorção de 2,4-D com carvão ativado.

pH inicial	Concentração inicial (mg L^{-1})	Concentração final (mg L^{-1})	q (mg g^{-1})
2	82,735 ± 1,029	11,111 ± 1,122	35,617 ± 0,633
3	89,745 ± 1,216	16,071 ± 0,467	36,509 ± 0,232
5	94,375 ± 2,151	37,234 ± 6,453	28,422 ± 3,091
7	95,168 ± 1,216	40,740 ± 0,374	27,093 ± 0,205

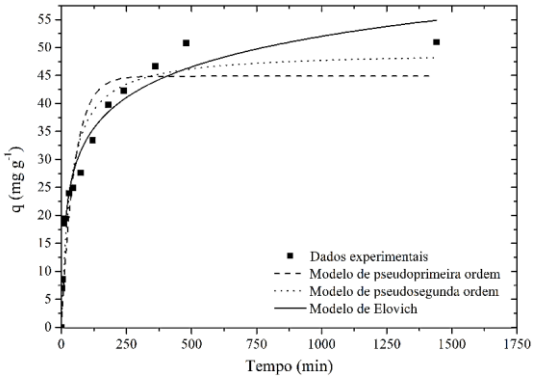
Fonte: Autoria própria (2021).

No estudo de Njoku, Foo e Hameed (2013) o pH 2 também favoreceu a adsorção de 2,4D. Em soluções de pH mais elevado, o 2,4D dissocia-se mais, permanecendo na forma ionizada (íon 2,4 diclorofenoxiacetato), o que representa repulsão ou dispersão entre os íons 2,4D e a superfície do adsorvente, diminuindo a adsorção do 2,4D. Além disso, em pH elevado, a alta mobilidade dos íons hidroxila pode competir com o ânion 2,4-diclorofenoxiacetato por sítios ativos de adsorção (FLORES *et al*., 2006).

Ensaios de cinética de adsorção

A partir dos dados cinéticos obtidos, observou-se que o equilíbrio é estabelecido após cerca de 480 min de contato entre o adsorvente e o adsorvato (Figura 1), sendo esse o tempo utilizado para os demais ensaios. A cinética de adsorção foi avaliada pelos modelos de pseudoprimeira ordem, pseudosegunda ordem e Elovich, conforme ajustes apresentados na Figura 1. Os parâmetros estimados dos modelos cinéticos são mostrados na Tabela 2.

Figura 1 - Comportamento cinético da adsorção do 2,4D por carvão ativado e ajuste dos modelos cinéticos.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Conforme Tabela 2, verificou-se que o modelo cinético de Elovich (r^2 = 0,974) foi o que melhor descreveu a adsorção do 2,4D. Esse modelo representa sistemas com adsorção química e superfícies adsorventes heterogêneas, com taxa de adsorção que diminui exponencialmente com aumento do adsorbato na superfície sólida (QIU *et al.*, 2009).

Tabela 2 - Parâmetros dos modelos cinéticos ajustados aos dados experimentais de adsorção.

Modelos Cinéticos	Parâmetros	Valor do ajuste
Pseudoprimeira ordem	q_e (mg g^{-1})	44,9 ± 2,7
$q_t(t) = q_e(1 - e^{-k_1 t})$	k_1 (h^{-1})	0,020 ± 0,005
	r^2	0,877
Pseudosegunda ordem	q_e (mg g^{-1})	49,3 ± 2,4
$q_t(t) = q_e \frac{q_e k_2 t}{q_e(k_2 t) + 1}$	k_2 (g mg^{-1} h^{-1})	6,0 10^{-4} ± 1,5 10^{-4}
	r^2	0,939
Elovich	α	0,093 ± 0,025
$q_t(t) = b \ln(\alpha b) + b \ln t$	*b*	7,9 ± 0,4
	r^2	0,974

Fonte: Autoria própria (2023).

Ensaios de equilíbrio de adsorção

Na Tabela 3, são apresentadas as isotermas escolhidas para serem ajustadas aos dados de equilíbrio da adsorção do 2,4D, bem como os parâmetros estimados dos modelos e o ajuste dos modelos aos dados experimentais (Figura 2).

Ao avaliar o coeficiente de correlação (r^2), verificou-se que as isotermas Redlich Peterson (r^2 = 0,986), Temkin (r^2 = 0,986) e Toth (r^2 = 0,988) apresentaram ajustes muito próximos, portanto, as três as isotermas foram adequadas para representar os dados de equilíbrio de adsorção de 2,4D em carvão ativado. O modelo de Redlich Peterson considera as características de ambos os modelos de Langmuir e Freundlich, tornando possível a aplicação desse modelo tanto para sistemas homogêneos quanto para sistemas heterogêneos (AKSU; UNUABONAH, 2011; QIAO *et al.*, 2009). Um dos parâmetros analisados do modelo de Redlich Peterson foi o β (0,87), sendo que, segundo Aksu e Kabasakal (2004), quando β está entre 0 e 1, indica adsorção favorável.

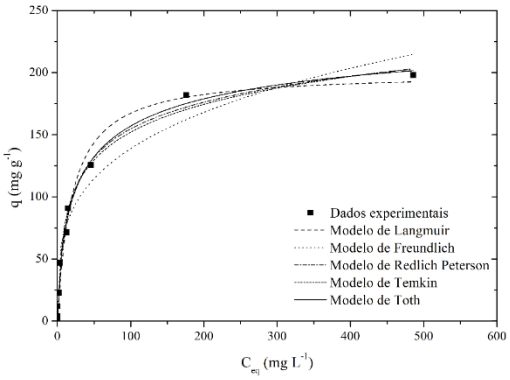
Tabela 3 - Parâmetros ajustados das isotermas de adsorção avaliadas.

Isotermas	Parâmetros	Valor de ajuste
Langmuir	q_{max} (mg g^{-1})	200,4 ± 9,2
$\mathbf{q_t = \frac{q_{max} b C_e}{1 + b C_e}}$	b (L mg^{-1})	0,051 ± 0,008
	r^2	0,978
Freundlich	k (L g^{-1})	39,0 ± 6,0
$\mathbf{q_e = k C_e^{1/n}}$	n	3,6 ± 0,4
	r^2	0,959
Redlich Peterson	k_{rp} (mg g^{-1})	17,8 ± 5,5
$\mathbf{q_e = \frac{k_{rp} C_e}{1 + a_{rp} C_e^{\beta}}}$	a_{rp} (mg^{-1})	0,19 ± 0,11
	β	0,87 ± 0,05
	r^2	0,986
Temkin	B	1,1 ± 0,2
$\boldsymbol{q_e = B \ln(k_t) + B \ln(C_e)}$	k_T (L mg^{-1})	32,3 ± 1,7
	r^2	0,986
Toth	q_{maxT} (mg g^{-1})	252,8 ± 38,5
$\mathbf{q_e = \frac{q_{maxT} b_T C_e}{[1 + (b_T C_e^{n_t})]^{1/n_T}}}$	B_T (L mg^{-1})	0,124 ± 0,065
	n_T	0,5 ± 0,1
	r^2	0,988

Fonte: Autoria Própria (2023).

O modelo de Temkin considera as interações indiretas que ocorrem entre as moléculas de adsorbato e a redução dos valores relacionados ao calor de adsorção durante o aumento da taxa de remoção de adsorbato. Além disso, esse modelo implica que a adsorção é definida por uma distribuição uniforme de energias de ligação (DANESHVAR *et al.*, 2012; AYAWEI; EBELEGI; WANKASI, 2017).

Figura 2 - Dados de equilíbrio de adsorção do 2,4D em carvão ativado e os ajustes das isotermas.



Fonte: Autoria Própria (2023).

O modelo Toth é uma modificação do modelo Langmuir para reduzir os erros entre os valores experimentais. Esse modelo considera a adsorção em uma superfície heterogênea (RANGABHASHIYAM *et al*., 2014). Um dos parâmetros definidos pelas isotermas de Toth (q_{maxT}) e Langmuir (q_{max}) é a capacidade máxima de adsorção na qual, segundo Oliveira *et al.* (2018), a capacidade máxima de adsorção indica o número de sítios disponíveis no adsorvente, ou seja, a saturação completa da superfície do adsorvente. De acordo com os ajustes das isotermas de Toth e Langmuir aos dados experimentais, a capacidade máxima de adsorção do 2,4D foi de 252,8 mg g^{-1} e 200,4 mg g^{-1}, respectivamente. O segundo parâmetro ajustado foi o coeficiente de afinidade entre o adsorvente e o adsorbato. Quanto maior o valor do coeficiente de afinidade, maior a afinidade. O valor obtido para a isoterma de Toth (b_T) foi de 0,124 L mg^{-1} e para a isoterma de Langmuir (b) obteve-se 0,051 L mg^{-1}.

Georgin *et al.* (2021) avaliaram a remoção de 2,4D utilizando como adsorvente o cálice gerado a partir da produção da fruta *Physalis peruviana* tratada quimicamente com ácido. Os pesquisadores também identificaram melhores condições de adsorção do herbicida 2,4D em pH 2. A capacidade máxima de adsorção observada no estudo foi de 244 e 320 mg g^{-1}, para os modelos de Langmuir e Toth, respectivamente, semelhantes a este estudo.

De maneira geral, a partir dos resultados obtidos neste estudo, observou-se a necessidade de desenvolver métodos de tratamento de água que sejam de baixo custo e de fácil operação para aplicação, por exemplo, no tratamento de água em comunidades rurais, como é o caso da vila rural Água Viva. Diante disso, os resultados obtidos para a remoção

do agroquímico 2,4-D utilizando carvão ativado mostraram-se promissores, com remoção de cerca de 250 mg g^{-1}, indicando um tempo de equilíbrio de 8 horas de contato.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tratamento da água pelo processo de adsorção se mostrou eficiente, principalmente por ser de baixo custo. O modelo de Elovich (r^2 = 0,974) descrevendo adequadamente a cinética de adsorção do 2,4D com tempo de equilíbrio de aproximadamente 480 min. As isotermas de Redlich Peterson (r^2 = 0,986), Temkin (r^2 = 0,986) e Toth (r^2 = 0,988) foram adequadas para representar os dados de equilíbrio da adsorção de 2,4D com carvão ativado, indicando capacidade máxima de adsorção de 252,7 mg g^{-1}. Assim, o estudo visa contribuir com informações sobre formas de tratamento da água contaminada com agroquímicos, sugerindo a possibilidade de utilização de um método de baixo custo e fácil processo de operação aplicável em vilas rurais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio do Ministério Público do Trabalho do Estado do Paraná e da UTFPR – FB. Também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa concedida à Elisângela Düsman (CNPq#305029/2022-3).

REFERÊNCIAS

AKPA, O.M.; UNUABONAH, E.I. Small-Sample Corrected Akaike Information Criterion: an appropriate statistical tool for ranking of adsorption isotherm models. *Desalination*, v. 272, p. 20-26, 2011.

AKSU, Z.; KABASAKAL, E. Batch adsorption of 2,4-dichlorophenoxy-acetic acid (2,4-D) from aqueous solution by granular activated carbon. *Separation and Purification Technology*, v. 35, p. 223–240, 2004.

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. RESOLUÇÃO-RE Nº 899, DE 29 DE MAIO DE 2003. Acesso em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2003/res0899_29_05_2003.html. Access on:14 mai. 2020.

AYAWEI, N.; EBELEGI, A.N.; WANKASI, D. Modelling and Interpretation of Adsorption Isotherms. Journal of Chemistry, v. 2017, n. 3039817, p. 1-11, 2017.

Daneshvar, E. *et al.* Biosorption of three acid dyes by the brown macroalga Stoechospermum marginatum: isotherm, kinetic and thermodynamic studies. *Chemical Engineering Journal*, v. 195-196, p. 297-306, 2012.

FLORES, P.E.D. *et al.* Adsorption of Pentachlorophenol from Aqueous Solution onto Activated Carbon Fiber. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v. 45, p. 330-336, 2006.
FREITAS, J.V.; NOGUEIRA, F.G.; FARINAS, C.S. Coconut shell activated carbon as an alternative adsorbent of inhibitors from lignocellulosic biomass pretreatment. *Industrial Crops and Products*, v. 137, p. 1623, 2019.
GEORGIN, J. *et al.* Transforming shrub waste into a high-efficiency adsorbent: Application of Physalis peruvian chalice treated with strong acid to remove the 2,4-dichlorophenoxyacetic acid herbicide. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 9, n. 104574, 2021.
IARC. International Agency for Research on Cancer. Volume 113: DDT, lindane and 2,4-D. IARC Working Group. Lyon; 2–9 June 2015. IARC *Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*. 2018.
ISLAM, F. *et al.* Potential impact of the herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetic acid on human and ecosystems. *Environment International*, v.111, p. 332–351, 2018.
JAWAD, A.H.; ABDULHAMEED, A.S.; MASTULI, M.S. Acidfactionalized Biomass material for methylene blue dye removal: a comprehensive adsorption and mechanism study. *Journal of Taibah University for Science*, v. 14, n. 1, p. 305313, 2020.
NJOKU, V.O.; FOO, K.Y.; HAMEED, B.H. Microwave-assisted preparation of pumpkin seed hull activated carbon and its application for the adsorptive removal of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid. *Chemical Engineering Journal*, v. 215–216, p.383–388, 2013.
NJOKU, V.O. *et al.* Adsorption of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid by mesoporous activated carbon prepared from H3PO4-activated langsat empty fruit bunch. *Journal of Environmental Management*, v. 154, p. 138-144, 2015.
OLIVEIRA, A.P. *et al*. Use of grape pomace as a biosorbent for the removal of the Brown KROM KGT dye. *Bioresource Technology Reports*, v. 2, p. 92–99, 2018.
ORDUZ, A.E.; ACEBAL, C.; ZANINI, G. Activated carbon from peanut shells: 2,4-D desorption kinetics study for application as a green material for analytical purposes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 9, n. 104601, 2021.
QIAO, S. *et al.* An investigation on the adsorption of acid dyes on bentonite based composite adsorbent. Separation and Purification Technology, v. 67, p. 218-225, 2009.
QIU, H. *et al.* Critical review in adsorption kinetic models. *Journal of Zheijang University Science*, v. 10, p. 716-724, 2009.
RAMBABU, K. *et al.* Valorization of date palm leaves for adsorptive remediation of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid herbicide polluted agricultural runoff. *Environmental Pollution*, v. 316, p. 120612, 2023.
RANGABHASHIYAM, S. *et al.* Relevance of isotherm models in biosorption of pollutants by agricultural byproducts. *Journal of Environmental Chemical Engineering A*, v. 2, p. 398-414, 2014.
SALMAN, J.M.; HAMEED, B.H. Adsorption of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid and carbofuran pesticides onto granular activated carbon. *Desalination*, v. 256, p. 129–135, 2010.
SONG, Y. Insight into the mode of action of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) as an herbicide. *Journal of Integrative Plant Biology*, v. 56, p. 106–113, 2014.