REMOÇÃO DE IVERMECTINA UTILIZANDO PÉROLAS DE GRAFENO COMO ADSORVENTE

Fábio Yuiti Nakasato[1], Raffaela Bandeira Rodrigues[1], Gabriela Nascimento da Silva[1], Thaísa Frossard Coslop[1], Mara Heloísa Neves Olsen Scaliante[1], Jean César Marinozi Vicentini[1]

[1]Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790 - Zona 7, Maringá- PR, 87020-900, Brasil (fynakasato@gmail.com)

Resumo: O presente trabalho faz um estudo sobre a remoção de Ivermectina utilizando óxido de grafeno (OG) imobilizado em alginato por meio da adsorção. A composição das pérolas de grafeno utilizada foi 0,2 $g.L^{-1}$ de OG em alginato. Parâmetros cinéticos de adsorção foram calculados por meio de modelos cinéticos como o de Pseudo 1ª e 2ª ordem, enquanto as Isotermas de adsorção foram ajustadas segundo as propostas por Langmuir e Freundlich.

Palavras-chave: Adsorção; Ivermectina; Óxido de Grafeno; Alginato.

INTRODUÇÃO

A água é o recurso mais importante para a nossa sociedade e para a vida na Terra, no entanto a maior parte da água doce do planeta é utilizada para atividades relacionadas à agricultura, indústria e atividades domésticas, fazendo com que seja poluída por diversos tipos de substâncias. Por essa razão sua contaminação vem sendo discutida cada vez mais no mundo inteiro (Strokal e Kroeze, 2020). O manejo inadequado de efluentes industriais e de estações de tratamento de esgoto são as principais fontes de aparecimento dos contaminantes de preocupação emergente no meio ambiente (Souza, 2020).

São diversas as substâncias consideradas micropoluentes, sejam elas de origem natural ou antrópica, medicamentos (uso humano ou veterinário), produtos de higiene pessoal (cosméticos, fragrâncias, shampoos, creme dental etc.), hormônios estrogênios, agrotóxicos, pesticidas, aditivos plastificantes, embalagens de alimentos etc. (Souza, 2018; Hao et al., 2007; La Farré et al., 2008) Fármacos, de um modo geral, são produzidos com características de estabilidade suficientes para atingir o objetivo terapêutico ao qual são propostos, ou seja, são desenvolvidos para serem persistentes, e quando são excretados no esgoto doméstico resistem aos processos convencionais de tratamento de água (Dal Bosco, 2012)

A ivermectina é um agente antiparasitária aplicado em medicina veterinária e na piscicultura, sendo utilizado também em pesticidas e para o controle da filiríase em humanos (Liu et al., 2020). A pandemia do novo coronavírus estimulou o consumo deste fármaco por uma grande parte da população e muitas vezes de forma inadequada por ser um remédio que não exige prescrição médica. Uma análise sobre seus efeitos adversos e riscos ao ecossistema ganhou relevância. Como reações adversas, cita-se por exemplo: problemas oculares, febre, coceira ou erupção cutânea, dor nas articulações ou nos músculos, entre outros (Barbosa et al., 2018). Além disso, a sua presença no meio ambiente pode provocar o surgimento de cepas bacterianas patogênicas resistentes a drogas (Rezazade et al., 2018), reduzir a abundância e a diversidade da fauna presente no estrume, além de atrasar a degradação de compostos orgânicos, podendo interferir no ciclo dos nutrientes do solo (Dal Bosco, 2012).

São diversos os métodos e técnicas avançadas utilizadas e estudadas no mundo para remoção de contaminantes da água, como osmose reversa, eletrodiálise, os tratamentos térmicos como destilação e congelamento, além de processos oxidativos avançados. Dentre eles, a adsorção é um método relativamente de baixo custo, fácil operação e pode ter alta eficiência na remoção de contaminantes (Feng et al., 2017; Grous et al.2019).

O grafeno é um material que tem atraído grande atenção acadêmica devido ao seu alto potencial de transformar o universo do tratamento de água (Chowdhury e Balasubramanian, 2014). O óxido de grafeno (OG) possui uma estrutura semelhante ao grafeno, com grande área de superfície, estabilidade química e durabilidade. Porém, devido à dificuldade de separação desse material do meio aquoso após a adsorção, a fabricação de compósitos de OG à base de biopolímeros surge como uma alternativa relevante para o uso na remoção de contaminantes (Platero et al., 2016).

O alginato (SA) é um biopolímero que se destaca por ser um excelente adsorvente natural e pela abundância de grupos funcionais contendo oxigênio,

o que lhe confere capacidade de formar rapidamente um hidrogel (Feng et al., 2017). Dessa forma, nosso objetivo é avaliar o potencial de adsorção das esferas de hidrogel à base de óxido de grafeno (OG) para a remoção do fármaco ivermectina.

MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Materiais

Ivermectina ($C_{47}H_{72}O_{14}$, Sigma-aldrich), grafite em flocos (Sigma-Aldrich), peróxido de hidrogênio (H_2O_2, Dinâmica), ácido sulfúrico (H_2SO_4, Sigma-Aldrich), permanganato de potássio ($KMnO_4$, Sigma-Aldrich), ácido clorídrico (HCl, Hexis), alginato de sódio ($(C_6H_7NaO_6)n$, Dinâmica), cloreto de cálcio ($CaCl_2.2H_2O$, Synth) e água destilada.

2.2. Síntese do óxido de grafeno

O óxido de grafeno foi obtido pela metodologia de Hummers Modificado (Hummers, e Offeman, 1957). Resumidamente, 1 g do precursor grafite é adicionado a 60 mL de ácido sulfúrico, para promover a intercalação do ácido na estrutura tridimensional do grafite, sob agitação mecânica por 30 min a 200 rpm. A solução foi inserida em um banho de gelo para que a temperatura se aproximasse de 20 °C para iniciar a adição paulatina de 5 g de $KMnO_4$. Após 30 min de agitação em banho de gelo, a solução de cor esverdeada foi posicionada em um banho de glicerina de temperatura de 40 °C sob agitação de 300 rpm por 24 h.

Ao término da oxidação, a solução apresentou uma coloração amarronzada escuro. Sobre ela foi adicionado gota-a-gota, por meio de uma pipeta de Pasteur, 6 mL de H_2O_2 e a solução tornou-se amarelo canário, consumindo o $KMnO_4$ em excesso. Foi então adicionado 10 mL de HCl (1 mol/L) e deixado a solução decantar. O precipitado foi lavado com água deionizada até atingir pH próximo a neutralidade utilizando uma centrífuga de 10.000 rpm em ciclos de 15 min. O precipitado foi então seco a 60 °C.

2.2. Preparação das esferas de óxido de grafeno-alginato (OG-AS)

Para imobilização do óxido de grafeno utilizando o alginato de sódio como matriz polimérica foi inspirada na metodologia de Dalponte (2016). Primeiramente o óxido de grafeno (OG), previamente sintetizado, foi sonicado em água destilada utilizando um ultrassom de ponteira com 40 Hz de frequência, em intervalos regulares de 40 s e pausa de 5 s por um período de 30 min, ou até completa esfoliação, de modo a atingir a concentração de OG desejada em solução de 0,2 mg/L.

Posteriormente, foram adicionados alginato de sódio (AS) 2% (m/v) em 50 mL da solução sonicada de óxido de grafeno sob agitação até a homogeneização total, formando uma solução de OG-AS. Esta solução foi gotejada com auxílio de uma bomba peristáltica, operando a uma vazão de 1,5 mL min-1, em solução de cloreto de cálcio ($CaCl_2$) 2% (m/v), em banho termostático a 15ºC, formando instantaneamente hidrogéis OG-AS em forma de esferas. A solução $CaCl_2$ contendo as esferas foram mantidas sob refrigeração a 4 °C durante 24 horas para maturação. Por fim, foram lavadas abundantemente com água deionizada para remoção do cloreto de cálcio não incorporado e secas em estufa a 60 ºC, à pressão atmosférica, por 8 horas.

2.3. Procedimento de adsorção em batelada

Uma solução estoque de Ivermectina na concentração de 1000 mg L^{-1} foi preparada em água ultrapura. A partir da diluição em água ultrapura, foi feito a curva de calibração para o poluente em uma faixa de concentração de 1 a 50 $mg.L^{-1}$ lida respectivamente no comprimento de onda de (λ_{max}) 245 nm.

A dosagem do adsorvente utilizado para os ensaios em batelada foi de 2 $g.L^{-1}$, ou seja, uma massa de esferas OG-AS de 0,2 gramas foi utilizada em contato com 100 mL de solução contendo a Ivermectina. A mistura foi colocada em Erlenmeyer de 125 ml e posteriormente agitada em incubadora com velocidade de agitação constante de 250 rpm em aproximadamente 27°C. Após o tempo de contato, as amostras foram coletadas, filtradas em membranas de nitrato de celulose de 0,22 μm e analisadas em espectrofotômetro UV-VIS, modelo Shimadzu UV-1800.

As curvas cinéticas foram obtidas na concentração inicial de 10 $mg.L^{-1}$ em um intervalo de tempo de 30 a 540 min sob uma temperatura de 27 °C. Em meio aos testes cinéticos foram realizados também a avaliação do tempo de adsorção em que se atinge o equilíbrio, bem como a porcentagem de remoção do contaminante ao longo desse processo por meio da Equação 1. As isotermas de equilíbrio foram investigadas em concentrações iniciais de 10 a 100 $mg.L^{-1}$ e tempo de processo foi fixado de acordo com o tempo de equilíbrio observado no estudo cinético. A capacidade de adsorção para todos os testes experimentais foi calculada pela Equação 2

$$\%Remoção = \frac{C_0 - C}{C_0} \quad (1)$$

$$q_t = q_e = \frac{V.(C_0 - C)}{m} \quad (2)$$

No caso em que q_t corresponde à capacidade de adsorção no tempo t ($mg.g^{-1}$), q_e é a capacidade de adsorção no equilíbrio ($mg.g^{-1}$), C_0, C_t e C_e são a concentração inicial e as concentrações no tempo t e em equilíbrio respectivamente, "V" refere-se ao volume da solução aquosa contendo a ivermectina (mL) e m é a massa do adsorvente utilizado nos testes de adsorção.

Os testes de adsorção foram executados sob agitação a 250 rpm e a 27 °C. A cinética de adsorção foi obtida fixando a concentração do adsorbato (10 ppm) e a massa do adsorvente (0,2 g) com amostragem periódica. Para a isoterma de adsorção, variou-se a concentração da ivermectina de 10 a 100 ppm e a massa das esferas de OG-SA foi fixada em 0,2 g

2.4 Modelagem matemática

Para compreender os mecanismos que descrevem uma adsorção, bem como suas características específicas, tais como propriedades dos sítios ativos do material, peculiaridades do revestimento adsorvente e recursos de máxima adsorção das esferas de OG-AS, os dados experimentais encontrados neste estudo foram ajustados em equações não lineares de modelos propostos na literatura. Os modelos cinéticos usados foram a pseudo-primeira ordem (Lagergren, 1898) e a pseudo-segunda ordem (Ho e Mckay, 1999), demonstrados abaixo nas equações 3 e 4, respectivamente.

Pseudo-primeira ordem $$q_t = q_e.(1 - e^{-k_1}) \quad (3)$$

Pseudo-segunda ordem $$q_t = \frac{k_2.q_e^2.t}{1 + k_2.q_e} \quad (4)$$

Sendo q_t a quantidade adsorvida por unidade de massa em qualquer tempo (mg.g^{-1}); k_1 a constante da taxa de adsorção de pseudo-primeira ordem (min^{-1}), q_e a quantidade adsorvida por unidade de massa no equilíbrio (mg.g^{-1}), k_2 a constante de taxa de adsorção de pseudo-segunda ordem (g.mg^{-1}.min^{-1}). Esses modelos fornecem uma compreensão de quais etapas podem estar controlando uma taxa de adsorção no processo.

Após a produção das curvas isotérmicas, a modelagem matemática foi feita ajustando-se aos dados para os modelos teóricos dos dois parâmetros de Langmuir nas equações (5) e (6) (Langmuir, 1916), e Freundlich na Equação (7) (Freundlich, 1926).

Langmuir $$q_e = \frac{q_{máx}.K_L.C_e}{1 + K_L.C_e} \quad (5)$$

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L.C_0} \quad (6)$$

Freundlich $$q_e = K_F.C_e^{1/n} \quad (7)$$

Sendo C_e a concentração de equilíbrio da solução de invermectina (mg.L^{-1}), q_{max} a capacidade máxima de adsorção (mg.g^{-1}), , K_L a Constante da equação Langmuir (L mg^{-1}), C_0 a maior concentração da invermectina (mg.L^{-1}), R_L o fator de separação de Langmuir (adimensional), q_e a quantidade de invermectina adsorvida no equilíbrio (mg.g^{-1}), n a constante da equação Freundlich (adimensional) e K_F a constante de equilíbrio da equação Freundlich (mg.g^{-1}). .A validação dos modelos e a comparação dos ajustes foram feitas por meio da análise do coeficiente de correlação (R^2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Determinação do tempo de adsorção e da Cinética de adsorção

A Figura 1 mostra as curvas cinéticas do tempo em função da capacidade de adsorção q_e ajustados nos modelos cinéticos (Fig. 1a), e em função da porcentagem de remoção do contaminante (Fig. 1b).

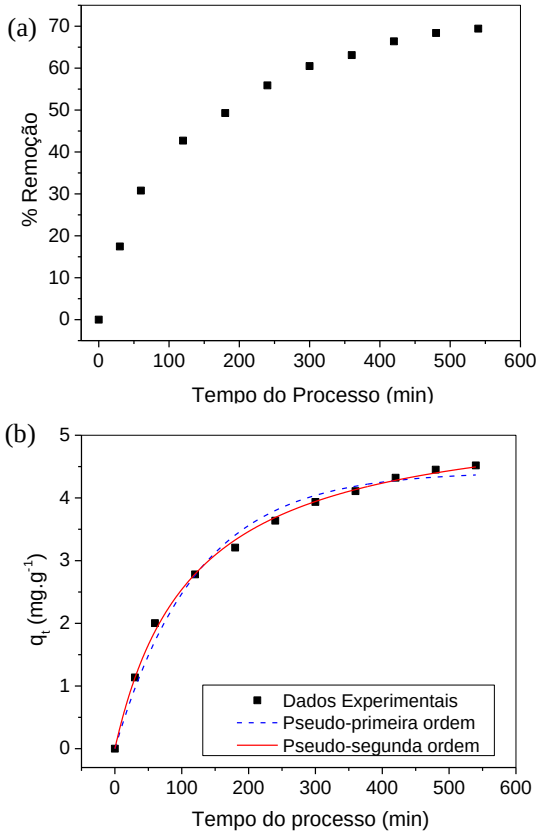


Figura 1. (a) Dados experimentais do tempo em função da porcentagem de remoção do contaminante, (b) Ajustes dos dados aos modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem

Por meio da figura 1(a) nota-se que o equilíbrio foi atingido a 360 minutos (6 horas) a 27°C, com remoção máxima de 69,42%, e uma capacidade de adsorção de 4,5185 mg.g^{-1}. Além disso, verificou-se que um aumento na capacidade de adsorção com a concentração mostra a presença de sítios ativos insaturados presentes na superfície do material (Souza, 2020).

A partir dos dados obtidos da capacidade de adsorção da invermectina (q_t) nas esferas de OG-AS em função do tempo foi possível tirar conclusões importantes sobre o processo. Em relação à cinética de adsorção, o modelo que melhor se ajustou aos

dados experimentais foi o modelo de pseudo segunda ordem, que obteve o maior valor do parâmetro R^2 (0,99798), porém é possível afirmar que ambos os modelos são capazes de descrever o processo como mostrado na Figura 1(b). Analisando a Tabela 1 pode se observar que o valor da constante cinética para o modelo de pseudo-segunda ordem foi de K_2 = 0,0016 g.mg^{-1}.min^{-1}, o que confere uma taxa de adsorção superior ao obtido com o ajuste do modelo de peseudo-primeira ordem.

Tabela 1. Parâmetros cinéticos da adsorção de ivermectina nas esferas de OG-AS.

Modelo	Parâmetros	Valores
Pseudo 1ª Ordem	K_1(min^{-1})	0,00819
	R^2	0,98814
	$q_{e,cal}$	4,41919
Pseudo 2ª Ordem	K_2 (g $mg^{-1}min^{-1}$)	0,0016
	R^2	0,99798
	$q_{e,cal}$	5,44904

Segundo Ho e McKay (1999) o modelo de pseudo-segunda ordem evidencia que a adsorção química é uma etapa de controle do processo, ou seja, a existência de valência envolve o compartilhamento de elétrons entre o adsorvente e o adsorbato (Ho e McKay, 1999). Em particular, o modelo cinético de pseudo-segunda ordem também é analisado como um caso especial da cinética de Langmuir. Este fato implica que as moléculas não interagem entre si, podendo assim ocorrer a adsorção em uma monocamada, em que cada sítio pode conter apenas uma molécula adsorvida (Gupta e Bhattacharyya, 2011; Langmuir 1916).

3.2. Isoterma de adsorção

A Figura 2 mostra as isotermas de equilíbrio obtidas a 25 °C, bem como os ajustes não lineares dos modelos de Langmuir e Freundlich. Os resultados dos parâmetros dos modelos estão resumidos na Tabela 2.

De acordo com Giles et al. (1960) as isotermas obtidas experimentalmente podem ser classificadas como do tipo L1. As isotermas de classe L são isotermas de Langmuir com uma curvatura inicial para baixo devido a uma diminuição na disponibilidade de sítios ativos no adsorvente à medida que a concentração de equilíbrio aumenta. O subgrupo 1 indica um sistema onde uma única camada ainda não foi totalmente concluída.

Além disso, o fato do modelo de Langmuir apresentar um valor alto de correlação de 0,998 para a temperatura de 27°C, o aproxima ainda mais da classificação proposta por Giles et al. (1960). De acordo com Pezoti et al. (2016), este modelo uma adsorção em monocamada na superfície consisti em sítios ativos energeticamente homogêneos, e a capacidade de adsorção máxima é alcançada após a formação completa da monocamada (Pezoti et al., 2016). O modelo de Langmuir também é baseado em processos adsorventes que ocorrem principalmente por quimissorção.

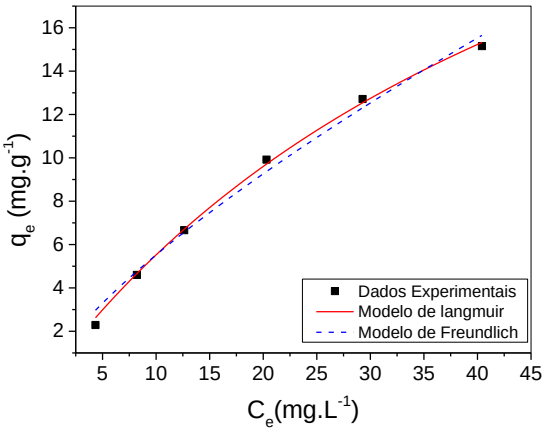


Figura 2. Gráfico do isoterma de adsorção de ivermectina nas esferas de OG-SA.

Tabela 2. Parâmetros isotérmicos da adsorção de ivermectina nas esferas de OG-AS.

Modelo	Parâmetros	Valores
Langmuir	q_{max} (mg g^{-1})	36,79257
	K_L (L mg^{-1})	0,01766
	R^2	0,99775
	R_L	0,5962
Freundlich	n	1,34080
	K_2 (g $mg^{-1}min^{-1}$)	0,99163
	R^2	0,98752

O modelo de Langmuir tem vários conceitos, dois deles é que a adsorção é reversível e que ocorre a formação de uma monocamada, um parâmetro obtido pelo modelo de Langmuir é o fator de separação (R_L). Os valores de R_L>1 indicam um processo desfavorável, R_L= 1 uma isoterma linear, 0<R_L<1 indica um processo favorável e R_L = 0 um processo irreversível (Dotto et al., 2011). Ao contrário do modelo de Freundlich, Langmuir assume que o volume de moléculas adsorvidas deve atingir um valor limite. (Shaw, 1992). Em virtude disso, ajustar-se aos parâmetros adimensionais do Langmuir (R_L) e Freundlich (1/n) obtidos experimentalmente, usados para entender se as isotermas de equilíbrio, obtidas são favoráveis.

Embora o modelo de Langmuir tenha se destacado como melhor ajuste, o modelo de Freundlich também apresentou altos valores de coeficiente de correlação

de 0,987. Por essa razão entende-se que os sítios ativos do adsorvente podem estar dispostos de forma não homogênea na superfície do material, além de atribuir uma adsorção ocorrendo com camadas sobrepostas de adsorbato na superfície, ou seja, uma adsorção em multicamadas (Freundlich, 1926). Como ambos os modelos representaram bem os dados de equilíbrio, conclui-se que possivelmente a adsorção da invermectina nas esferas de OG-AS esteja ocorrendo em uma monocamada e em uma superfície adsorvente constituída de sítios ativos distribuídos de forma heterogênea na superfície do material.

Na Tabela 3 foi alocado os valores de q_{max} de diferentes adsorventes utilizados na remoção de alguns contaminantes. Nela podemos constatar valores diferentes que são justificados com base na molécula do poluente empregada e a superfície do material utilizado para a adsorção, com isso os resultados mostram que o material que foi utilizado neste trabalho é bastante promissor para o tratamento de água contaminada com ivermectina.

Tabela 3. Comparação da capacidade máxima de adsorção entre diferentes adsorventes

Adsorvente	Adsorbato	q_{max} (mg g^{-1})	Referência
OG-AS	Ivermectina	40,12	Deste trabalho
Argila Caulinita modificada	Invermectina	20,00	Olu-Owolabi et al, 2021
OG-AS	Azul de metileno	3,20	Platero et al., 2016
Argila organofílica	Diuron	44,24	Souza et al., 2020
MnFe2O4-OG	Glifosato	33,44	Yamaguchi et al., 2016

CONCLUSÃO

Uma remoção de aproximadamente 67% de Ivermectina foi atingida em 300 minutos de adsorção a temperatura controlada de 27 °C partindo de uma solução de 10 ppm do respectivo fármaco. A cinética de adsorção de 2ª ordem foi mais bem ajustada em comparação com a de 1ª ordem. Ambas as isotermas de Langmuir e Freundlich se ajustaram bem aos dados do trabalho, com R^2 de 99,8% e 98,8%, respectivamente. Estes resultados mostram que o grafeno imobilizado em alginato é um material promissor no estudo da adsorção de contaminantes emergentes

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá por nos terem fornecido todos os meios possíveis para a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

Barros, A. P. R., Barbosa, A. S., Lima, E. D., Sátiro J. R., Albuquerque, M. V. C., Lopes, W. S. **Utilização de esferas de TiO_2/alumina para degradação de ivermectina em um reator fotocatalitico**, In: 38° Congresso Nacional de Saneamento da Assemae. Fortaleza -CE. n. 1, p. 266–274, 2018.

Chowdhury, S; Balasubramanian, R. Recent advances in the use of graphene-family nanoadsorbents for removal of toxic pollutants from wastewater. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 204, p. 35–56, 2014. doi: 10.1016/j.cis.2013.12.005.

Dal Bosco, S. M. **Degradação de ivermectina por processos oxidativos avançados**, Tese de Doutorado - Faculdade de engenharia civil, arquitetura e urbanismo, Unicamp, p. 1–125, 2012.

Dalponte, I.; Mathias, A.L.; Jorge, R.M.M.; Weinschutz, R. Degradação fotocatalítica de tartrazina com TiO_2 imobilizado em esferas de alginato. **Química Nova**. v. 39, p. 1165-1169, 2016.

Dotto, G. L.; Vieira, M. L. G.; Gonçalves, J. O.; Pinto, L. A. A. Remoção dos corantes azul brilhante, amarelo crepúsculo e amarelo tartrazina de soluções aquosas utilizando carvão ativado, terra ativada, terra diatomácea, quitina e quitosana: Estudos de equilíbrio e termodinâmica. **Química Nova**., v. 34, p. 1193-1199, 2011. doi.org/10.1590/S0100-40422011000700017.

Feng, J.; Ding, H.; Yang, G.; Wang, R.; Li, S.; Liao, J.; Li, Z.; Chen, D. Preparation of black-pearl reduced graphene oxide–sodium alginate hydrogel microspheres for adsorbing organic pollutants. **Journal Of Colloid and Interface Science**, v. 508, p. 387–395, 2017. doi: 10.1016/j.jcis.2017.07.113.

Freundlich H. M. F. Over the adsorption in solution. **Journal of Physical Chemistry A**, v.57, p. 385-471,1926.

Giles CH, MacEwan TH, Nakhwa SN, Smith D. Studies in adsorption: part XI. A system of classification of solution adsorption isotherms, and its use in diagnosis of adsorption mechanism and in measurement of specific surface areas of solids. **Journal of the American Chemical Society,** v.111, p. 3973–3993, 1960.

Gupta SS, Bhattacharyya KG. Kinetics of adsorption of metal ions on inorganic materials: A review. **Advances in Colloid and Interface Science**.v.162, p. 39-58,2011.

Grous, G. S., Oliveira, D. V. M., Schneider E. E., Maldonado, R. R., Ferreira, J. S. **Pó da casca de ovo como adsorvente na remoção de íons cromato e dicromato como tecnologia terciária**. In: 30° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Natal - RN, p.1–8, 2019.

Ho Y, Mckay G. A comparison of chemisorption kinetic models applied to pollutant removal on various sorbents. **Process Safety and Environmental Protection**, v.76, p. 332-340, 1998.

Hummers, W. S., Offemano, R. E. Preparation of graphitic oxide. **Journal of the American Chemical Society**, v. 208, p. 1937, 1957.

Liu, C.; Yan, B.; Duan, J.; Hou, B. Biofilm inhibition effect of an ivermectin/silyl acrylate copolymer coating and the colonization dynamics. **Science of the Total Environment**, v. 736, p. 1–7, 2020. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139599

Lagergren SY. Zur theorie der sogenannten Adsorption gelöster stoffe kungliga svenska vetenskapsakademiens **Handlingar,** v.24, p. 1–39, 1898

Langmuir I. The constitution and fundamental properties of solids and liquids. Part I. Solids. Journal of the **American Chemical Society**,.v.38, p.2221 – 2295, 1916.

Olu-Owolabi, B. I., Diagboya, P. N., Mtunzi, F. M., Düring, R.-A. Utilizing eco-friendly kaolinite-biochar composite adsorbent for removal of ivermectin in aqueous media. **Journal of Environmental Management**, v 279, p.111619-111626, 2021. doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111619

Pezoti O, Cazetta, A. L., Bedin K. C., Souza L. S., Martins C. A., Silva T. L., Santos Júnior O. O., Visentainer J. V., Almeida C. V. NaOH-activated carbon of high surface area produced from guava seeds as a highefficiency adsorbent for amoxicillin removal: kinetic, isotherm and thermodynamic studies. **Chemical Engineering Journal**.v.288, p. 778–788, 2016.

Platero, E.; Fernandez, M. E.; Bonelli, P. R.; Cukierman, L., A. Graphene oxide/alginate beads as adsorbents: influence of the load and the drying method on their physicochemical-mechanical properties and adsorptive performance. **Journal of Colloid and Interface Science**, v 491, p: 1-12, 2016. doi.org/10.1016/j.jcis.2016.12.014.

Shaw D. **Introduction to Colloid and Surface Chemistry**. 4°Ed. Editora Elsevier, 1992.

Souza, F. M.; Santos, O. A. A. Adsorption of diuron from aqueous solution onto commercial organophilic clay: kinetic, equilibrium and thermodynamic study. **Environmental Technology**, v. 41, n. 5, p. 603–616, 2020. doi: 10.1080/09593330.2018.1505967.

Strokal, M.; Kroeze, C. W. Society and pollution in an urbanizing world: recent developments and future challenges. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 46, p. 11–15, 2020. doi.org/10.1016/j.cosust.2020.10.003.

Rezazadeh, T; Dalali, N.; Sehati, N. Investigation of adsorption performance of graphene oxide/polyaniline reinforced hollow fiber membrane for preconcentration of ivermectin in some environmental samples. **Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 204, p. 409–415, 2018. doi.org/10.1016/j.saa.2018.06.040.

Yamaguchi, N. U.; Bergamasco, R., Hamoudi, S. Magnetic $MnFe_2O_4$-Graphene Hybrid Composite for Efficient Removal of Glyphosate from Water. **Chemical Engineering Journal**, v. 1, p. 391-402, 2016. doi.org/10.1016/j.cej.2016.03.051