



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS PAULISTANA
CURSO LICENCIATURA EM QUÍMICA

ADSORÇÃO DO ALARANJADO DE METILA E VERDE DE BROMOCRESOL
EM CARVÃO ATIVADO

Kessi Jhony de Araújo Silva¹
Layanny Samara da Silva Souza²
Karine Oliveira Moura²

RESUMO

A contaminação da água por substâncias químicas sintéticas representa um sério problema ambiental, pois muitas dessas substâncias são tóxicas e podem causar danos ao meio ambiente e à saúde humana. Dessa forma, a investigação de métodos de remoção de contaminantes de águas residuais tem se tornado necessária. Dentre esses métodos, a adsorção muito tem se destacado devido a sua aplicabilidade e alta eficiência de remoção em uma larga faixa de temperatura e pressão. Neste sentido, o presente estudo descreve o processo de adsorção dos corantes sintéticos alaranjado de metila (AM) e verde de bromocresol (VB) em meio aquoso, utilizando o carvão ativado (CA) como material adsorvente. Diferentes parâmetros foram avaliados, tais como tempo de contato, dosagem do adsorvente e concentração inicial do adsorbato. A cinética de adsorção foi avaliada empregando os modelos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem, tendo os dados cinéticos melhor se ajustado ao primeiro modelo para VB e ao segundo modelo para AM. O tempo de equilíbrio de adsorção foi alcançado em 1850 e 1440 min para AM e VB, respectivamente, sendo suas capacidades máximas de adsorção (Q_t) de 3,39 e 2,52 mg g⁻¹ dentro das condições estudadas. Os resultados demonstraram que a remoção dos corantes AM e VB em meio aquoso empregando o CA é favorável, uma vez que este material apresentou taxas de adsorção máximas de 95% para AM e 75% para VB.

Palavras-chave: Remoção. Compostos tóxicos. Corantes sintéticos. Águas residuais.

¹Graduando de Licenciatura em Química, IFPI-Paulistana.

²Professora EBTT Química, IFPI-Paulistana.

ADSORPTION OF ORANGE METHYL AND BROMOCRESOL GREEN ON ACTIVATED COAL

ABSTRACT

The contamination of water by synthetic chemical substances represents a serious environmental problems, since many of these substances are toxic and can cause damage to the environment and human health. Thus, the investigation of methods for removing contaminants from wastewater has become necessary. Among these methods, adsorption has stood out due to its applicability and high removal efficiency over a wide range of temperature and pressure. In this sense, the present study describes the adsorption process of methyl orange (AM) and bromocresol green (VB) synthetic dyes in aqueous medium, using activated carbon (CA) as adsorbent material. Different parameters were evaluated, such as contact time, dosage of the adsorbent and initial concentration of the adsorbate. The adsorption kinetics was evaluated using the pseudo-first order and pseudo-second order models, with the kinetic data being better adjusted to the first model for VB and the second model for AM. The adsorption equilibrium time was reached in 1850 and 1440 min for AM and VB, respectively, with their maximum adsorption capacities (Q_t) being 3.39 and 2.52 mg g⁻¹ under the conditions studied. The results showed that the removal of AM and VB dyes in aqueous media using CA is favorable, once this material presented maximum adsorption rates of 95% for AM and 75% for VB.

Keywords: Removal. Toxic compounds. Synthetic dyes. Residual waters.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o progressivo crescimento das atividades industriais tem causado sérios problemas ambientais (PIZATO *et. al.*, 2017). A geração de grandes quantidades de resíduos é um exemplo disso, e tem exposto o meio ambiente as mais variadas substâncias nocivas, tais como pesticidas, metais pesados, derivados do petróleo e corantes sintéticos (BELISÁRIO *et. al.*, 2009).

Um dos ramos industriais que mais tem gerado resíduos com compostos tóxicos para o meio ambiente é o ramo industrial de produção têxtil. Suas atividades produzem uma quantidade significativa de efluentes provenientes da fixação incompleta dos corantes sintéticos às fibras no processo de tingimento, tornando-se uma das principais fontes responsáveis pela poluição de águas naturais (FERREIRA *et. al.*, 2018).

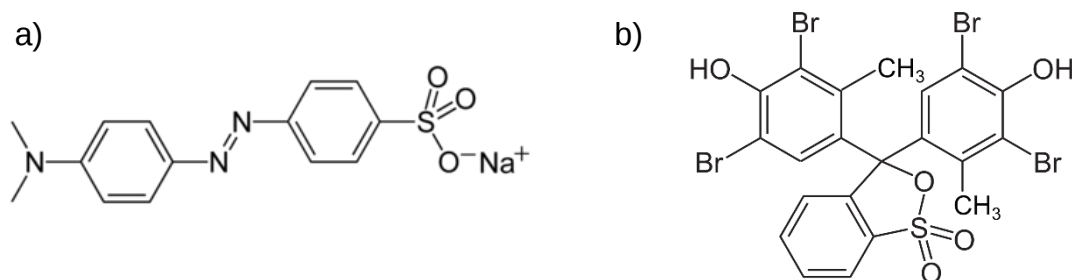
Os corantes sintéticos, além de serem largamente empregados no setor de produção têxtil, também têm sido amplamente utilizados para diversas outras aplicações, tais como na indústria alimentícia, cosmética, farmacêutica, coureira e plástica (PIASKOWSKI *et. al.*, 2018). Estima-se que aproximadamente 1,6 milhões de

toneladas de corantes são produzidas anualmente em todo o mundo e cerca de 10 a 15% são descartados como efluentes em cursos de águas naturais (VARGHESE *et. al.*, 2019).

O descarte inadequado dessas substâncias na água causa graves problemas ao meio ambiente, pois a maioria são compostos tóxicos e altamente resistentes à degradação, podendo provocar a destruição direta de comunidades aquáticas, uma vez que impossibilitam a penetração da luz solar naquele meio (BORBA *et. al.*, 2012 & MOHAMMADI *et. al.* 2011). Além disso, a exposição excessiva aos corantes pode acarretar aos organismos vivos irritações cutâneas, problemas respiratórios, efeitos mutagênicos e carcinogênicos (PIASKOWSKI *et. al.*, 2018 & VARGHESE *et. al.*, 2019).

Dentre os diversos corantes existentes, cabe ressaltar o alaranjado de metila (AM) e o verde de bromocresol (VB), cujas estruturas moleculares são demonstradas na Figura 1. Ambos apresentam uma variedade de aplicações, incluindo a coloração de fibras, tais como linho e algodão, e em impressões gráficas (SHOKROLLAHI *et. al.*, 2011). Também são bastante utilizados na separação de moléculas de DNA através de eletroforese, além de serem amplamente empregados como indicadores de pH em procedimentos de titulação (WU *et. al.*, 2019).

Figura 1 – Estrutura molecular dos corantes a) AM e b) VB.



O corante AM caracteriza-se como um azocorante tóxico, e em caso de exposição pode provocar irritações cutâneas, respiratórias e oculares, possuindo ainda propriedades mutagênicas (CHUNG *et. al.*, 1978 & IBRAHIM *et. al.*, 2019). O corante VB, embora não possua significativo teor de toxicidade associado, assim como AM pode provocar irritações cutâneas e oculares (KA *et. al.*, 2020). Portanto, é de suma importância a remoção dessas substâncias dos ambientes aquáticos.

Neste sentido, tendo em vista a problemática causada pelo descarte de efluentes contaminados com corantes sintéticos em cursos de águas naturais,

esforços têm sido mundialmente direcionados com a intenção de remover essas substâncias do meio aquoso. Ao longo dos anos, diversos métodos vem sendo estudados, tais como coagulação, sedimentação, precipitação, processos oxidativos e adsorção (GONSALVES *et. al.*, 2014). Contudo, dentre os métodos citados, a adsorção é a que mais tem se mostrado eficaz devido às suas vantagens singulares, tais como estabilidade, baixo custo, facilidade operacional e eficiência de desempenho (MUHARREM *et. al.*, 2017). A adsorção pode ser definida como um processo de separação e purificação, no qual uma espécie química presente numa fase líquida ou gasosa, denominada adsorbato, é retida na superfície de um substrato sólido, conhecido como adsorvente (SKOOG *et. al.*, 2006).

O processo de adsorção pode ser classificado como físico ou químico, a depender da natureza das forças envolvidas. Na adsorção física ocorre entre adsorbato e adsorvente uma interação fraca, do tipo forças de Van der Waals; enquanto isso, na adsorção química ocorrem interações fortes, onde as moléculas ou átomos se ligam à superfície do material adsorvente através de ligações químicas (PENHA *et. al.*, 2021).

Dentre os materiais que podem ser empregados como adsorvente, o carvão ativado (CA) muito tem se destacado devido às suas propriedades únicas. Este produto é um material carbonáceo e poroso, obtido pela pirólise de substâncias orgânicas, em sua maioria de origem vegetal (DE ALMEIDA, *et. al.*, 2017). Sua alta capacidade adsortiva é resultante da alta área superficial e da presença de uma variedade de grupos funcionais contidos em sua superfície (GUILARDUCI, *et. al.*, 2006). A aplicação desse material tem sido bastante empregada na adsorção de metais pesados em interfaces líquidas. Todavia também tem apresentado apreciável eficiência para a remoção de substâncias orgânicas, principalmente de espécies que alteram a cor de efluentes (DE COSTA *et. al.*, 2015).

Ante o exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência do carvão ativado comercial como material adsorvente para a remoção dos corantes sintéticos alaranjado de metila e verde de bromocresol de águas residuais.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATÉRIA-PRIMA E REAGENTES

Os ensaios adsortivos foram realizados utilizando o carvão ativado (CA)

comercial (DINAMICA) como material adsorvente. Este material foi empregado sem a realização de qualquer tratamento prévio.

Para a realização dos testes de adsorção em CA, foram preparadas soluções estoques dos corantes alaranjado de metila (AM) (INLAB) e verde de bromocresol (VB) (NEON), ambas à 500 mg L⁻¹.

2.2 COMPRIMENTO DE ONDA DE MÁXIMA ABSORÇÃO E CURVA DE CALIBRAÇÃO

Soluções à 10 mg L⁻¹ dos corantes AM e VB foram submetidas a varredura em um espectrofotômetro de absorção molecular UV-Vis (TECNAL), a fim de determinar o comprimento de onda de máxima absorção para cada um dos corantes. A faixa espectrofotométrica variou de 350 à 550 nm para o AM e de 500 à 700 nm para o VB, obtendo-se os comprimentos de onda de máxima absorção de 460 e 613 nm para AM e VB, respectivamente. Estes resultados estão em acordo com dados encontrados na literatura (NAM *et. al.*, 2002 & CANO *et. al.*, 2017). Ambos os comprimentos de onda máximo foram utilizados para a construção da curva de calibração e demais curvas analíticas. Todas as análises foram realizadas em triplicatas com a finalidade de garantir a reprodutibilidade dos dados.

2.3 ENSAIOS ADSORTIVOS

Os ensaios adsortivos foram conduzidos à temperatura ambiente e em sistema estático. Durante sua realização foram estudados os efeitos dos parâmetros: tempo de contato, dosagem do adsorvente e concentração inicial do adsorbato. Todos os ensaios foram realizados sem a alteração prévia do pH da solução.

2.3.1 Cinética de adsorção

O efeito do tempo de contato entre o adsorvente e adsorbato foi investigado através da cinética de adsorção. Neste procedimento, foram adicionadas 0,05 g de CA a diferentes recipientes contendo 10 mL de solução dos corantes AM e VB, com concentrações iniciais previamente conhecidas. Alíquotas do sobrenadante foram retiradas em intervalos de tempo predeterminados, variando de 15 a 4320 min para AM e de 15 a 2880 min para VB. A concentração inicial e final do adsorbato foi determinada através de análises espectrofotométricas de absorção molecular UV-Vis.

2.3.2 Efeito da dosagem do adsorvente

A influência da dosagem do adsorvente foi estudada variando a massa de CA adicionada a 10 mL das soluções de AM e VB, ambas nas concentrações de aproximadamente 18 mg L⁻¹. Esta variação foi de 0,01 a 0,5 g de CA em todos os sistemas. Alíquotas das soluções foram colhidas e suas concentrações iniciais e finais foram determinadas do mesmo modo que as etapas anteriores.

2.3.3 Isoterma de adsorção

O efeito da concentração inicial do adsorbato foi determinado por meio das isotermas de adsorção. Nesta etapa, 0,05 g de CA foram adicionadas a 10 mL de solução dos corantes AM e VB com concentrações variando de 3,2 a 12 mg L⁻¹ para AM e de 3,5 a 12 mg L⁻¹ para VB. Alíquotas das soluções foram colhidas após o período de 28 h e suas concentrações iniciais e finais foram determinadas de forma similar às etapas anteriores.

2.3.4 Capacidade e eficiência de adsorção

A quantidade de corante adsorvida por unidade de massa de CA foi determinada conforme a equação 1 (CASTRO *et. al.*, 2018).

$$Q_t = \frac{(C_i - C_f)V}{m} \quad \text{Equação 1}$$

Onde Q_t é a quantidade de adsorbato removida (mg g⁻¹); C_i e C_f são respectivamente as concentrações inicial e final (mg L⁻¹), m é a massa de adsorbato utilizada (g) e V , o volume da solução (L).

A eficiência de adsorção do corante foi calculada através da equação 2 (CASTRO *et. al.*, 2018).

$$R\% = \frac{(C_i - C_f) 100}{C_i} \quad \text{Equação 2}$$

Onde $R\%$ é a eficiência de adsorção ou remoção (%); C_i e C_f são as

concentrações inicial e final (mg L^{-1}), respectivamente.

2.3.5 Modelagem cinética de adsorção

A modelagem cinética de adsorção foi estudada através dos modelos matemáticos de pseudo-primeira ordem (Equação 3) e pseudo-segunda ordem (Equação 4) (CASTRO *et. al.*, 2018).

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad \text{Equação 3}$$

Onde q_e e q_t são as quantidades de corante adsorvidas (mg g^{-1}) no equilíbrio e no tempo t (min), respectivamente; k_1 é a constante de velocidade de adsorção (min^{-1}). A constante k_1 pode ser calculada a partir da inclinação da reta do gráfico $\ln(q_e - q_t)$ versus t e o valor teórico de q_e através do intercepto com o eixo y .

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad \text{Equação 4}$$

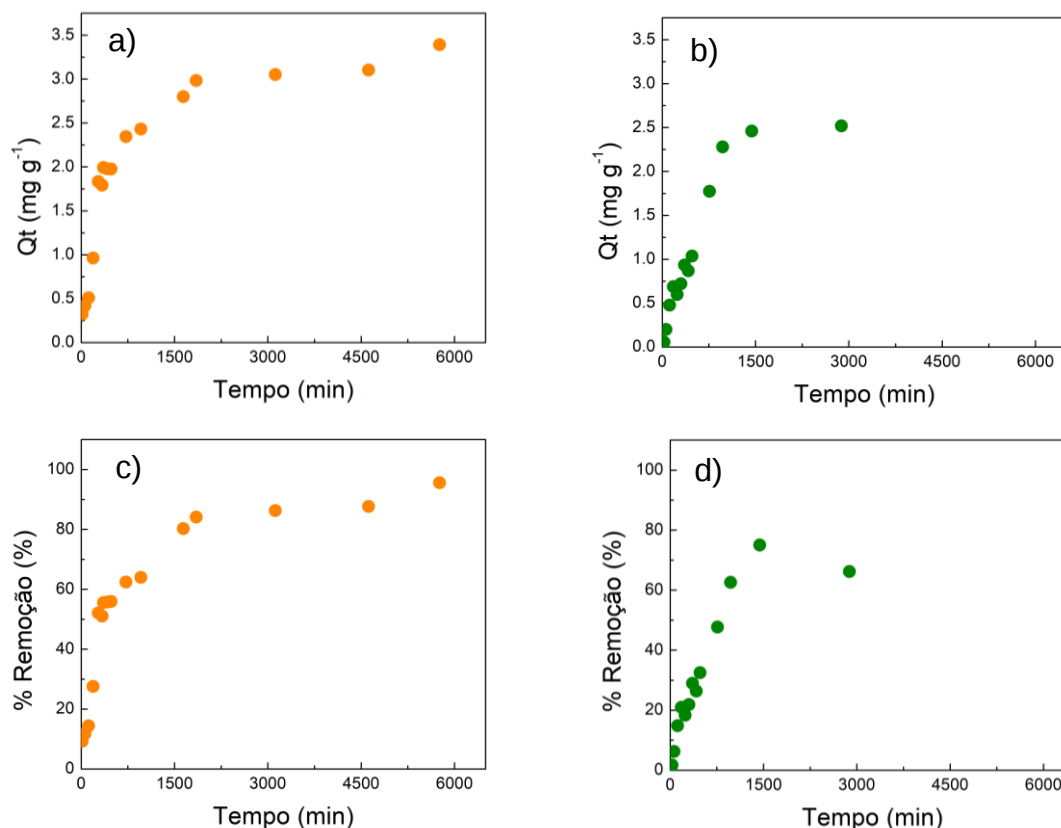
Onde k_2 é a constante de velocidade de pseudo-segunda ordem ($\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$), q_e e q_t são as quantidades de corante adsorvida (mg g^{-1}) no equilíbrio e no tempo t (min). A partir da reta do gráfico de t/q_t versus t , os valores de q_e e k_2 podem ser calculados através da inclinação e do intercepto com o eixo y , respectivamente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 CINÉTICA DE ADSORÇÃO

A cinética de adsorção analisa a quantidade de adsorbato removida em função do tempo de contato com o adsorvente. Seu estudo visa determinar o tempo de equilíbrio onde o sistema atinge o ponto máximo de adsorção (GONSALVES *et. al.*, 2014). Os parâmetros Q_t e $R\%$ foram utilizados para a avaliação da cinética de adsorção. A Figura 2 demonstra os resultados obtidos para os ensaios cinéticos empregando o CA como adsorvente e o AM e VB como adsorbato.

Figura 2 – Cinética de adsorção: a) quantidade de AM adsorvida por unidade de massa de CA; b) quantidade de VB adsorvida por unidade de massa de CA; c) taxa de remoção de AM e d) taxa de remoção de VB.



Percebe-se, através da inclinação das curvas cinéticas, que a quantidade de corante adsorvida por unidade de massa de CA (Q_t) e a taxa de remoção (R%) dos corantes AM e VB são elevados nas primeiras horas, evoluindo de forma moderada nas horas seguintes. Este comportamento é esperado, tendo em vista que nos tempos iniciais o número de sítios ativos disponíveis no adsorvente para a impregnação do adsorbato é maior, assim como a quantidade deste na solução (DE COSTA, *et. al.*, 2015). Além disso, o caminho percorrido pelas curvas cinéticas de Q_t em função do tempo de contato com adsorvente se assemelham com as curvas obtidas por Rattanapan *et. al.*, (2017) & Özdemir *et. al.*, (2016) em seus estudos acerca da adsorção dos corantes analisados em diferentes tipos de carvão ativado e em diferentes condições experimentais.

Percebe-se que a condição de equilíbrio é atingida em tempo menor para o VB (1440 min) em comparação com o AM (1850 min), com valores de capacidade de adsorção (Q_t) máximas de 2,52 e 3,39 mg g^{-1} , respectivamente. Todavia, a taxa de remoção máxima é maior para AM (95%) do que para VB (75%). Supõe-se que esse

comportamento resulta da diferença de tamanho de cada molécula e da natureza iônica de AM, conforme observado na Figura 1.

De todo modo, em ambos os casos a taxa de remoção máxima foi superior a 70%, considerando-se um fator positivo para processos adsorptivos, uma vez que está em consonância com valores de taxas de remoção encontradas por outros autores em estudos sobre a adsorção de corantes sintéticos em meio aquoso (CASTRO *et. al.*, 2018 & BERTOLINI *et. al.*, 2011).

3.2 MODELAGEM CINÉTICA

A modelagem cinética do processo de adsorção dos corantes AM e VB sobre o CA foi obtida pelas regressões lineares das curvas analíticas dos modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem. Esta modelagem fornece parâmetros cinéticos importantes para o ensaios adsorptivos, tais como constante de velocidade de adsorção (k) e o valor teórico da quantidade máxima de corante adsorvida no equilíbrio (q_e) (CASTRO *et. al.*, 2018). A Tabela 1 apresenta os parâmetros cinéticos obtidos conforme as curvas analíticas de cada modelo.

Tabela 1 – Parâmetros obtidos através da modelagem cinética de adsorção de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem.

Modelo	Parâmetros	AM	VB
Pseudo-primeira ordem	k_1 (min^{-1})	6×10^{-4}	$1,1 \times 10^{-3}$
	q_e (mg g^{-1})	2,09	2,43
	R^2	0,81	0,93
Pseudo-segunda ordem	k_2 ($\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$)	$7,86 \times 10^{-4}$	$1,27 \times 10^{-3}$
	q_e (mg g^{-1})	3,48	1,87
	R^2	0,99	0,77
Experimental	q_e (mg g^{-1})	3,39	2,52

Os modelos cinéticos foram avaliados com base no coeficiente de determinação (R^2). Dessa maneira, é possível perceber que os processos adsorptivos se ajustaram melhor ao mecanismo de pseudo-primeira ordem para VB ($R^2 = 0,93$), e pseudo-segunda ordem para AM ($R^2 = 0,99$). Os parâmetros foram obtidos utilizando os modelos que melhor se ajustaram as curvas. Os respectivos ajustes também se confirmam pela

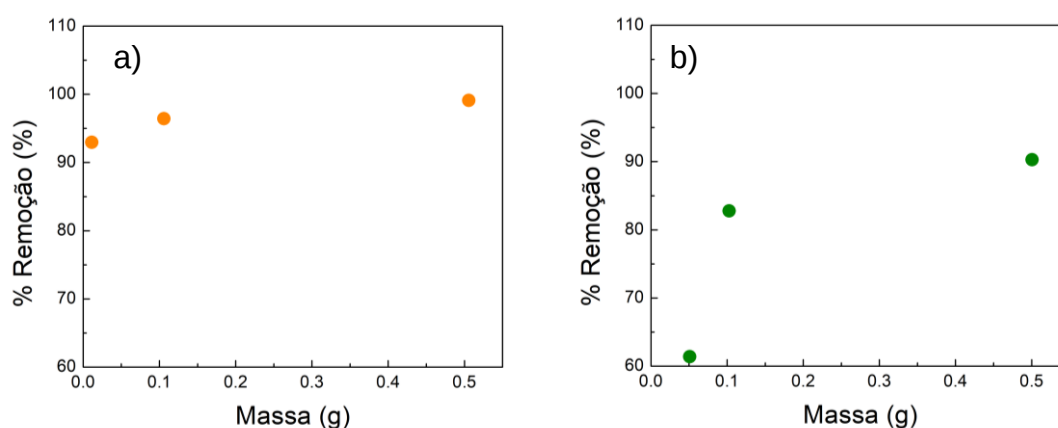
proximidade obtida entre os valores de q_e experimental e q_e teórico (Tabela 1). Isso sugere que a adsorção, em ambos os casos, se comportou de maneira distinta, em que para VB ocorreu uma adsorção do tipo física (em multicamadas) e para AM uma adsorção do tipo química (em monocamada) (BASTOS, 2015).

Comparando os dados da constante de velocidade de adsorção (k) obtidos a partir dos modelos de melhor ajuste, pode-se observar que os valores são próximos, indicando que o processo de adsorção para ambos os corantes apresenta também velocidades similares. Isso pode ser observado quando comparamos as curvas cinéticas de adsorção dos dois corantes (Figura 2).

3.3 EFEITO DA DOSAGEM DO ADSORVENTE

A avaliação do efeito da dosagem objetiva verificar de que forma a variação da massa do adsorvente influencia no processo de remoção do adsorbato, demonstrando qual a melhor dosagem a ser empregada num sistema adsorvente. A Figura 3 apresenta os resultados obtidos para a análise do efeito da dosagem de CA no processo de adsorção de AM e VB.

Figura 3 – Efeito da dosagem de CA no processo de adsorção: a) taxa de remoção de AM e b) taxa de remoção de VB.



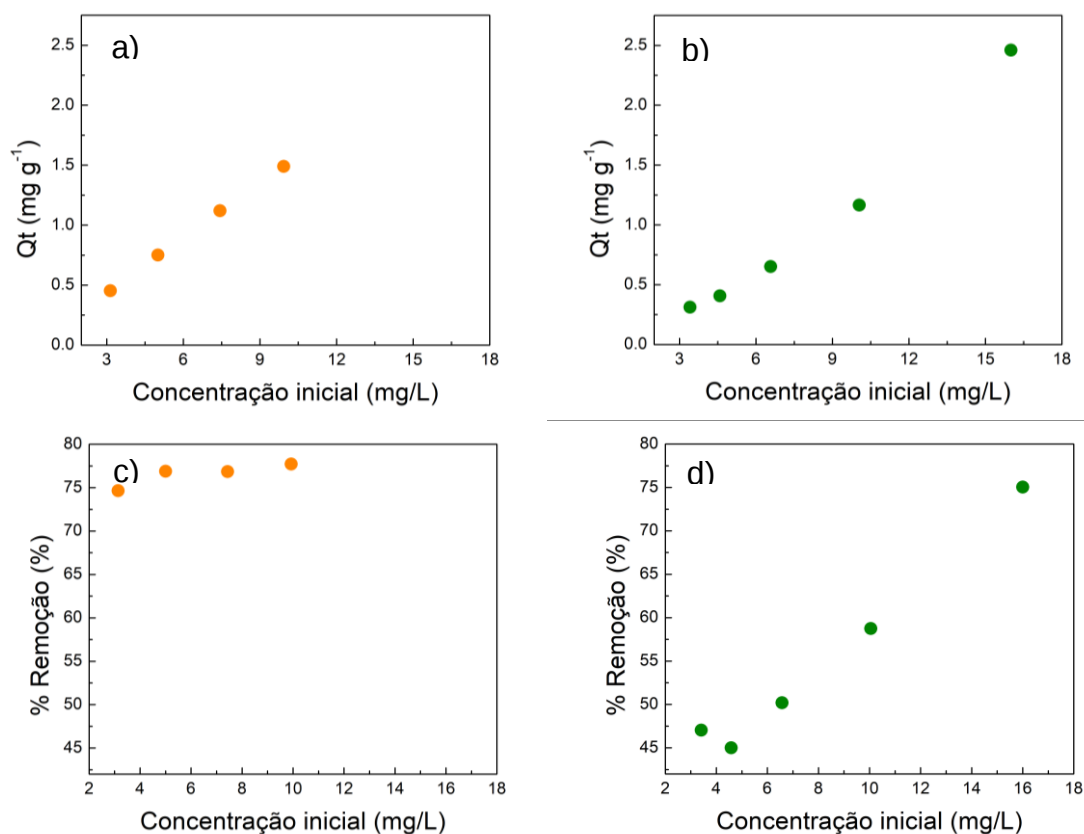
Observa-se um aumento gradativo na taxa de remoção (R%) de AM e VB na medida em que se eleva a massa de CA. Esse resultado é esperado uma vez que o aumento da dosagem do adsorvente pode elevar o número de sítios ativos disponíveis para a retenção do adsorbato (DOS SANTOS et. al, 2016). Constata-se que a dose de máxima eficiência para a remoção de AM e VB foi 0,5 g de CA numa solução de

concentração aproximada de 18 mg L^{-1} em ambos os casos, sendo que para AM a taxa de remoção máxima foi de 99% e, para VB, esta atingiu o valor de 90%.

3.4 ISOTERMAS DE ADSORÇÃO

As isotermas de adsorção apresentam informações acerca da natureza das interações entre adsorbato e adsorvente até o ponto de equilíbrio (DE COSTA, *et. al.*, 2015). Além disso, fornecem estimativas da quantidade máxima de soluto que melhor é retida sobre o adsorvente (MOURA, 2011). Todavia, as isotermas de adsorção aqui expressas (Figura 4), visam apenas determinar a concentração inicial máxima de AM e VB que pode ser adsorvida sobre uma massa de referência de 0,05 g de CA.

Figura 4 – Isotermas de adsorção: a) quantidade de AM adsorvida por unidade de massa de CA; b) quantidade de VB adsorvida por unidade de massa de CA; c) taxa de remoção de AM e d) taxa de remoção de VB.



Verifica-se que o aumento da concentração dos corantes AM e VB provoca um aumento proeminente na quantidade de corante adsorvida por unidade de massa de CA (Q_t), bem como na sua taxa de remoção (R%). Deste modo, determina-se que a

concentração inicial máxima de AM e VB que melhor é adsorvida sobre a massa de referência de CA foi de 9,93 mg L⁻¹ para AM e 16 mg L⁻¹ para VB, com taxas de remoção iguais a 77% e 75% respectivamente.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, a utilização do carvão ativado como material adsorvente para a remoção dos corantes alaranjado de metila (AM) e verde de bromocresol (VB) em meio aquoso, apresentou resultados positivos. Os dados obtidos demonstram comportamentos diferentes para cada um dos corantes estudados. Isso acontece devido a diferença da natureza dos adsorbatos em questão. Porcentagens de remoção acima de 70% foram obtidas, sugerindo que o material adsorvente utilizado neste trabalho é favorável para o uso em processos de adsorção de VB e AM, sendo superior para este último. Os estudos de modelagem cinética mostram que o processo de adsorção para VB segue o modelo de pseudo-primeira ordem, ao contrário do corante AM, que segue o modelo de pseudo-segunda ordem. Tais resultados são esperados, uma vez que a natureza do corante VB é neutra, enquanto a natureza do corante AM é aniônica, sugerindo que o processo de adsorção é física para o corante VB e química para o corante AM. O efeito da dosagem estudado mostra que a capacidade observada cresce com o aumento da massa do adsorvente utilizado devido ao aumento do número de sítios de adsorção. Além disso, a avaliação da concentração inicial do adsorbato mostrou que a capacidade de adsorção cresce com o aumento da concentração inicial, como esperado. Os resultados encontrados evidenciam que o carvão ativado é um material promissor para a remoção dos corantes AM e VB em efluentes aquosos. No entanto, estudos posteriores, como a avaliação do processo de dessorção, podem melhor esclarecer as interações que ocorrem entre adsorvente e adsorbato durante o processo de adsorção.

REFERÊNCIAS

BASTOS, Andréa de Castro. Adsorção de metais em solução aquosa pelos processos de batelada e coluna de leito fixo utilizando silsesquioxano funcionalizado com 5-amino-1, 3, 4-tiadiazol-2-tiol. 2015.

BELISÁRIO, Marciela et al. O emprego de resíduos naturais no tratamento de efluentes contaminados com fármacos poluentes. **InterSciencePlace**, v. 1, n. 10, 2015.

BERTOLINI, Tharcila CR et al. **Estudos de equilíbrio e modelagem cinética da adsorção do corante cristal violeta sobre zeólitas de cinzas leve e pesada de carvão**. 2011.2

BORBA, Carlos Eduardo et al. Estudo da cinética e do equilíbrio de adsorção dos corantes azul turquesa QG e amarelo reativo 3R em carvão ativado. **Engevista**, v. 14, n. 2.p. 135-142, 2012.

CANO, Maribel et al. ESTUDIO COMPARATIVO DE LA REMOCIÓN DE VERDE DE BROMOCRESOL Y ROJO CONGO ENTRE *Sechium edule* Y *Trametes*. **Avances en Ciencias e Ingenierá**. 2017.

CASTRO, A. D.; FRANCO, C. R.; CIDADE, M. J. Adsorção de Corantes Azul Indosol, Laranja Indosol e Vermelho Drimaren em Solução Aquosa por Argila Branca. **Revista Virtual de Química**, v. 10, p. 1-14, 2018.

CHUNG, King-Thom; FULK, George E.; ANDREWS, A. W. The mutagenicity of methyl orange and metabolites produced by intestinal anaerobes. **Mutation Research/Genetic Toxicology**, v. 58, n. 2-3, p. 375-379, 1978.

DE ALMEIDA, Estela Souza Costa et al. Equilíbrio de adsorção do corante rodamina B em carvão ativado obtido dos resíduos do coco verde. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 3, n. 8, p. 1051-1058, 2017.

DE COSTA, Patrícia D.; FURMANSKI, Luana M.; DOMINGUINI, Lucas. Produção, caracterização e aplicação de carvão ativado de casca de nozes para adsorção de azul de metileno. **Revista virtual de química**, v. 7, n. 4, p. 1272-1285, 2015.

DOS SANTOS, Ramiro Ferreira et al. Adsorção de Bário (II) por casca de laranja oriundo da indústria de suco. **Semana de Pesquisa da Universidade Tiradentes-SEMPESq**, n. 18, 2016.

FERREIRA, Wendel M. et al. Corantes: Uma abordagem com enfoque ciência, tecnologia e sociedade (CTS) usando processos oxidativos avançados. **Revista Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 40, n. 4, p. 249-257, 2018.

GONSALVES, Arlan Assis et al. Casca do tamarindo: caracterização e estudos de adsorção de azul de metileno e cromo (VI) usando a técnica de banho finito de líquido. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n. 5, p. 1466-1482, 2014.

GUILARDUCI, Viviane Vasques da Silva et al. Adsorção de fenol sobre carvão ativado em meio alcalino. **Química nova**, v. 29, n. 6, p. 1226-1232, 2006.

IBRAHIM, Rusul Khaleel et al. A clean approach for functionalized carbon nanotubes by deep eutectic solvents and their performance in the adsorption of methyl orange from aqueous solution. **Journal of environmental management**, v. 235, p. 521-534, 2019.

KA, Sajin; ANOGBKUMAR, K. I.; RASA, O. K. pH Indicators: A Valuable Gift for Analytical Chemistry. **Saudi Journals of Medical and Pharmaceutical Sciences**. 2413-4910, 2020.

MOHAMMADI, Nourali et al. Adsorption process of methyl orange dye onto mesoporous carbon material—kinetic and thermodynamic studies. **Journal of colloid and interface science**, v. 362, n. 2, p. 457-462, 2011.

MOURA, K. O. **Utilização de escamas do peixe corvina para adsorção de Cr (VI) em meio aquoso-Cinética e termodinâmica por calorimetria isotérmica contínua. 2011. 201 f.** 2011. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Química)—Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão.

MUHARREM, I. N. C. E.; INCE, Olcay Kaplan. An overview of adsorption technique for heavy metal removal from water/wastewater: A critical review. **International Journal of Pure and Applied Sciences**, v. 3, n. 2, p. 10-19, 2017.

NAM, Wooseok; KIM, Jimin; HAN, Guiyoung. Photocatalytic oxidation of methyl orange in a three-phase fluidized bed reactor. **Chemosphere**, v. 47, n. 9, p. 1019-1024, 2002.

ÖZDEMİR, Mustafa et al. Removal of methylene blue, methyl violet, rhodamine B, alizarin red, and bromocresol green dyes from aqueous solutions on activated cotton stalks. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 38, p. 18038-18048, 2016.

PENHA, A.V. S; MOURA, K. O. PAZ G. L. Tratamento de Águas Residuais: Uma Revisão sobre a Adsorção do Corante Preto de Amido 10B. **Revista Virtual de Química**, 2021.

PIASKOWSKI, Krzysztof; ŚWIDERSKA-DĄBROWSKA, Renata; ZARZYCKI, Paweł K. Remoção de corantes de água e efluentes usando vários processos físicos, químicos e biológicos. **Journal of AOAC International**, v. 101, n. 5, pág. 1371-1384, 2018.

PIZATO, Everton et al. Caracterização de efluente têxtil e avaliação da capacidade de remoção de cor utilizando o fungo *Lasiodiplodia theobromae* MMPI. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 1027-1035, 2017.

RATTANAPAN, Supaporn; SRIKRAM, Jiraporn; KONGSUNE, Panita. Adsorption of methyl orange on coffee grounds activated carbon. **Energy Procedia**, v. 138, p. 949-954, 2017.

SHOKROLLAHI, A. et al. Removal of bromocresol green from aqueous solution via adsorption on *Ziziphus nummularia* as a new, natural, and low-cost adsorbent: kinetic

and thermodynamic study of removal process. **Journal of Chemical & Engineering Data**, v. 56, n. 10, p. 3738-3746, 2011.

SKOOG; WEST; HOLLER; CROUCH. **Fundamentos de Química Analítica**, Tradução da 8ª Edição norte-americana, Editora Thomson, São Paulo-SP, 2006.

VARGHESE, Anitha George; PAUL, Sherely Annie; LATHA, M. S. Remediation of heavy metals and dyes from wastewater using cellulose-based adsorbents. **Environmental Chemistry Letters**, v. 17, n. 2, p. 867-877, 2019.

WU, Yanhong et al. Superior adsorption of methyl orange by h-MoS₂ microspheres: Isotherm, kinetics, and thermodynamic studies. **Dyes and Pigments**, v. 170, p. 107591, 2019.