

Remoção do Violeta Cristal por adsorção utilizando carvão ativado

Removal of Crystal Violet by adsorption using activated charcoal

Ivone Vanessa Jurado Dávila¹; Keila Guerra Pacheco Nunes²; Liliana Amaral Féris³

¹Aluno de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. Orcid: 0000-0002-7578-9152 E-mail: vannah_jd@hotmail.com

²Pesquisadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.
Orcid: 0000-0001-7332-096X E-mail: keila@enq.ufrgs.br

³ Professora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. Orcid: E-mail: liliana.feris@gmail.com

RESUMO: O Violeta Cristal é um corante sintético muito usado na indústria têxtil. Os efluentes industriais contendo este tipo de composto, podem causar importantes problemas ambientais e de saúde. Neste contexto, o presente trabalho buscou as melhores condições operacionais para remoção do corante Violeta Cristal (VC) utilizando carvão ativado granular (CAG) como adsorvente. Foram realizados ensaios de adsorção avaliando a influência do pH, tempo de contato, concentração do sólido adsorvente e concentração inicial de corante. O pH foi variado entre 4 e 9, a quantidade de adsorvente foi variada entre 0,5 e 3 g, o tempo de contato foi estudado em diferentes intervalos, entre 5 e 480 min. Para a construção das isotermas, a concentração inicial da solução de VC foi variada entre 100 e 1000 mg.L⁻¹ e os modelos matemáticos utilizados para descrever os dados de equilíbrio foram os de Langmuir e Freundlich. Os resultados indicaram que os melhores resultados de adsorção foram obtidos com pH 6, tempo de contato de 270 minutos e massa de 2 g de CAG. Para determinar o tempo de contato mais apropriado, utilizou-se solução de mesma concentração anterior em pH 6 e 2 g de CAG. Com esses dados, ajustou-os as isotermas de Langmuir e Freundlich. A que melhor descreveu os dados experimentais foi a isoterma de Freundlich com um coeficiente de determinação de 0,9933. Com base na pesquisa realizada pode-se concluir que o processo proposto apresenta viabilidade técnica para aplicação do processo de adsorção na remoção do corante VC de efluentes têxteis, contribuindo para o avanço nos estudos da área já que foi alcançado uma taxa de remoção de aproximadamente o 89% do corante VC nas condições operacionais estabelecidas.

Palavras-chave: Violeta cristal; Adsorção; Carvão ativado.

ABSTRACT: *Crystal Violet is a synthetic dye widely used in the textile industry. Industrial effluents containing this type of compound can cause significant environmental and health problems. In this context, the present work sought the best operational conditions for the removal of Violet Crystal (VC) dye using granular activated carbon (CAG) as adsorbent. Adsorption tests were performed evaluating the influence of pH, contact time, adsorbent solid concentration and initial concentration of dye. The pH was varied between 4 and 9, the amount of adsorbent was varied between 0,5 and 3 g, the contact time was studied at different intervals, between 5 and 480 min. For the construction of the isotherms, the initial concentration of the VC solution was varied between 100 and 1000 mg.L⁻¹ and the mathematical models used to describe the equilibrium data were those of Langmuir and Freundlich. The results indicated that the best adsorption results were obtained with pH 6, contact time of 270 minutes and mass of 2 g of CAG. To determine the most appropriate contact time, a solution of the same previous concentration at pH 6 and 2 g of CAG was used. With these data, the Langmuir and Freundlich isotherms were adjusted. The best described experimental data was the Freundlich isotherm with a coefficient of determination of 0,9933. Based on the research carried out, it can be concluded that the proposed process presents technical feasibility for the application of the adsorption process in the removal of the VC dye from textile effluents, contributing to the advance in the area studies since a removal rate of approximately 89% of the VC dye under the established operating conditions.*

Keywords: *Crystal Violet; Adsorption; Activated carbon.*

DOI: 10.18554/rbcti.v4i2.3672

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional somado ao processo acentuado de industrialização do século passado além de proporcionar um melhor padrão de vida trouxe consigo como herança a problemática relacionada à poluição dos recursos hídricos. Aliado a isto, o aumento da atividade industrial gerou vários tipos de poluentes tóxicos (ANASTOPOULOS; KYZAS, 2014). Torna-se importante considerar que, apesar da água ser um recurso renovável, caso ela não tenha a qualidade adequada para consumo, ou seja, esteja poluída, ela deixa de estar disponível. Assim, este bem tão precioso pode passar a ser não renovável. Desta forma, o tratamento de efluentes torna-se uma ação imperativa principalmente para a indústria têxtil a qual se destaca tanto pelo crescimento quanto pela geração de resíduos.

Os corantes são uma importante classe de poluentes devido a sua imensa empregabilidade: indústrias têxtil, de papéis, de couro e de tintas (ANASTOPOULOS; KYZAS, 2014). Em relação ao impacto ambiental causado, estimativas recentes indicam que, aproximadamente, 12% dos corantes têxteis usados a cada ano são perdidos durante a manufatura e o processo de operação, e 20% destes acabam entrando no ambiente através dos efluentes. Acredita-se, ainda, que 50% dos corantes são perdidos no processo de tingimento devido ao baixo nível de fixação do corante à fibra (GANDHIMATHI, et al., 2012; GUARATINI; ZANONI, 2000; SALLEH, et al., 2011; ZANONI; CARNEIRO, 2001). Tamanha perda é preocupante, apesar de os corantes, em sua maioria, serem essencialmente não tóxicos e inertes. Eles são constituídos por moléculas aromáticas de estruturas complexas, o que os torna resistentes à luz, à temperatura, ao calor, aos agentes oxidantes e à digestão aeróbica. Porém, mesmo em baixas concentrações, causam o bloqueio da passagem de luz afetando a vida aquática e podem causar bioacumulação e biomagnificação (ANNADURAI; JUANG; LEE, 2002; GANDHIMATHI et al., 2012; MOHAN, et al., 2002; SAIKIA; SIKDAR; DAS, 2013; SALLEH et al., 2011).

Além disso, os corantes são conhecidos, em sua maioria, por causar dificuldades no tratamento de efluentes pelos métodos convencionais (físico-químicos e biológicos) devido a sua resistência à biodegradação, ao calor e a agentes oxidantes (ANNADURAI et al., 2002). Quando identificados em soluções aquosas, os corantes são facilmente perceptíveis pela coloração que conferem à solução. Os corantes podem causar irritação nos olhos e no trato gastrointestinal, sendo que alguns subprodutos gerados como as aminas aromáticas com ligações azo podem ser cancerígenos (RUIU et al., 2019; MALARVIZHI; HO, 2010). Constitui objeto desse estudo o Violeta Cristal (VC), um corante catiônico que possui uma alta capacidade de conferir cor, o que ocorre mesmo a concentrações abaixo de 1 mg.L⁻¹ (ÇORUH et al., 2012). Esse corante tem aplicabilidade em diferentes segmentos: indicador de pH, corante biológico, agente dermatológico, aditivo de ração para aves para inibir a propagação de parasitas intestinais e fungos e é usado extensivamente como corante roxo em tinturaria têxtil e de impressão em papel (GANDHIMATHI et al., 2012; MITTAL et al., 2010).

Apesar de outros processos removerem de forma satisfatória os corantes, a adsorção se apresenta como um dos meios mais efetivos, principalmente pela alta solubilidade e grau de ionização do VC. No processo de adsorção pode ser usado como adsorvente alumina, sílica em gel e carvão ativado sendo esse último o mais utilizado devido a que possui alta área superficial; tem capacidade para remover uma grande variedade de contaminantes orgânicos e inorgânicos. Isso se deve ao fato de poder ser

obtido através de uma grande variedade de matérias-primas como carvão mineral e rejeitos da agroindústria (GUPTA; SUHAS, 2009).

Neste contexto, o presente trabalho avaliou a eficiência do uso do carvão ativado comercial granulado de origem mineral como adsorvente na remoção do corante Violeta Cristal. Para tanto, foram estudados o efeito do pH, da concentração de adsorvente, do tempo de contato e da concentração inicial de corante determinando assim as melhores condições de operação do processo. Para avaliar adequadamente um sistema de adsorção é importante estabelecer a correlação mais apropriada para as curvas de equilíbrio, portanto, os dados de equilíbrio foram ajustados pelas isotermas de Langmuir (sistema homogêneo) e Freundlich (sistema heterogêneo) para melhor compreensão de como o processo de adsorção ocorre, devido que em relação a como as moléculas se distribuem entre a fase líquida e a fase sólida, quando o equilíbrio é alcançado, podem ser interpretadas baseando-se na isoterma de adsorção.

MÉTODOS

Especificações dos reagentes e dos adsorventes

Para os estudos de adsorção em batelada foram utilizados:

- Carvão Ativado Granular (CAG): granulometria entre 9 e 12 Mesh (fornecido por Synth);
- Corante Violeta Cristal (CV) (fornecido por Synth) com 97,8% de pureza;
- NaOH (fornecido por Synth)
- HNO₃ (fornecido por Vetec Química Fina)
- Espectrofotômetro UV/VIS: Thermo Scientific modelo Genesys 10S no $\lambda_{max} = 590$ nm;
- Agitador Wagner Marconi;
- pHmetro digital: Ohaus modelo Starter 3100;
- Frascos Schott.

Solução Sintética do sorvato

A solução-mãe de 1000 mg.L⁻¹ foi preparada a partir de 1 g do corante dissolvido em 1000 mL de água destilada.

Ensaio de adsorção

Para os ensaios de adsorção as soluções foram colocadas em frascos Schott de 250 mL. Em cada frasco tinha-se uma quantidade conhecida de adsorvente, a qual foi colocada em contato com 100 mL de solução de corante a 25 °C. As amostras foram agitadas em um agitador de Wagner a 28 rpm por tempos pré-determinados para cada experimento (agitação mecânica). Para quantificar a concentração inicial e residual do sobrenadante a solução foi analisada em espectrofotômetro UV/VIS. Quando necessário as amostras foram diluídas antes da medição para se adequarem as condições da curva de calibração. Todos os ensaios foram realizados em duplicata.

O percentual de corante removido foi calculado de acordo com a Equação 1:

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

R = porcentagem de remoção (%);

C_i = concentração inicial antes da adsorção (mg.L^{-1});

C_f = concentração final após a adsorção (mg.L^{-1}).

Efeito do pH na adsorção

Os ensaios para o estudo do efeito do pH foram realizados com uma concentração inicial de corante de 100 mg.L^{-1} . O pH foi variado entre 4 e 9, uma vez que soluções fora desta faixa apresentam alterações na intensidade da coloração da solução. Os valores de pH foram ajustados utilizando solução de NaOH e HNO_3 ($0,5 \text{ mol.L}^{-1}$). Para este estudo, 1 g de carvão ativado comercial foi colocado em contato com 100 mL de solução de corante, conforme metodologia utilizada por De Franco et al. (2018). As amostras foram agitadas por 150 min e então analisadas no espectrofotômetro UV/VIS.

Efeito da quantidade de adsorvente na adsorção

Para se analisar o efeito da quantidade de adsorvente no processo de adsorção do VC utilizando CAG a massa de adsorvente foi variada entre 0,5 e 3 g. O tempo de contato do adsorvente com a solução de corante com concentração de 100 mg.L^{-1} sob agitação foi de 150 min.

Efeito do tempo na adsorção

O tempo de contato foi estudado em intervalos entre 5 e 480 min. Para a análise da cinética de reação, a massa de adsorvente que apresentou melhor eficiência no estudo do efeito da quantidade de sólido adsorvente foi colocada em contato por 150 minutos com 100 mL da solução de corante VC com uma concentração de 100 mg.L^{-1} .

Isotermas de sorção

De modo a ser obter os dados necessários para a construção das isotermas numa temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$, a influência da concentração inicial da solução de VC foi variada entre $100\text{-}1000 \text{ mg.L}^{-1}$. As demais condições, como pH, quantidade de massa de CAG e tempo de contato, foram obtidas a partir dos melhores resultados obtidos nos ensaios anteriores,

A capacidade de adsorção foi determinada pela Equação 2. Os modelos matemáticos utilizados para descrever os dados de equilíbrio foram os modelos de Langmuir (3) e Freundlich (4).

$$Q_e = \frac{C_i - C_e}{M} V \quad (2)$$

$$Q_e = \frac{q_{\text{máx}} \cdot K_L \cdot C_e}{1 + K_L \cdot C_e} \quad (3)$$

$$Q_e = K_f \cdot C_e^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

Onde:

Q_e = quantidade de soluto adsorvido na fase sólida (mg.g^{-1});

C_i = concentração inicial de soluto (mg.L^{-1});

C_e = concentração de soluto no equilíbrio (mg.L^{-1});

M = massa de adsorvente (g);

V = volume de solução (L).

q_{max} = máxima capacidade de adsorção (mg.g^{-1});

K_L = constante de Langmuir (L.mg^{-1});

K_F = constante de Freundlich ($\text{mg}^{1-n} \cdot \text{L}^n \cdot \text{g}^{-1}$),

n = coeficiente de afinidade de Freundlich.

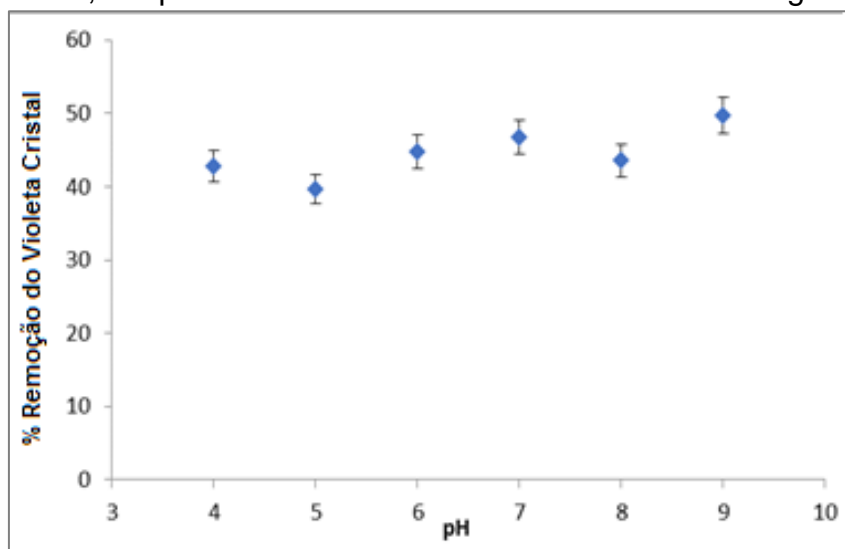
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efeito do pH na adsorção

O pH é um dos fatores mais importantes nos processos de adsorção, pois além de afetar os sítios ativos na superfície do adsorvente, grandes quantidades de H^+ ou OH^- podem competir pelos sítios ativos diminuindo assim a capacidade de adsorção do adsorvente, além de estar diretamente relacionado ao grau de ionização dos corantes (ANNADURAI et al., 2002; ÇORUH et al, 2012).

Na **Figura 1** pode-se observar o percentual de remoção do Violeta Cristal na faixa de pH entre 4 e 9 utilizando o CAG.

Figura 1: Efeito da influência do pH no percentual de remoção do corante VC utilizando 100 mL de solução, 1 g de CAG, tempo de contato de 150 min e corante a 100 mg.L^{-1} .



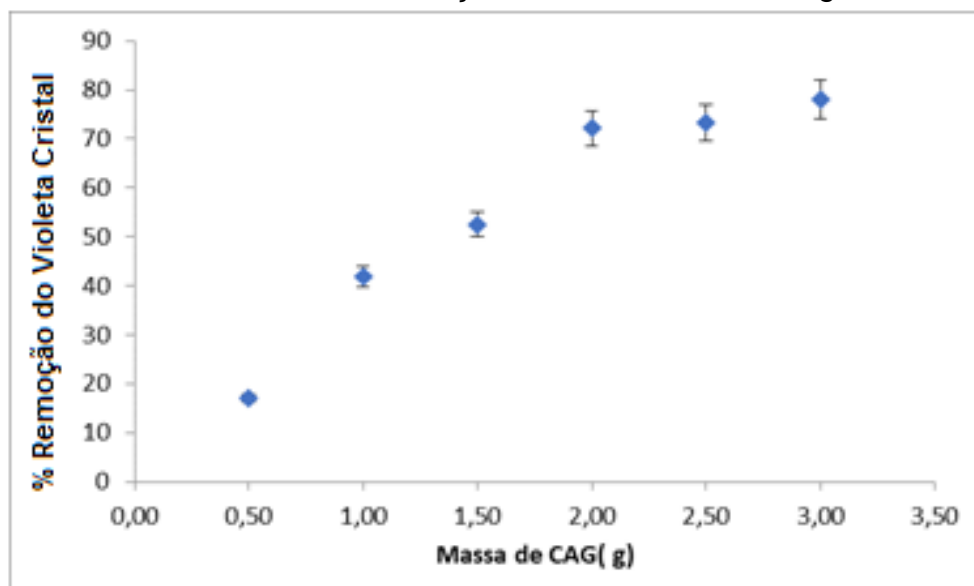
Observa-se na **Figura 1** que o pH 9 apresentou o maior teor de remoção de

corante: aproximadamente 50%. Contudo optou-se por utilizar o pH 6 (remoção de aproximadamente 44,77%) para os demais ensaios. Tal decisão foi baseada nos seguintes fatos: I) a diferença nos percentuais de remoção de 6 a 9 não justifica o ajuste do pH, além de, adicionar ao sistema íons OH⁻, os quais podem competir com o VC na adsorção lembrando a natureza catiônica desde corante, II) a proximidade deste com o pH natural da solução de Violeta Cristal **Figura 1** que é 5 e III) o pH 9 se encontra perto do limite superior onde há mudança na coloração da solução, provavelmente devido à mudança da molécula com o pH. Portanto, o pH 6 foi escolhido considerando fatores de viabilidade técnica e econômica. Nesse pH, o índice de remoção foi equiparável ao obtido com os demais valores de pH aplicados.

Efeito da massa de sólido adsorvente na adsorção

A quantidade de sólido adsorvente, também está diretamente relacionada à área superficial total, ou seja, a quantidade de sítios ativos disponíveis para se ligarem ao corante. Para tanto, variou-se a massa de modo a entender essa relação. Na **Figura 2** é possível observar a influência da quantidade de CAG com a remoção percentual.

Figura 2: Efeito da quantidade de massa de sólido adsorvente no teor de remoção utilizando 100 mL de solução, pH 6, tempo de contato de 150 min e concentração do corante em 100 mg.L⁻¹.



Pode-se observar que o incremento de CAG aumenta o teor de remoção do corante até atingir o equilíbrio entre a concentração adsorvida e a concentração na fase líquida.

Apesar da massa de 3 g apresentar uma melhor porcentagem de remoção (78,26%), a massa de sólido considerada mais adequada no processo foi de 2 g de sólido, já que foi observado que uma quantidade de CAG acima de 2 g pode gerar na solução uma grande quantidade de partículas finas devido ao processo de cisalhamento causado pela agitação mecânica durante o processo de adsorção. Portanto, para os testes subsequentes foi utilizada a massa de 2 g de CAG, que apresentou remoção de

72,10%. Pode ser observado na **Tabela 1** as concentrações residuais de VC de acordo com as quantidades de sólido sorvente utilizadas.

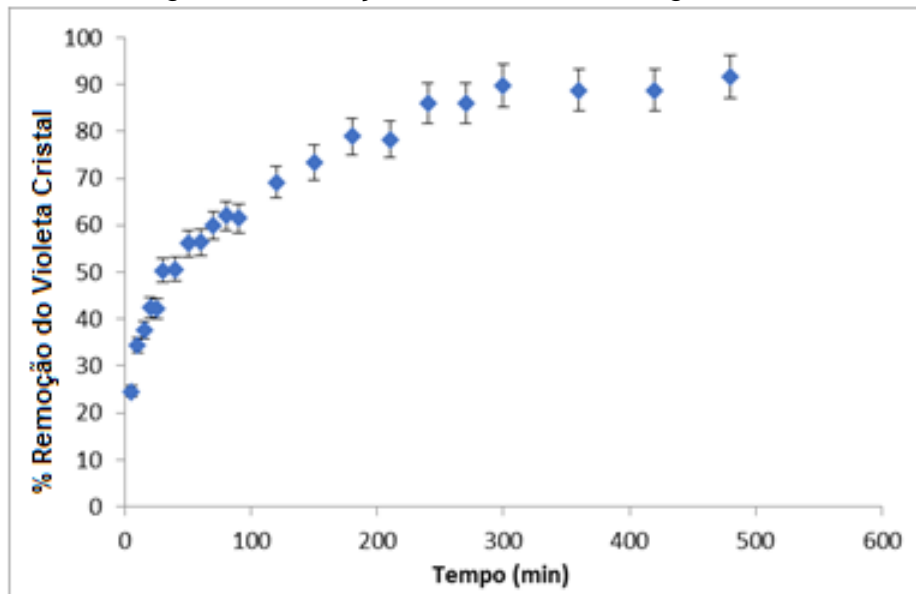
Tabela 1: Concentração residual de Violeta Cristal em solução de acordo com a massa de CAG utilizada (solução inicial 100 mg.L⁻¹).

CAG	Concentração Residual (mg.L ⁻¹)
0,5	81,85
1,0	57,75
1,5	35,78
2,0	27,9
2,5	26,98
3,0	21,74

Estudo Cinético

Para avaliar a influência do tempo na interação adsorvente-adsorvato foram realizados estudos cinéticos que tiveram o objetivo obter o tempo de contato para o ponto ótimo de remoção.

Figura 3: Efeito do tempo de contato no percentual de remoção do corante utilizando 100 mL de solução em pH 6, massa de CAG de 2 g e concentração de corante 100 mg.L⁻¹.



A **Figura 3** apresenta o resultado do teor de remoção de VC em função do tempo de contato. É possível observar uma elevada taxa de remoção nos primeiros 30 min. Após esse tempo a taxa de remoção se torna mais lenta até atingir a estabilidade, a qual se dá

a partir dos 270 min (remoção de 89%). Portanto, para garantir um teor de remoção do corante de no mínimo 89%, é aconselhável a utilização de 330 min de contato. Após esse período a concentração residual é de aproximadamente 11 mg.L⁻¹.

Isotermas de adsorção

As isotermas têm por finalidade avaliar a relação entre a capacidade de adsorção (Q_e) com a concentração de soluto no equilíbrio (C_e) a uma dada temperatura. Seus parâmetros são utilizados para se obter informações sobre o mecanismo de adsorção e as propriedades de superfície.

Os dados experimentais de equilíbrio foram ajustados pelos modelos de Langmuir e Freundlich. A **Figura 4** mostra a isoterma de adsorção para o corante VC utilizando como adsorvente CAG. A **Tabela 2** apresenta os parâmetros obtidos para os modelos analisados.

Figura 4: Ajuste dos modelos de isotermas de adsorção para os dados experimentais para o corante VC utilizando CAG como adsorvente.

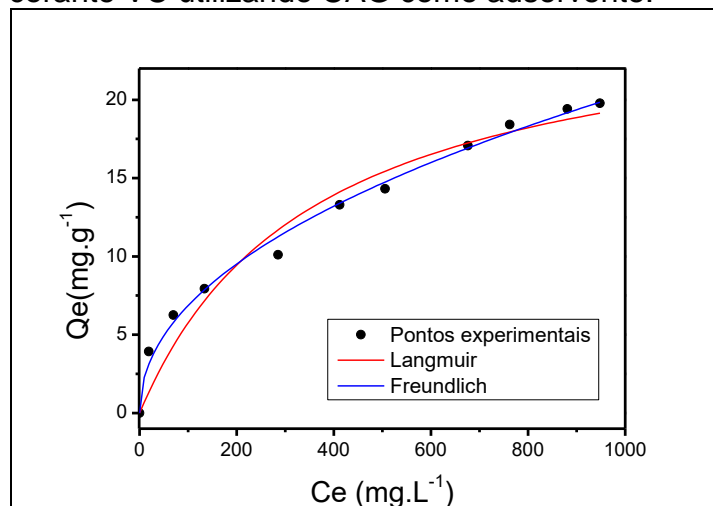


Tabela 2: Parâmetros das isotermas de adsorção do corante VC utilizando CAG como adsorvente.

Modelos	Parâmetros
Langmuir	
Q_{max} (mg.g ⁻¹)	26,36
K_L (L.mg ⁻¹)	0,0028
R^2_{adj}	0,9590
Freundlich	
K_F (mg.g ⁻¹ (mg.L ⁻¹) ^{-1/nF})	0,7802
n_F	2,11798
R^2_{adj}	0,9933

Pode-se observar na **Tabela 2** que o modelo de Freundlich foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, uma vez que apresentou os maiores valores de coeficiente de determinação (R^2). Esse resultado indica que houve formação de

multicamadas de moléculas de soluto sobre a superfície do adsorvente e que a afinidade de adsorção aumentou proporcionalmente com a elevação da concentração do adsorvato até a saturação.

Resultados similares foram reportados na literatura para o processo de adsorção do VC onde os resultados obtidos foram avaliados em pH 6 e os dados ajustaram-se no modelo de Langmuir confirmando um processo homogêneo usando diferentes tipos de sólidos adsorventes como óxido de grafeno (PURI; SUMANA, 2018), bentonita modificada (FABRYANTY et al., 2017) e argilas (MARCO-BROWN et al., 2018).

CONCLUSÕES

O presente trabalho buscou elucidar quais são as melhores condições operacionais para remoção do Violeta Cristal (VC) utilizando carvão ativado granular (CAG) como adsorvente, e como esse processo de adsorção ocorre.

O estudo inicial foi de avaliação da influência do pH do meio para remoção do VC. O pH 6 foi escolhido considerando fatores de viabilidade técnica e econômica. Nesse pH, diminuiu-se o gasto que se teria na correção do pH da solução, havendo economia nos custos do processo chegando-se a um índice de remoção equiparável ao obtido com os demais valores de pH aplicados.

No estudo de avaliação da quantidade de adsorvente, o aumento para 3 g de sólido em solução, apesar de fornecer melhor teor de remoção (78,26%) gerou como inconveniente uma alta carga de particulados finos em suspensão. Por isso, determinou-se como melhor resultado a aplicação de 2 g de CAG, onde se atingiu uma remoção de 72,10%.

O tempo de contato é uma variável importante para o processo, pois há um tempo mínimo para que o equilíbrio seja alcançado. Aos 270 min observa-se uma tendência de estabilidade, confirmada aos 300 min. Para garantir que se esteja trabalhando dentro do intervalo de equilíbrio o tempo de 330 min foi escolhido para os demais ensaios de adsorção com porcentagem de remoção do 89%.

No estudo do equilíbrio da adsorção o modelo matemático de Freundlich foi o que melhor descreveu os dados experimentais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UFRGS, CAPES e CNPQ.

REFERÊNCIAS

ANASTOPOULOS, I.; KYZAS, G. Z. Agricultural peels for dye adsorption: a review of recent literature. **Journal of Molecular Liquids**, v. 200, p. 381–389, 2014. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.molliq.2014.11.006>

ANNADURAI, G.; JUANG, R.-S.; LEE, D.-J. Use of cellulose-based wastes for adsorption of dyes from aqueous solutions. **Journal of Hazardous Materials**, v. 92, n.3, p. 263–274, 2002. DOI: [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(02\)00017-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0304-3894(02)00017-1)

ÇORUH, S.; GEYİKÇI, F.; NURI ERGUN, O. Dye Removal from Aqueous Solution by Adsorption onto Fly Ash. Athens: **ATINER'S Conference Paper Series, No: ENV2012-0057, 2012.**

FABRYANTY, R.; VALENCIA, C.; SOETAREDJO, F. E.; PUTRO, J. N.; SANTOSO, S. P.; KURNIAWAN, A.; ISMADJI, S. Removal of crystal violet dye by adsorption using bentonite – alginate composite. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v.5, n. 6, 5677–5687. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.10.057>.

FRANCO, M. A. E.; CARVALHO, C. B.; BONETTO, M. M.; PELEGRINI SOARES, R.; FÉRIS, L. A. Diclofenac removal from water by adsorption using activated carbon in batch mode and fixed-bed column: Isotherms, thermodynamic study and breakthrough curves modeling. **Journal of Cleaner Production**, v. 181, p. 145-154, 2018.

GANDHIMATHI, R.; RAMESH, S. T.; SINDHU, V.P. Single and Tertiary System Dye Removal from Aqueous Solution Using Bottom Ash: Kinetic and Isotherm Studies. **Iranica Journal of Energy & Environment** v. 3, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5829/idosi.ijee.2012.03.01.0113>

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. **Química Nova**, v.23, n.1, 2000.

GUPTA, V.; SUHAS, D. Application of low-cost adsorbents for dye removal – A review. **Journal of environmental management** v. 90, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.11.017>.

MALARVIZHI, R.; HO, Y.-S. The influence of pH and the structure of the dye molecules on adsorption isotherm modeling using activated carbon. **Desalination**. v. 264, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.07.010>.

MITTAL, A.; MITTAL, J.; MALVIYA, A.; JASPAL, D.; GUPTA, V. Adsorption of Hazardous Dye Crystal Violet from Wastewater by Waste Materials. **Journal of colloid and interface science** v. 343). 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2009.11.060>

MOHAN, D.; SINGH, K.P.; SINGH, G.; KUMAR, K. Removal of Dyes from Wastewater Using Flyash, a Low-Cost Adsorbent. **Industrial & Engineering Chemistry Research - International Engineering Chemistry Research** v. 41, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1021/ie010667>

PURI, C.; SUMANA, G. Highly effective adsorption of crystal violet dye from contaminated water using graphene oxide intercalated montmorillonite nanocomposite. **Applied Clay Science**, 166, 102–112, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2018.09.012>

RUIU, A.; VONLANTHEN, M.; MORALES-ESPINOZA, E. G.; ROJAS-MONTOYA, S. M.; GONZÁLEZ-MÉNDEZ, I.; RIVERA, E. Pyrene chemosensors for nanomolar detection of toxic and cancerogenic amines. **Journal of Molecular Structure**, n. 1196, 1–7, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2019.06.061>

SAIKIA, J.; SIKDAR, Y.; DAS, G. Malachite nanoparticle: a potent surface for the adsorption of xanthene dyes. **Journal of Environmental Chemical Engineering** v. 1, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2013.09.002>

SALLEH, M. A. M.; MAHMOUD, D. K.; KARIM, W. A. W. A.; IDRIS, A. Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: a comprehensive review. **Desalination**, v. 280, n.1, p. 1–13, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.07.019>

ZANONI, M.; CARNEIRO, P. O descarte dos corantes têxteis. **Ciência Hoje** v. 29, 2001.

Recebido em: 12/04/2019

Aprovado em: 06/08/2019