

**USO DO CARVÃO DE BAGAÇO DE CEVADA (*Hordeum vulgare* L.)
PARA A ADSORÇÃO DE Pb(II) EM ÁGUAS**

**USE OF BARLEY BAGASSE COAL (*Hordeum vulgare* L.) for the
ADSORPTION OF Pb(II) IN WATER**

CLEIDE SANDRA TAVARES ARAÚJO

Doutora, Universidade Estadual de Goiás / CCET
cstarjb@yahoo.com.br

NÍVIA MARIA MELO COELHO

Doutora, Universidade Federal de Uberlândia / UFU
nmcoelho@ufu.br

DIEGO PALMIRO RAMIREZ ASCHERI

Doutor, Universidade Estadual de Goiás / CCET
ascheridpr@gmail.com

HÉLEN CRISTINE REZENDE

Doutora, Universidade Federal de Goiás - UFG, Campus Jataí / GO,
helencristinerezende@yahoo.com.br

SUZANA MARIA LOURES DE OLIVEIRA MARCIONILIO

Doutora, Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde / GO
suzana.loures@ifgoiano.edu.br

Resumo: O crescente aumento populacional, desenvolvimento industrial e tecnológico, gera maior uso dos recursos naturais e contribui significativamente para o aumento da concentração de íons metálicos no meio ambiente. A água é um bem indispensável a todas as formas de vida na terra, recurso não-renovável e pouco disponível. Entre eles os íons Pb(II) é detectado com frequência devido ao seu uso em diversos setores. É prejudicial aos seres vivos devido à bioacumulação em diversas formas de vida. Nesse sentido, metodologias envolvendo adsorção de íons metálicos, utilizando materiais adsorventes alternativos têm sido avaliados com resultados promissores. Neste contexto, o presente trabalho avaliou as potencialidades do Carvão ativado, preparado a partir de Bagaço de Cevada (CBC) como material alternativo na remoção de íons Pb(II) em sistemas aquosos. A otimização do sistema foi realizado utilizando o método univariado para o estudo das variáveis: pH e tempo de agitação afim de determinar as condições ótimas. Em todos os experimentos foram utilizadas soluções padrões de Pb(II) na concentração de 10 mg L⁻¹. Após agitação foi realizada a filtração e o sobrenadante foi analisado por Espectroscopia de Absorção Atômica com Chama (FAAS). A Capacidade Máxima de Adsorção (CMA) foi obtida através da construção da isoterma de adsorção, determinando-se graficamente a quantidade máxima (mg) do contaminante adsorvido em uma dada massa de adsorvente (g). A isoterma foi linearizada utilizando os modelos matemáticos de Langmuir e Freundlich, sendo que o modelo com melhor ajuste foi o de Langmuir apresentando coeficiente de correlação linear de 0,99506 e o valor da CMA de íons Pb(II) pelo adsorvente foi de 68,87 mg g⁻¹, sugerindo a monocamada, enquanto que o modelo de Freundlich apresentou um coeficiente de correlação de 0,93703. Os resultados obtidos sinalizaram que o material apresenta potencialidade na remoção de íons Pb(II) em águas.

Palavras-chave: Águas, chumbo, carvão, bagaço de cevada

Abstract: Increasing population growth, industrial and technological development, generates greater use of natural resources and contributes significantly to increasing the concentration of metal ions in the environment. Water is an indispensable asset for all life on earth, a non-renewable resource and little available. Among them, Pb (II) ions are frequently detected due to their use in various sectors. It is harmful to living beings due to

bioaccumulation in various life forms. In this sense, methodologies involving metal ion adsorption using alternative adsorbent materials have been evaluated with promising results. In this context, the present work evaluated the potential of activated charcoal prepared from Barley Bagasse (CBC) as an alternative material in the removal of Pb (II) ions in aqueous systems. The system optimization was performed using the univariate method to study the variables: pH and stirring time in order to determine the optimal conditions. In all experiments, standard solutions of Pb (II) at a concentration of 10 mg L⁻¹ were used. After stirring, filtration was performed and the supernatant was analyzed by Flame Atomic Absorption Spectroscopy (FAAS). Maximum Adsorption Capacity (CMA) was obtained by constructing the adsorption isotherm by graphically determining the maximum amount (mg) of the adsorbed contaminant in a given mass of adsorbent (g). The isotherm was linearized using the Langmuir and Freundlich mathematical models, and the best-fit Langmuir model presented a linear correlation coefficient of 0.99506 and the adsorption Pb (II) CMA value was 68, 87 mg g⁻¹, suggesting the monolayer, while Freundlich's model presented a correlation coefficient of 0.93703. The results indicated that the material has potential for the removal of Pb (II) ions in waters.

Keywords: Water, lead, coal, barley expeller

INTRODUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente têm se destacado cada vez mais, tanto em âmbito nacional quanto em dimensão internacional, devido aos problemas causados pela interferência humana (PALANIAPPAN et al, 2011). Por um período considerável de tempo os recursos naturais vinham sendo utilizados sem que se levasse em conta sua escassez, e, como consequência, surgiram problemas ambientais, como poluição e desmatamento, que ganharam proporções globais, a ponto de levarem as lideranças dos países a se reunirem em busca de soluções (SILVA, J. P. B.; SILVA, S. S.; MENDES, R. S, 2017)

O descarte de efluentes industriais e urbanos no meio ambiente sem tratamento adequado vem prejudicando o equilíbrio dos ecossistemas naturais motivo pelo qual é tema de vários estudos (BARROS; CARVALHO; RIBEIRO, 2017). O excesso de metais tóxicos especialmente em ambientes aquáticos por ser um meio fluídico e facilitar a dissolução das substâncias, é um exemplo de consequências das atividades de mineração, metalurgia, queima de combustíveis fósseis, entre outras, em que os cuidados com os resíduos não são respeitados (BARROS; CARVALHO; RIBEIRO, 2017; CAROLIN et al., 2017).

A água é um dos recursos naturais da biosfera mais importantes utilizados pelos organismos vivos, responsável pela manutenção da vida, possui enorme capacidade de dissolver substâncias, tais como sais minerais, matéria orgânica e gases, sendo que a sua poluição decorre da adição de substâncias que, diretamente ou indiretamente, alterem as suas características físicas e químicas (MELO et al., 2012).

Entre as classes de contaminantes, os íons metálicos recebem destaque pela não biodegradabilidade e, geralmente, tendem a acumular-se nos organismos vivos, causando danos à saúde (GOOGERDCHIAN; MOHEB; EMADI, 2012). A contaminação de águas e

solos por metais pode ocorrer como resultado das atividades de como: mineração, curtumes, refino de petróleo entre outras (MOUNI et al, 2011).

Estes metais alteram a qualidade da água, possuem alta toxicidade, capacidade bioacumulativa e não são biodegradáveis, assim interferindo em processos metabólicos dos seres vivos mesmo em baixas concentrações (BARROS; CARVALHO; RIBEIRO, 2017; NASCIMENTO et al., 2014). Não somente águas superficiais e subterrâneas, próximas aos centros urbanos, têm sido afetadas, mas também regiões extremamente afastadas da civilização como as oceânicas (MOON, 2018). Cipro e colaboradores (2017) constataram a contaminação de invertebrados e peixes por Cd, Cu, Hg e Zn presente na água do mar em uma localidade remota ao sul do Oceano Índico.

Devido a estes fatores, estudos metodologias alternativas para a remediação química de ambientes aquosos é fundamental. A adsorção, dentre os modos convencionais de remoção de íons metálicos, possui a vantagem da simples aplicação e melhor eficiência, principalmente em soluções diluídas dos metais se comparada a demais técnicas (CAROLIN et al., 2017; NASCIMENTO et al., 2014).

Em que pese à remediação química de ambientes aquosos contaminadas por íons metálicos, tornam-se necessário, a busca e desenvolvimento de métodos alternativos simples e de baixo custo, que permitam removê-los do meio ambiente (CHATTERJEE, BHATTACHARJEE e CHANDRA, 2010). Métodos convencionais como, precipitação química, troca iônica (TAGLIAFERRO et al., 2011), resinas quelantes (SADEGHI e ESHEIKHZADEH, 2009) entre outros, são amplamente utilizadas, porém demandam custos elevados em relação à implantação e operação.

Processos alternativos como o uso de materiais adsorptivos tem sido investigados com a obtenção de resultados promissores. A descoberta do fenômeno de adsorção se inicia com o conhecimento de que um sólido poroso é capaz de reter um gás, quando Scheele e Fontana registraram que carvão recém calcinado é capaz de reter volumes expressivos de vários gases e que a eficiência do processo depende da área exposta e da porosidade do material (RUTHVEN, 1984). O fenômeno de adsorção é atualmente definido como o enriquecimento de um ou mais componentes em uma região interfacial devido a um não balanceamento de forças (GREGG, 1962). Os principais elementos da adsorção são o fluido, a superfície e os componentes retidos pela superfície. O adsorvente é o sólido no qual se dará o fenômeno de adsorção, o fluido em contato com o adsorvente é chamado de adsorptivo e chama-se adsorbato o analito retido pelo adsorvente.

O processo adsorptivo é descrito pelas isotermas de adsorção e normalmente, as isotermas de adsorção em líquidos representam a quantidade adsorvida de uma dada espécie de interesse por unidade de massa do adsorvente em função da concentração da espécie na fase líquida em equilíbrio com a fase adsorvida, a uma temperatura, para um sistema sólido-fluido (ROMANIELO, 1999).

A adequação de um modelo teórico adsorptivo aos dados experimentais propicia um melhor conhecimento do mecanismo envolvido no processo como um todo (TARLEY, 2011).

As isotermas de adsorção permitem a determinação dos parâmetros relacionados ao equilíbrio do processo, tais como a constante de adsorção e a quantidade máxima de contaminante que o material pode reter na superfície do adsorvente. As isotermas podem se apresentar de várias formas, cada uma fornecendo informações importantes sobre o mecanismo de adsorção, natureza das forças entre o adsorvente e o soluto.

A isoterma de Langmuir é um dos modelos mais simples para a representação de isotermas de adsorção, e corresponde a um tipo de adsorção em monocamadas altamente idealizada. O modelo de adsorção proposto por Langmuir considera que o adsorvente possui um número limitado de posições na superfície, e que as moléculas podem ser adsorvidas até que todos os sítios superficiais disponíveis estejam ocupados, considera-se que as moléculas serão adsorvidas apenas nos sítios livres (TARLEY, 2011).

O modelo de isoterma de Freundlich supõe um número infinito de sítios de adsorção em relação ao número de moléculas de soluto e baseia-se no conceito que os íons são infinitamente acumulados na superfície heterogênea do adsorvente (ATKINS, 1999).

Abaixo são apresentadas as equações linearizadas das isotermas de Langmuir (1) e Freundlich (2):

$$1/Q_e = 1/Q_{\max} + 1/b.Q_{\max} \times 1/C_e \quad (1)$$

Sendo que:

Q_e = Quantidade da espécie analítica adsorvida

C_e = concentração da espécie analítica no equilíbrio

$Q_{\max}$ = Parâmetro de Langmuir relacionado com as forças de interação adsorvente-adsorvato.

$$\log_{q_{eq}} = \log KF + 1/n \log C_{eq} \quad (2)$$

onde:

Q_{eq} = quantidade de soluto adsorvido no equilíbrio (mg g^{-1})

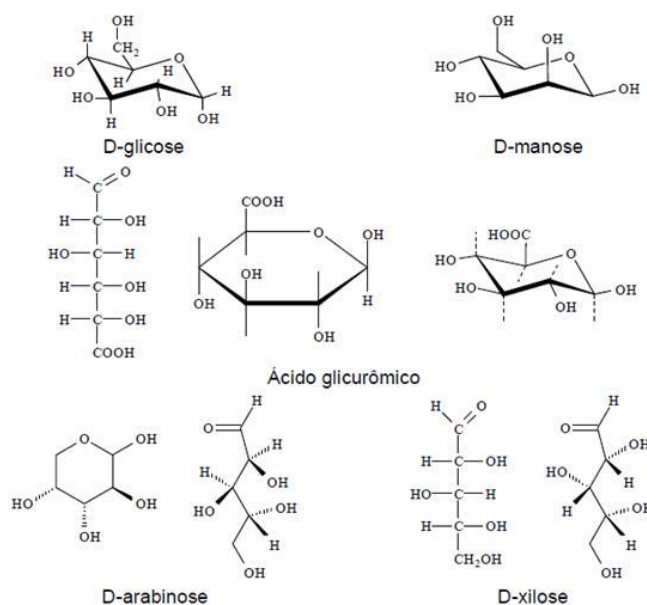
C_{eq} = a concentração de equilíbrio do soluto na fase líquida (mg L^{-1})

KF = constante de equilíbrio de Freundlich ($\text{m g}^{-1})(\text{L mg}^{-1})^{1/n}$

$1/n$ = parâmetro que informa o grau de linearidade da isoterma

Materiais naturais alternativos lignocelulósicos para a remoção de íons metálicos em ambientes contaminados como cascas de laranja (ALMEIDA et al., 2012), de arroz (MIMURA et al., 2010), amêndoas de baru (MOSQUETTA et al., 2011) dentre outros, têm sido investigados, devido estes se enquadrarem como materiais adsorventes com bom potencial de remoção dos íons contaminantes. Os materiais lignocelulósicos, de origem vegetal, apresentando grande quantidade de lignina e celulose na sua constituição normalmente subprodutos agroindustriais de fácil obtenção. Grupos como hioxila, carbonilas e carboxilas possuindo grande densidade eletrônica, faz presente nestas estruturas, sugerindo mecanismo de troca iônica e atração eletrostática (MONTEIRO, 2010). A Figura 1 mostra as unidades básicas de hemicelulose.

Figura1: Unidades básicas da hemicelulose.



Fonte: MONTEIRO, 2010

Estudos mostram que o carvão ativado proveniente de resíduos agroindustriais também apresenta potencialidade e podem ser utilizados para a remoção de íons metálicos em águas (VARGA et al., 2013; FATEHI; RYAN; NI, 2013; SANTOS et al., 2011).

A cevada é um cereal que pertence à família das gramíneas e possui designação genética de *Hordeum* (BRIGGS, 1995). É um cereal de inverno que ocupa a quinta posição, em ordem de importância econômica, no mundo. O grão é utilizado na industrialização de

bebidas (cerveja e destilados), na composição de farinhas ou flocos para panificação, na produção de medicamentos e na formulação de produtos dietéticos e de sucedâneos de café.

O bagaço de cevada é um material lignocelulósico, contendo cerca de 17% de celulose, 28% polissacarídeos não-celulósicos e 28% de lignina (MUSSATTO; DRAGONE; ROBERTO, 2006). Esse material também é rico em proteínas insolúveis e fibras provenientes dos resíduos da parede celular da casca da cevada, que representam cerca de 30 e 65% de sua composição, respectivamente (VIEIRA; BRAZ, 2009).

Pela sua constituição, o material pode ser uma fonte em potencial de celulose, que apresenta grupos cromóforos tais como hidroxilas alifáticas e aromáticas, aldeídos, ácidos carboxílicos, etc., que apresentam propriedades de adsorver íons metálicos (CAO et al., 2013).

Carvão ativado (CA) obtido de subprodutos agrícolas tem algumas vantagens, como eficiência e baixo custo, se forem comparado com carvão ativado granular não renovável. A abundância e disponibilidade de subprodutos agrícolas os tornam boas fontes de matérias-primas para produção de carbono, e nos últimos anos, isso promoveu uma crescente interesse de pesquisa no uso de resíduos alternativos de indústria e agricultura para produção de carvão ativado (KÖSEOGLU, E.; AKMIL-BAS, C, 2015).

Neste trabalho foi realizada a avaliação da capacidade de remoção de íons Pb(II) pelo carvão produzido a partir do bagaço de cevada coletado em indústria cervejeira no Município de Anápolis-GO. Ao produzir carvões ativados a partir de subprodutos agrícolas, certas propriedades, como rendimento e superfície específica, são muito importantes para a obtenção de um material adsorvente econômico e promissor (LOREDO-CANCINO, 2013).

No entanto vários pesquisadores não otimizaram essas propriedades simultaneamente e obtiveram condições ótimas diferentes para a produção de carvão ativado que aumentam a superfície específica.

MATERIAL E MÉTODOS

Instrumentação

A infraestrutura para o desenvolvimento desse projeto pertence à Universidade Estadual de Goiás – CCET/Anápolis-GO e às instituições parceiras: Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Universidade Federal de Goiás (UFG).

Padrões, reagente e adsorvente

Todas as soluções foram preparadas com reagentes químicos de grau analítico e água deionizada, preparadas por meio de diluições sucessivas de soluções estoque 1000 mg L^{-1} . O bagaço de cevada foi obtido em indústria cervejeira no entorno da cidade de Anápolis-GO. A Figura 2 mostra o material in natura antes da produção do carvão.

Figura 2: Bagaço de cevada (BC) seco “in natura”.



Fonte: Autores, 2019.

Produção do carvão ativado

O processo de produção e ativação do carvão a partir do bagaço de cevada foi realizado conforme metodologia proposta por Loredó-Cancino, et al., (2013). No ensaio, 10 g do material foi impregnado com 11,0 g de cloreto de zinco previamente dissolvido em 10 mL de água destilada e aquecido, sob agitação magnética, por 6h a 96°C . Em seguida, o material resultante foi seco em estufa com circulação forçada a $60 \pm 3^\circ\text{C}$ por 12 h recebendo a denominação de precursor sendo usado na produção de carvão. Uma massa de 10 g do precursor foi transferida para uma célula de quartzo em “U” e ajustada no forno. Esta, por sua vez, foi aquecida a uma taxa de 5°C min^{-1} sob fluxo de nitrogênio de 60 mL min^{-1} em forno elétrico até atingir a temperatura de 440°C , a qual foi mantida por 20 minutos. O material carbonáceo obtido foi lavado com solução de $\text{HCl } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$ para remover o excesso de agente de ativação e posteriormente lavado diversas vezes com água destilada até a obtenção de solução límpida sem turvação. Para confirmar a remoção completa do agente de ativação, 10 mL de solução de $\text{NaOH } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$ foram adicionados a uma alíquota de 10 ml de filtrado em cada etapa de lavagem. O material obtido foi seco em estufa a 60°C por 12h e armazenado em embalagem hermeticamente fechada. A obtenção de Carvão a partir do

Bagaço de Cevada (CBC) foi realizada em triplicata para cada amostra e a Figura 3 mostra o material carbonáceo final obtido.

Figura 3: Carvão obtido a partir do Bagaço de cevada (BC) seco “*in natura*”.



Fonte: Autores, 2019.

Preparação da solução do metal

Todas as soluções foram preparadas utilizando água deionizada obtida por um sistema purificador/deionizador de água Gehaka (São Paulo, Brasil) e reagentes químicos de grau analítico. Os frascos plásticos para armazenamento das soluções e as vidrarias foram descontaminadas em banho de HNO₃ 10% v/v por 24 h. Posteriormente, o material foi lavado várias vezes com água deionizada e, em seguida, e secas a temperatura ambiente. As soluções padrões de chumbo foram preparadas a partir de diluições adequadas de uma solução estoque 1000 mg L⁻¹ Carlo Erba (Val de Reuil, França). A solução de ácido nítrico usado foi preparada pela diluição do ácido concentrado Nuclear (São Paulo, Brasil).

Ensaio de adsorção

Os experimentos foram realizados em batelada. 20 mL solução em pH ajustados contendo o íon de interesse em concentrações crescentes (0 - 200 mg L⁻¹) foram agitados com 10 mg do adsorvente durante 20 minutos. Após a agitação a mistura foi filtrada em papel de filtro Quanty, o sobrenadante analisado e o teor de Pb(II) quantificado por Espectrômetro de Absorção Atômica com Chama (FAAS), (Varian, AA 220), na Universidade Federal de Uberlândia. A concentração do metal retido no adsorvente (Q_e mg g⁻¹) foi determinada a partir da equação 1 apresentada abaixo:

$$Q_e = [(C_o - C_e) \times V] / m \quad (1)$$

onde,

C_0 e C_e são as concentrações iniciais e finais (equilíbrio) do íon metálico em solução, o volume em (L) e m a massa do adsorvente em (g). O experimento foi realizado em sistema aberto com a temperatura em torno de 25 °C.

RESULTADO E DISCURSSÃO

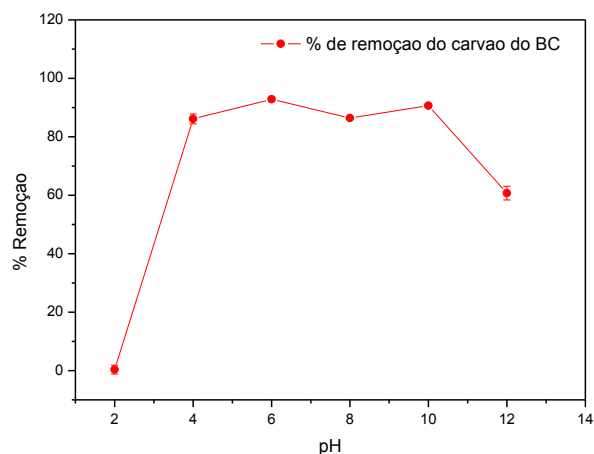
Estudos de adsorção

A adsorção de íons de metálicos na superfície de um material é afetada por vários fatores, tais como o pH e o tempo de agitação. Foi utilizado o método univariado para a otimização das variáveis, onde cada uma é avaliada por vez.

Efeito do pH

Sabe-se que o pH pode afetar a protonação dos grupos funcionais presentes nas estruturas que constitui a biomassa bem como a composição química do metal. Como mostrado na Figura 3, a adsorção do metal aumentou com o aumento do pH na faixa de 2 a 6. A capacidade máxima de absorção ocorreu em pH = 6. Em valores de pH baixos, a concentração de prótons aumentou e a competição na ligação dos sítios ativos na superfície do adsorvente, por H^+ e os íons metálicos. Sítios ativos protonados foram incapazes de ligar o metal permanecendo livres em solução. Em valores de pH elevados ocorre a precipitação devido à maior concentração de ânions hidroxila na solução.

Figura 4: Efeito do pH na remoção de íons Pb(II) utilizando CBC..

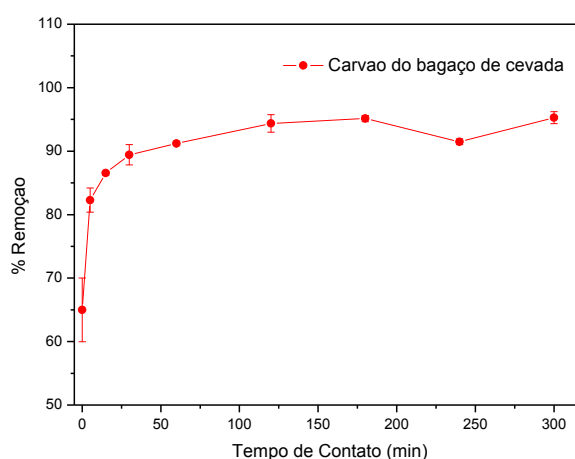


Fonte: Autores, 2019.

Efeito do tempo de contato

Comportamentos de cinética de adsorção típicos apresentam uma adsorção inicial rápida, seguido por um processo mais lento. Tem sido observado que a máxima remoção ocorreu nos primeiros 5 minutos (Figura 5). Após este período, a quantidade de íons metálicos ligados não se alterou durante o curso do processo.

Figura 5: Efeito da variação do tempo de contato na remoção de íons Pb(II) utilizando BC.

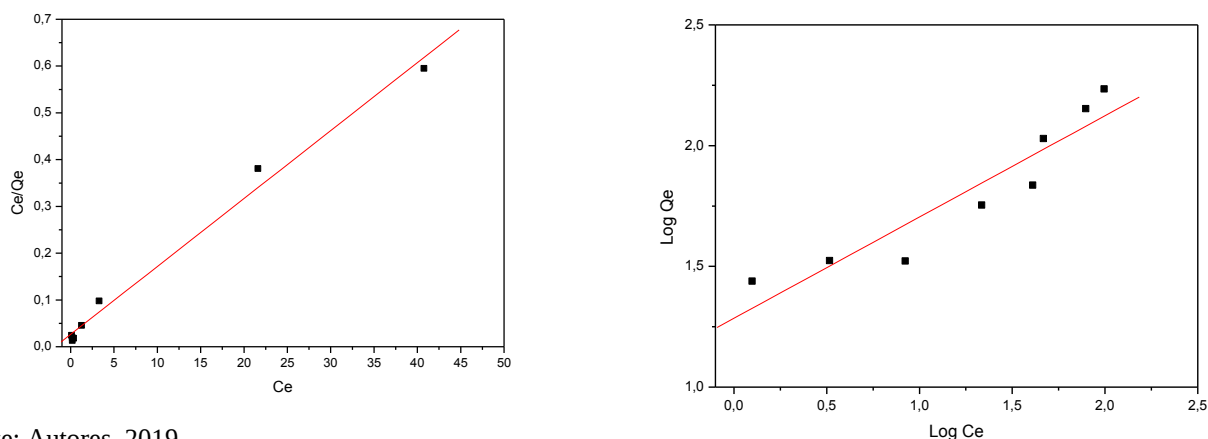


Fonte: Autores, 2019.

Isoterma de adsorção

Isotermas de adsorção descrevem a relação entre a massa do componente adsorvido por massa do adsorvente e a concentração do íon de interesse na solução. A determinação de parâmetros no equilíbrio fornece informações importantes que permitem avaliar os sistemas de adsorção. Duas isotermas conhecidas foram escolhidos com base na literatura para se ajustar aos dados experimentais relativos à absorção de íons Pb(II) na superfície da biomassa. Os dados das isotermas de adsorção dos materiais foram aplicados os modelos de Langmuir e Freundlich, como mostrado nas Figuras 6 (a) e (b). Os resultados mostraram que o melhor ajuste foi obtido para o modelo de Langmuir conforme dados apresentados na Tabela 1, sugerindo a formação de monocamada. Os valores da capacidade máxima de adsorção, $Q_{\max}$, e da constante de Langmuir, b , foram calculados por regressão não linear.

Figura 6 (a) e (b): Isoterma de adsorção de íons Pb(II) linearizada segundo os modelos de Langmuir e Freundlich utilizando o carvão do Bagaço de Cevada (CBC) como adsorvente.



Fonte: Autores, 2019.

Tabela 1: Parâmetros obtidos para a adsorção de Pb(II) na aplicação dos modelos matemáticos para os materiais.

Material	Constantes de Lagmuir			Constantes de Freundlich		
	$Q_{\max}$ (g g ⁻¹)	K_L	R^2	N	K_F	r^2
CBC	68,87	0,05	0,99506	2,38	19,28	0,93706

Fonte: Autores, 2019.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados experimentais obtidos na construção das isotermas de adsorção, sinalizam para bons ajustes para os dois modelos matemáticos de isotermas, sendo o coeficiente de correlação para o modelo de Langmuir ligeiramente superior ao modelo de Freundlich. Embora os dados de adsorção foram ajustados para os dois modelos, não é possível dizer exatamente qual dos modelos explica com clareza o processo de adsorção. Os resultados preliminares com o carvão do bagaço de cevada (CBC) na remoção de íons Pb(II), demonstrou que o material apresenta potencialidades na remoção de íons metálicos em águas, uma vez que o procedimento proposto é simples, figurando em um tratamento alternativo para a melhoria da qualidade de águas e efluentes.

AGRADECIMENTOS

- ✓ A Deus;
- ✓ À UEG/CCET e a instituições parceiras UEG/UFG/UFU pela infraestrutura;
- ✓ Aos meus supervisores em estágio pós-doutoral: Profa. Dra Nivia Maria Melo Coelho/UFU e o Prof. Dr Diego Palmiro Ramirez Ascheri pelas valiosas contribuições

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. S.; FRANCO JUNIOR, M. R.; ROCHA, N. R. A. F.; ROSSI, A. S., Redução do teor de prata e chumbo de águas contaminadas através do uso de material adsorvente. Revista Analytica, v. 59, 2012.

ATKINS, P. W. Princípios de Química. Porto alegre: Bookman, 1999. BRASIL, Embrapa, cevada, disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/cevada/index.htm>, acesso em 12 de maio de 2013.

BARROS, D. C.; CARVALHO, G.; RIBEIRO, M. A. Processo de biossorção para remoção de metais pesados por meio de resíduos agroindustriais: uma revisão. Biotecnologia & Ciência, v. 6, n. 1, 2017.

BRIGGS, D. E. et al. Malting and brewing science, 2. Ed. London : Chapman all, 1995.

CAROLIN, C. F.; SENTHIL KUMAR, P.; SARAVANAN, A.; JOSHIBA, G. J.; NAUSHAD, M.. Efficient techniques for the removal of toxic heavy metals from aquatic environment: A review. Journal of Environmental Chemical Engineering, v.5, 2017.

CAO, j.; XIAO, G.; XU, X.; SHEN, D.; JIN, B., Study on carbonization of lignin by TG-FTIR and high-temperature carbonization reactor, Fuel Processing Technology, v. 106, 2013.

CHATTERJEE, S. K; BHATTACHARJEE, I; CHANDRA, G. Biosorption of heavy metals from industrial waste water by Geobacillus thermodenitrificans. Journal of Hazardous Materials, v. 175, 2010.

FATEHI, P.; RYAN, J.; NI, Y., Adsorption of lignocelluloses of model pre-hydrolysis liquor on activated carbon, Bioresource Technology, v. 131, 2013.

GOOGERDCHIAN, F.; MOHEB, A.; EMADI, R. Lead sorption properties of nanohydroxyapatite–alginate composite adsorbents. Chemical Engineering Journal, v. 200, 2012.

GREGG, S. J.; SING, K. S. W., Adsorption, Surface Area and Porosity, 1.ed. London and New York: Academic Press, 1962.

LOREDO-CANCINO, M.; SOTO-REGALADO, E.; CERINO-CÓRDOVA, F. J.; GARCÍA-REYES, R. B.; GARCÍA-LEÓN, A. M.; GARZA-GONZÁLEZ, M. T. Determining optimal conditions to produce activated carbon from barley husks using single or dual optimization. Journal of Environmental Management, v. 125, 2013.

MELO, V. F.; ANDRADE, M. de.; BATISTA, A. H.; FAVARETTO, N. Chumbo e zinco em águas e sedimentos de área de mineração e metalurgia de metais. Química Nova, v. 35, p. 22-29, 2012.

MIMURA, A. M. S.; VIEIRA, T. V. de A.; MARTELLI, P. B.; GORGULHO, H. de F. Aplicação da casca de arroz na adsorção dos íons Cu^{2+} , Al^{3+} , Ni^{2+} e Zn^{2+} . Química Nova, vol. 33, p. 1279-1284, 2010.

MONTEIRO, M.S. Mesocarpo de coco verde (*Cocos nucífera*) e pó de serragem da tatajuba (*Bagassa guianensis Aubl*) como adsorvente em meio aquoso. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós – Graduação em química, Universidade Federal do Maranhão, São Luís – Maranhão, 2010.

MOON, P. Poluição por metais pesados atinge ilhas remotas. Boletim Agência FAPESP, 12 mar. 2018. Disponível em: <http://agencia.fapesp.br/poluicao-por-metais-pesados-atinge-ilhas-remotas/27310/>. Acesso em: 04 ago. 2018.

MOSQUETTA, R.; RIBEIRO, G. C.; MUNOZ, R. A. A.; COELHO, N. M. M., Uso de amêndoas de baru (*Dypterix alata*) para a remoção de Ni(II) em etanol combustível, Química Nova, v. 34, p. 923-927, 2011.

MOUNI, L.; MERABET, D.; BOUZAZA, A.; BELKHIRI, L. Adsorption of Pb(II) from aqueous solutions using activated carbon developed from Apricot stone. Desalination. v. 276, 2011.

MUSSATTO, S. I.; DRAGONE, G.; ROBERTO, I. C. Brewers'spent grains: generation, Characteristics and potencias applications, Journal of Central Science. v. 4, 2006.

PALANIAPPAN, M.; GLEICK, P. H.; ALLEN, L.; COHEN, M. J.; CHRISTIAN-SMITH, J.; SMITH, C.; Cuidado das águas: Soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos. Brasília – Distrito Federal, p. 1 – 160, 2011.

ROMANIELO, L. L., Modelagem matemática e Termodinâmica da Adsorção de Gases Multicomponente, Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 1999.

RUTHVEN, D.M., Principles of Adsorption & Adsorption Process, Jhon Wiley & sons, New York, 1984.

SADEGHI, S.; SHEIKHZADEH, E. Solide phase extraction using silica gel modified with murexide for preconcentration of uranium (VI) ions from water samples. Journal of Hazardous Materials. v. 163, 2009.

SANTOS, W.N.L.; CAVALCANTE, D.; SILVA, E. G. P.; VIRGENS, C. F.; DIAS, F. S., Biosorption of Pb(II) and Cd(II) ions by *Agave sisalana* (sisal fiber), Microchemical Journal, v. 97, 2011.

SILVA, J. P. B.; SILVA, S. S.; MENDES, R. S. Gestão ambiental em empresas públicas e sociedades de economia mista do estado de Minas Gerais. Revista Ciências Administrativas, v. 23, n. 2, 2017.

TAGLIAFERRO, G.V.; PEREIRA, P.H. F.; RODRIGUES, L. A.; SILVA, M. L. C. P. Adsorção de chumbo, cádmio e prata em óxido de nióbio (V) hidratado preparado pelo método de precipitação em solução homogênea. Química Nova, v. 34, 2011.

TARLEY, C. R. T.; COSTA, L.M.; RIBEIRO, E.S.; SEGATELLI, M. G. ; NASCIMENTO, D. R.; OLIVEIRA, F.M., Adsorption studies of Cd(II) onto Al₂O₃/Nb₂O₅ mixed oxide

dispersed on silica matrix and its on-line preconcentration and determination by flame atomic absorption spectrometry. *Spectrochimica Acta Part B*, v. 66, 2011.

VIEIRA, A. A.; BRAZ, J. M. Bagaço de Cevada na Alimentação Animal, *Revista Eletrônica Nutrime*, v,6, n.3, 2009.

VARGA, M.; TAKÁCS, M.; ZÁRAY, G.; VARGA, I., Comparative study of sorption kinetics and equilibrium of chromium (VI) on charcoals prepared from different low-cost materials. *Microchemical Journal*, v. 107, 2013.