

BIOSSORÇÃO DO ÍON CHUMBO PELA CASCA DE SOJA

Andréia Colombo^{1*}; Claudinéia Aparecida Geraldi¹; Silvia Priscila de Oliveira²; Pricila Marin²; Aparecido Nivaldo Módenes¹; Daniela Estelita Goes Trigueros¹; Aline Roberta de Pauli¹; Caroline Ribeiro¹; Fabiano Bisinella Scheufele²; Gustavo Henrique Fidelis dos Santos²; Pedro Yahico Ramos Suzaki²; Ana Paula de Oliveira².

Resumo – O objetivo deste trabalho é avaliar o potencial da casca de soja na descontaminação de águas contendo a espécie metálica chumbo. O estudo foi realizado em reator batelada de escala laboratorial e inicialmente, avaliou-se o efeito do pH da solução, temperatura de sorção, granulometria do biossorvente e velocidade de agitação, na remoção do íon. As melhores condições obtidas foram utilizadas nos testes cinético e de equilíbrio. Todos os testes foram feitos em duplicata. Os resultados dos testes preliminares mostraram que as melhores condições para biossorção do íon chumbo foi pH 4, temperatura de adsorção de 30 °C, mistura granulométrica do biossorvente e velocidade de agitação 100 rpm. No teste cinético o tempo de equilíbrio foi de 180 min, com taxa de remoção de aproximadamente 64%. Aos dados de equilíbrio, o modelo que melhor se ajustou foi o de Langmuir cujos parâmetros foram: $0,56573 \pm 0,02054$ mequiv.g⁻¹ e $0,90889 \pm 0,07232$ L.mequiv⁻¹. Assim, pelos resultados obtidos pode-se afirmar que a casca de soja possui grande potencial para o tratamento de águas contendo chumbo.

Palavras-chave - Biossorção, chumbo, casca de soja.

Abstract – The aim of this study is to evaluate the potential for decontamination of water containing lead by soybean hulls. The study was conducted in lab-scale batch reactor. Initially, it was evaluated the effect of pH of the solution, temperature, biosorbent particle size and stirring speed in the ion removal process. The best conditions obtained in preliminary tests were used in kinetic and equilibrium tests. All experiments were performed in duplicate. Preliminary best results were obtained at pH 4, temperature of 30° C, mixed particle size and stirring speed of 100 rpm. Equilibrium time obtained from kinetic test was 180 min, with a removal rate of 64%. Langmuir adsorption isotherm showed the best fit to the equilibrium data, with 0.56573 ± 0.02054

¹ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE): Rua da Faculdade, 645 – 85903-000 – Toledo (PR), Brasil – Tel.: (45) 3379-7095 – Fax: (45) 3379-7002.

* e-mail: andreaengquimica@hotmail.com

² Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá (UEM): Avenida Colombo, 5790 - Jardim Universitário, Maringá - PR, 87020-900, (44) 3011-4040

mequiv.g⁻¹ and 0,90889± 0,07232 L.mequiv⁻¹. Thus, the results obtained showed that soybean hulls has great potential for treating water containing lead.

Keywords - biosorption, lead, soybean hulls.

1. INTRODUÇÃO

A água é essencial para a conservação da vida e do meio ambiente. Com o crescimento da população mundial, aceleração do desenvolvimento industrial e agrícola, tem-se observado um aumento dos níveis de poluição hídrica, principalmente, devido a poluentes de origem orgânica e inorgânica, que podem alterar as características físicas, químicas e/ou biológicas da água.

Entre os vários contaminantes do meio ambiente, os metais pesados recebem especial atenção, já que não são degradáveis (Sari e Tuzen, 2009) e, apesar de serem essenciais para inúmeros processos metabólicos aos organismos, quando em excesso, podem se tornar, potencialmente, citotóxicos, carcinogênicos e mutagênicos (Módenes et al., 2013).

Com o intuito de controlar as alterações na qualidade da água, diversos métodos são empregados, como oxidação química, coagulação e floculação, sedimentação e floculação, separação por membrana, adsorção, dentre outros (Elder & Budd, 2011).

Entre estes métodos de tratamentos, o processo de adsorção destaca-se principalmente em termos de baixo custo inicial, simplicidade de projeto, fácil operação e insensibilidade a poluentes tóxicos (Fernandes et al., 2010). O carvão ativado é considerado adsorvente universal para a remoção de diversos tipos de poluentes de águas. Porém, sua ampla utilização é restrita devido ao elevado custo (Bhatnagar & Sillanpää, 2010). Desta forma, materiais alternativos localmente disponíveis, eficazes e de baixo custo estão sendo pesquisados, como resíduos agroindustriais.

Neste sentido, este trabalho tem como objetivo avaliar o potencial da casca de soja, subproduto da indústria de óleo de soja, na descontaminação de águas contendo chumbo (II).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Preparo do biossorvente

A casca de soja in natura, oriunda de uma indústria de extração de óleo de soja na região Oeste do Paraná (Toledo-PR), foi moída com o auxílio de moinho de facas tipo Willye modelo TE 648, e a quantidade obtida foi dividida em 2 (duas) partes. Uma das partes foi, diretamente, armazenada em embalagem plástica. Com a segunda parte, foi realizada a caracterização granulométrica e selecionadas as frações com diâmetro médio de partícula de 0,600, 0,354 e 0,178

mm, as quais apresentaram maior massa.

2.2. Solução do íon metálico e medições de AAS

Para a realização dos experimentos em sistema fechado e batelada foi preparada soluções de chumbo (dissolução em água milli-Q Plus®, Milipore, 18,2 MΩ.cm a 25°C) a partir do sal de cloreto chumbo (PbCl₂). O reagente apresentava grau analítico. O ajuste do pH foi feito utilizando soluções de NaOH (1 M) e HCl (1 M).

Na medida de concentração de metal na fase líquida, foi utilizado um espectrofotômetro de absorção atômica (AAS), modelo Perkinelmer® AAnalyst 700. Previamente à análise das amostras, foram feitas curvas de calibração do AAS, utilizando-se solução-padrão do metal (1000 mg L⁻¹, Merck), diluídas em água milli-Q, perfazendo sete concentrações diferentes entre 1 e 25 mg L⁻¹. As medidas de absorbância, no AAS, foram feitas, usando-se lâmpadas de Pb operando no comprimento de onda de 283,3 nm.

2.3. Testes preliminares

Com o intuito de se obterem as melhores condições do processo de sorção, foram realizados os seguintes testes: verificação do efeito do pH da solução (pH 1, 2, 3, 4), temperatura de sorção (30, 40 e 50°C), granulometria do bioissorvente (0,600 mm, 0,354 mm, 0,178 mm e mistura granulométrica) e velocidade de agitação orbital (50, 100 ou 150 rpm). Todos os testes foram realizados em duplicata.

Em cada teste, um volume de 50 mL de solução, com concentração inicial de, aproximadamente, 4,0 mequiv. L⁻¹, foi adicionado a uma quantidade de 30 mg de biomassa. A mistura foi mantida sob agitação constante e com temperatura controlada. A solução residual foi separada do bioissorvente com membrana de 0,45 µm, usando-se um sistema de filtração a vácuo, e sua concentração determinada por AAS.

A quantidade do íon metálico adsorvido pela casca de soja foi determinada segundo o balanço de massa apresentado pela Eq. 1.

$$q = \frac{(C_0 - C)V}{m} \quad (1)$$

Onde: q é a quantidade chumbo adsorvida pela casca (mg g⁻¹); C_0 e C são respectivamente as concentrações de chumbo da solução inicial e final (mg L⁻¹), V é o volume da solução (L) e m é a massa de adsorvente (g).

2.4. Teste cinético

Utilizando as melhores condições de adsorção obtidas nos testes preliminares, um volume de 50 mL de solução, com concentração inicial de, aproximadamente, 4,0 mequiv. L⁻¹, foi adicionado a

uma quantidade de 30 mg de casca de soja. A mistura foi mantida sob agitação constante de 100 rpm, pH 4 e temperatura de 30°C. Em intervalos pré-definidos foram retiradas amostras, as quais foram filtradas com membrana de 0,45 µm, e a concentração do íon metálico determinada por AAS.

2.5. Teste de equilíbrio

Para o teste de equilíbrio de sorção do íon chumbo pela casca de soja foram realizadas as seguintes etapas. Em uma série de frascos erlenmeyer de 125 mL foram colocados em contato 50 a 1000 mg de biossorvente com 50 mL da solução metálica com concentração inicial de, aproximadamente 4,0 mequiv.L⁻¹, em pH 4. Os frascos foram mantidos sob agitação constante em agitador orbital (“shaker”) à 100 rpm, e temperatura controlada de 30°C durante 3 horas. Ao final, a fase líquida foi separada do biossorvente por meio de filtração em membrana (0,45 µm). As concentrações iniciais e de equilíbrio do íon chumbo foram determinadas AAS.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Testes preliminares

Teste do pH inicial da solução

O pH da solução tem uma influência pronunciada na adsorção de íons metálicos, especialmente de biossorbentes oriundos de resíduos industriais (Ahmaruzzaman, 2011). Este fato se dá, em parte, devido o íon hidrogênio ser um adsorbato capaz de competir com o metal. O pH afeta também a dissociação de grupos funcionais na superfície do adsorbente, que conduz a uma mudança na cinética da reação e nas características de equilíbrio do processo de adsorção (Srivastava et al., 2005).

A Tabela 1 apresenta a porcentagem de remoção do íon chumbo pela biomassa casca de soja em função do pH inicial da solução.

Tabela 1. Porcentagem de remoção do chumbo pela casca de soja em função do pH (temperatura de adsorção: 30°C, velocidade orbital: 100 rpm)

pH	% de Remoção do Chumbo
1	0,42 ± 0,02
2	13,66 ± 0,68
3	58,09 ± 2,90
4	72,83 ± 3,64

Fonte: Autoria dos próprios autores

Verifica-se, pela Tabela 1, que com o aumento do pH inicial de 1 a 4, houve um acréscimo na porcentagem de remoção de $0,42 \pm 0,02\%$ a $72,83 \pm 3,64\%$. Portanto, o pH 4 foi o utilizado em testes subsequentes. Resultados semelhantes foram obtidos por Sari e Tuzen (2009), os quais estudaram o efeito do pH na bioissorção de Pb (II) e Cd (II) pela *A. rubescens*. Os pesquisadores verificaram um aumento da bioissorção de 40 a 80% para o íon Pb (II) e de 35 a 70% para o íon Cd (II), quando o pH foi aumentado de 2 a 4.

Teste da Temperatura de Bioissorção

Para avaliar o efeito da temperatura de bioissorção na remoção do chumbo pela casca de soja foram testadas as temperatura de sorção de 30, 40 e 50 °C, com pH inicial 4 e velocidade de agitação de 100 rpm. A Tabela 2 apresenta os valores da remoção em função da temperatura.

Tabela 2. Porcentagem de remoção do íon chumbo pela casca de soja em diferentes temperaturas de bioissorção (pH 4, velocidade orbital: 100 rpm)

Temperatura (°C)	% Remoção do Chumbo
30	$71,00 \pm 3,55$
40	$60,26 \pm 3,01$
50	$60,68 \pm 3,03$

Fonte: A autoria dos próprios autores

Por meio da Tabela 2, constata-se, que realizando o processo de adsorção à 30°C há maior porcentagem de remoção do chumbo (em torno de 71,00%) em comparação com a obtida nas temperaturas de 40 e 50°C (em torno de 60%). Portanto, é a temperatura utilizada nos testes subsequentes.

Normalmente com a elevação da temperatura há uma redução na adsorção física, o que se deve, em parte, as moléculas adsorvidas terem maiores energias vibracionais sendo, conseqüentemente, dessorvidas da superfície (Paiva de Alencar Moura, 2001). Sari e Tuzen (2009), ao estudarem a remoção dos íons Pb (II) e Cd (II) pela *A. rubescens*, constataram a natureza exotérmica do processo.

Teste da Granulometria do Bioissorvente

Para avaliar o efeito da granulometria do bioissorvente na remoção do chumbo pela casca de soja foram realizados experimentos em pH 4, velocidade de agitação de 100 rpm e temperatura de 30°C. A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos no teste.

Tabela 3. Influência do tamanho das partículas do biossorvente na remoção do chumbo pela casca de soja (temperatura de adsorção: 30°C, pH 4 e velocidade orbital: 100 rpm)

Diâmetro de partícula (mm)	% Remoção de Chumbo
0,600	68,75 ± 3,43
0,354	69,34 ± 3,46
0,178	67,18 ± 3,35
Mistura	73,13 ± 3,65

Fonte: A autoria dos próprios autores

A capacidade de adsorção de resíduos depende da área de superfície do adsorvente acessível ao soluto. Desta forma, com a diminuição do tamanho da partícula há aumento da área e espera-se que a capacidade também aumente (Ahmaruzzaman, 2011). Além disso, a redução do tamanho de partícula resulta na redução do comprimento do caminho de difusão interna, reduzindo assim a resistência à transferência de massa intrapartícula.

Entretanto, pela Tabela 3, verifica-se que não houve diferenças significativas na porcentagem de remoção em função do tamanho de partícula utilizado, porcentagem esta que se manteve em torno de 69,00%. Portanto, pela facilidade, eficiência e viabilidade numa futura aplicação industrial, os experimentos foram realizados utilizando a biomassa sem ser peneirada (mistura).

Teste da velocidade de rotação durante a biossorção

Para avaliar o efeito da velocidade de rotação durante a sorção foram realizados experimentos em pH 4, temperatura da solução de 30°C e velocidade de rotação de 50, 100 e 150 rpm. A Tabela 4 apresenta os resultados do teste.

Tabela 4. Teste da velocidade de rotação para adsorção do chumbo pela casca de soja (temperatura de adsorção: 30°C, pH 4)

Velocidade de rotação (rpm)	% Remoção do chumbo
50	76,33 ± 3,81
100	73,72 ± 3,68
150	73,12 ± 3,65

Fonte: A autoria dos próprios autores

Constata-se pela Tabela 4, que a velocidade de rotação não resultou em mudanças significativas na porcentagem de remoção do chumbo pela casca de soja, a qual se manteve em torno de 74,2%. Assim sendo, adotou-se a velocidade de rotação de 100 rpm nos testes subsequentes.

3.2. Teste cinético

Com a finalidade de avaliar a cinética de adsorção do chumbo pela casca de soja, amostras foram obtidas em temperatura de 30°C, agitação orbital de 100 rpm e pH 4, as quais foram filtradas em intervalos de tempo pré-determinados (1 a 420 min). A Tabela 5 apresenta os resultados do teste.

Tabela 5. Dados cinéticos da biossorção do chumbo pela casca de soja (pH 4, Temperatura de adsorção: 30°C, velocidade orbital: 100 rpm)

Tempo (min)	Remoção (%)	Capacidade de sorção (q_t) (mequiv.g ⁻¹)
1	20,27 ± 1,014	0,132 ± 0,007
2	25,22 ± 1,261	0,165 ± 0,008
4	29,05 ± 1,453	0,190 ± 0,010
5	27,85 ± 1,393	0,182 ± 0,009
10	30,13 ± 1,507	0,220 ± 0,011
15	35,49 ± 1,775	0,216 ± 0,011
30	40,49 ± 2,025	0,295 ± 0,015
45	44,63 ± 2,232	0,310 ± 0,016
60	50,37 ± 2,519	0,329 ± 0,016
120	58,78 ± 2,939	0,384 ± 0,019
180	64,06 ± 3,203	0,419 ± 0,021
240	63,95 ± 3,198	0,418 ± 0,021
300	64,08 ± 3,204	0,419 ± 0,021
360	64,10 ± 3,205	0,419 ± 0,021
420	64,13 ± 3,207	0,419 ± 0,021

Fonte: Autoria dos próprios autores

Pela Tabela 5, verifica-se que há uma remoção do chumbo de aproximadamente 40% nos primeiros 30 minutos, diminuindo a concentração até que o equilíbrio seja alcançado em torno de 180 minutos, com taxa de remoção de aproximadamente 64%. A biossorção, portanto, aumentou acentuadamente em um curto tempo de contato e tornou-se gradualmente lenta até que o equilíbrio foi atingido. Segundo Módenes et al. (2011), este tipo de comportamento não caracteriza reação de troca de energia, e sim que a remoção do metal é governada por interação puramente físico-química entre o biossorvente e o metal.

Resultados semelhantes foram obtidos por Pietrobelli et al. (2009) que estudaram a cinética de remoção dos íons Cd, Cu, Zn pela macrófita *Egeria densa* em pH 5. Os autores obtiveram uma biossorção rápida com tempo de equilíbrio em torno de 45 a 60 minutos, com remoção de 70%.

Módenes et al. (2011), estudaram a cinética de adsorção do Cu (II) e Cd (II) pela *Eichhornia crassipes* em pH 5 e temperatura de 30°C, e obtiveram uma biossorção rápida, com tempo de equilíbrio de 60 min e taxa de remoção de 52 e 58% para os íons Cu e Cd, respectivamente.

Aos dados cinéticos foram ajustados os modelos de pseudoprimeira ordem e pseudosegunda ordem, cuja estimativa dos parâmetros foi feita por meio do método Levenberg-Marquadt, utilizando o *software* OriginLab Origin 8.0[®]. Os parâmetros ajustados são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Parâmetros dos modelos cinéticos ajustados aos dados experimentais do chumbo

Modelos	Parâmetro	Valor do Parâmetro
Pseudoprimeira ordem	$q_{eq}(\text{mequiv.g}^{-1})$	$0,36920 \pm 0,02117$
	$k_{pl}(\text{min}^{-1})$	$0,10669 \pm 0,02603$
	R^2	0,90218
Pseudosegunda ordem	$q_{eq}(\text{mequiv.g}^{-1})$	$0,39660 \pm 0,01784$
	$k_{ps}(\text{g.mequiv}^{-1}.\text{min}^{-1})$	$0,38919 \pm 0,10136$
	R^2	0,94428

Fonte: Aatoria dos próprios autores

Conforme a Tabela 6, o modelo que melhor se ajustou aos dados cinéticos foi o de pseudosegunda ordem, de acordo com R^2 , com valor da quantidade adsorvida no equilíbrio (q_{eq}) de $0,39660 \pm 0,01784$ mequiv.g⁻¹. O valor da quantidade adsorvida no equilíbrio por meio do modelo é equivalente, dentro da margem de erro, ao valor da quantidade adsorvido no equilíbrio obtido experimentalmente, este apresentando valor de $0,41934 \pm 0,020967$ mequiv.g⁻¹.

Na Figura 1 é apresentada a capacidade de sorção em função do tempo, bem como o ajuste dos modelos de pseudoprimeira ordem e pseudosegunda ordem aos dados.

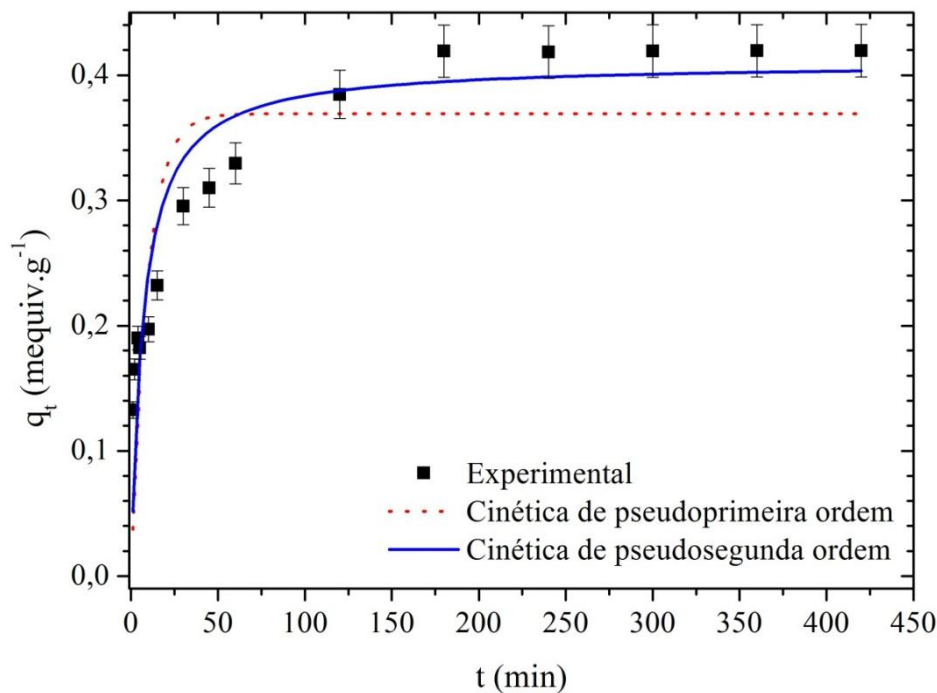


Figura 1. Dados cinéticos da remoção de chumbo pela casca de soja (pH 4, temperatura de sorção: 30°C, velocidade orbital: 100 rpm). Fonte: Autoria dos próprios autores.

Módenes et al. (2011) ajustaram aos dados cinéticos de sorção dos íons Cu e Cd pela *Eichhornia crassipes* os modelos de pseudoprimeira ordem e pseudosegunda ordem. O modelo de pseudosegunda ordem foi o que melhor se ajustou aos dados. Para o sistema monocomponente do íon cádmio, a capacidade de sorção no equilíbrio e a constante da taxa de sorção foram respectivamente de, $0,507 \pm 0,005$ (mequiv. g⁻¹) e $0,717 \pm 0,132$ (g mequiv⁻¹ min⁻¹).

3.3. Teste de equilíbrio

A adequada análise e projeto do processo de separação adsorção/biossorção requer, como informação relevante, os dados de equilíbrio. No equilíbrio, prevalece uma relação entre a concentração de soluto em solução e concentração de soluto na fase sólida (isto é, quantidade de soluto adsorvida por unidade de massa de adsorvente) (Febrianto et al., 2009). As concentrações de equilíbrio são uma função da temperatura. Neste contexto, os dados de equilíbrio foram obtidos à 30 °C, com pH inicial de 4.

Várias relações do equilíbrio de sorção, em uma dada temperatura (isotermas de adsorção), são disponíveis e prontamente utilizadas (Febrianto et al., 2009). Assim, neste trabalho, as isotermas de Langmuir, Freundlich, Sips e Redlich-Peterson foram ajustadas aos dados de equilíbrio, sendo que a estimativa dos parâmetros foi feita por meio do método Levenberg-Marquadt, utilizando o *software* OriginLab Origin 8.0[®]. Os parâmetros dos modelos são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Parâmetros das isotermas ajustadas aos dados de equilíbrio da biossorção do chumbo

Modelo	Parâmetros	Valor dos parâmetros
Langmuir $q_{eq} = \frac{q_{max} \cdot b \cdot C_{eq}}{1 + b \cdot C_{eq}}$	q_{max} (mequiv.g ⁻¹):	0,65773±0,02181
	b (L.mequiv ⁻¹):	0,74735±0,09479
	R^2 :	0,99617
Freundlich $q_{eq} = k_F \cdot C_{eq}^{1/n_F}$	k_F (L.g ⁻¹):	0,27383±0,00913
	n_F :	2,10002±0,23852
	R^2 :	0,98775
Sips $q_{eq} = \frac{q_{max} \cdot (k_s \cdot C_{eq})^{n_s}}{1 + (k_s \cdot C_{eq})^{n_s}}$	q_{max} (mequiv.g ⁻¹):	0,65768±0,08757
	k_s (L.mequiv ⁻¹):	0,74741±0,31199
	n_s :	1,00000±0,21832
	R^2 :	0,99617
Redlich–Peterson $q_{eq} = \frac{k_{RP} \cdot C_{eq}}{1 + a_{RP} \cdot C_{eq}^\beta}$	k_{RP} (L.g ⁻¹):	0,49148±0,13206
	a_{RP} (L.mequiv ⁻¹):	0,74716±0,44370
	β :	1,00000±0,15622
	R^2 :	0,99617

Verifica-se, que entre os modelos testados, o modelo de Langmuir se ajustou bem aos dados de equilíbrio, de acordo com coeficiente de correlação (R^2) exposto na Tabela 7, sendo os valores da capacidade máxima de sorção (q_{max}) de 0,65773 ±0,02181 mequiv.g⁻¹ e da constante de afinidade (b) 0,74735 ±0,09479 L.mequiv⁻¹. Além disso, constata-se, que os parâmetros β_s e g de Sips e Redlich-Peterson, respectivamente, são iguais a unidade. Isto é, estes modelos se reduziram ao modelo de Langmuir (Foo e Hameed, 2010; Rangabhashiyam et al., 2014), sugerindo que os sítios de sorção são homogêneos e a cobertura do adsorvato na superfície do biossorvente ocorre em monocamada.

Na Figura 2, são apresentados os dados de equilíbrio, bem como o ajuste dos modelos de Langmuir e Freundlich. Os demais modelos ajustados não foram apresentados graficamente, pois se reduziram ao modelo de Langmuir.

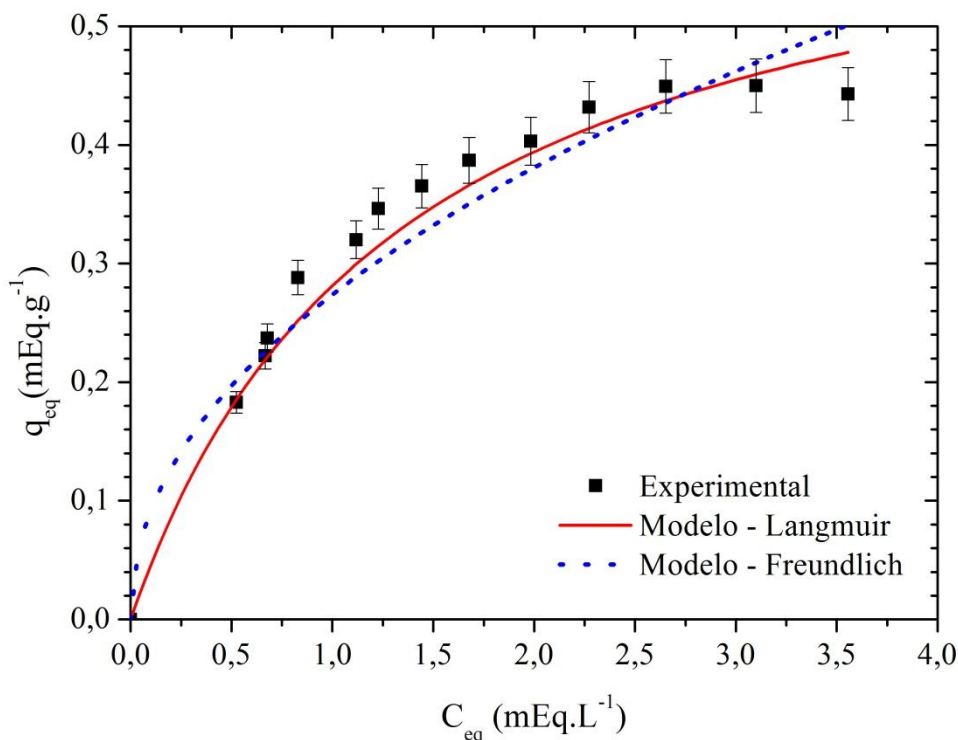


Figura 2. Dados de equilíbrio da sorção do chumbo pela casca de soja, e ajuste das isotermas de Langmuir e Freundlich. Fonte: Autoria dos próprios autores.

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi avaliada a capacidade de remoção do íon chumbo pela casca de soja em sistema batelada. Com a finalidade de verificar as condições mais favoráveis para o processo, testes preliminares foram realizados. As maiores porcentagens de remoção foram obtida com pH inicial 4, temperatura de sorção de 30 °C, mistura granulométrica do adsorvente e velocidade de agitação de 100 rpm, as quais foram utilizadas nos testes cinético e de equilíbrio. Na cinética de sorção, constatou-se um tempo de equilíbrio de 3 h e capacidade de sorção de $0,419 \pm 0,021$ (mequiv.g⁻¹), que foi bem representada pelo modelo de pseudosegunda ordem. Os dados de equilíbrio, por sua vez, foram bem descritos pelo modelo de Langmuir, sugerindo que adsorção ocorre sobre superfícies homogêneas e em monocamada.

Considerando as elevadas taxas de remoção propiciadas, a casca de soja é um adsorvente eficiente para a remoção do íon chumbo e pode ser utilizada como método alternativo no tratamento de águas.

REFERÊNCIAS

- AHMARUZZAMAN, M., 2011. Industrial wastes as low-cost potential adsorbents for the treatment of wastewater laden with heavy metals, *Advances in Colloid and Interface Science*, vol. 166, p. 36-59.
- BHATNAGAR, A.; SILLANPÄÄ, S., 2010. Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment – A review, *Chemical Engineering Journal*, vol. 157, p. 277-296.
- ELDER, D.; BUDD, G. C., 2011. Overview of Water Treatment Processes. In: Edzwald, James K. (Ed.). *Water Quality & Treatment: A Handbook on Drinking Water*. Sixth Edition. Colorado: McGraw-Hill Companies, Inc.
- FEBRIANTO, J.; KOSASIH, A. N.; SUNARSO, J.; Ju, Y.; INDRASWATI, N.; ISMADJI, S., 2009. Equilibrium and kinetic studies in adsorption of heavy metals using biosorbent: A summary of recent studies, *Journal of Hazardous Materials*, vol. 162, p. 616–645.
- FERNANDES, A. N.; ALMEIDA, C. A. P.; DEBACHER, N. A.; SIERRA, M. M. S., 2010. Isotherm and thermodynamic data of adsorption of methylene blue from aqueous solution onto peat, *Journal of Molecular Structure*, vol. 982, p. 62–65.
- FOO, K. Y.; HAMEED, B. H., 2010. Insights into the modeling of adsorption isotherm systems, *Chemical Engineering Journal*, vol. 156, p. 2–10.
- MÓDENES, A. N.; ESPINOZA-QUIÑONES, F. R.; TRIGUEROS, D. E.G.; LAVARDA, F. L.; COLOMBO, A.; MORA, N. D., 2011. Kinetic and equilibrium adsorption of Cu(II) and Cd(II) ions on *Eichhornia crassipes* in single and binary systems, *Chemical Engineering Journal*, vol. 168, p. 44-51.
- MÓDENES, A. N.; ROSS, A. A.; SOUZA, B. V.; DOTTO J.; GERALDI, C. Q.; QUIÑONES, F. R. E.; KROUMOV, A. D., 2013, Biosorption of BF-4B Reactive Red Dye by using Leaves of Macrophytes *Eichhornia crassipes*, *International Journal Bioautomation*, vol. 17, p. 33-44.
- PAIVA DE ALENCAR MOURA, M. C., 2001. Utilização de Microemulsões como Agentes Modificadores de Superfícies para Remoção de Íons Metálicos, Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal (RN).
- PIETROBELLI, J. M. T. A.; MÓDENES, A. N., FAGUNDES-KLEN, M. R.; ESPINOZA-QUIÑONES, F. R., 2009. Cadmium, Copper and Zinc Biosorption Study by Non-Living *Egeria densa* Biomass, *Water Air Soil Pollut* , vol. 202, p. 385–392.

- RANGABHASHIYAM, S.; ANU, N.; NANDAGOPAL, M. S. G.; SELVARAJU, N., 2014. Relevance of isotherm models in biosorption of pollutants by agricultural byproducts, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 2, p. 398–414.
- SARI, A.; TUZEN, M., 2009. Kinetic and equilibrium studies of biosorption of Pb(II) and Cd(II) from aqueous solution by macrofungus (*Amanita rubescens*) biomass, *Journal of Hazardous Materials*, vol. 164, p. 1004-1011.
- SRIVASTAVA, V.C.; SWAMY, M.M.; MALL, I.D.; PRASAD, B.; MISHRA, I.M., 2005. Adsorptive removal of phenol by bagasse fly ash and activated carbon: Equilibrium, kinetics and thermodynamics, *Colloids and Surfaces A: Physicochem, Eng. Aspects*, vol. 272, p. 89-104.