



INTER
FACES
CIENTÍFICAS

SAÚDE E AMBIENTE

ISSN IMPRESSO 2316-3313

E - ISSN 2316-3798

DOI - 10.17564/2316-3798.2016v5n1p153-162

BIOSSORÇÃO DE CR(VI) PELA CASCA DE BANANA NANICA NO TRATAMENTO DE EFLUENTES

BIOSORPTION OF CR(VI) BY BANANA NANICA PEEL IN THE TREATMENT OF EFLUENTS

BIOSORCIÓN DE CR(VI) POR LA CASCARA DE PLÁTANO ENANO EM EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES

Giovani Santana Silva¹
Maria da Rosa Capri³

Ângelo Capri Neto²

RESUMO

Os compostos de Cr(VI), como os cromatos e dicromatos, são amplamente utilizados na indústria química, principalmente no curtimento do couro, na preservação da madeira, no tingimento têxtil e no acabamento de superfícies metálicas. O tratamento e o descarte inadequados dos efluentes desses compostos comprometem o ambiente aquático, pois o Cr(VI) é reconhecidamente tóxico e carcinogênico. Convencionalmente, o crômio é removido dos efluentes por precipitação, um processo de custo relativamente elevado, além de gerar um precipitado que deve ser adequadamente disposto para evitar a lixiviação dos íons. Neste trabalho investigamos o uso da biossorção na remoção de íons Cr(VI) de solu-

ções aquosas, utilizando cascas de banana nanica como biossorvente, um rejeito abundante e de baixo custo. As cascas foram lavadas com água, secas em estufa, trituradas e peneiradas a 35 mesh. Soluções de K₂Cr₂O₇ contendo cerca de 50 mg L⁻¹ de Cr(VI) foram agitadas com a casca de banana durante 120 min, variando-se os parâmetros: pH, velocidade de agitação e massa de casca. A remoção de Cr(VI) foi calculada pela determinação do Cr total das soluções por ICP OES antes e depois da biossorção. A melhor condição para a biossorção foi alcançada em pH 2,5, velocidade de agitação de 400 rpm e 6 g L⁻¹ de casca de banana, na qual a concentração de Cr foi reduzida em 67% a partir de soluções 47 mg L⁻¹

de Cr(VI). Em virtude da elevada eficiência de remoção obtida, a casca de banana nanica se constitui em um material adequado para a biossorção de Cr(VI) que deve ser ainda mais explorado neste tipo de aplicação. Além disso, o uso das cascas como biossorvente agrega valor para um material de uso ainda incipiente, normalmente descartado pelo agronegócio.

ABSTRACT

The compounds of Cr(VI), as the chromates and dichromates, are widely used in chemical industry, mainly in the leather tanning, wood preserving, textile dyeing and metal finishing. The inadequate treatment and disposal of effluents of these compounds compromise the aquatic environment, because the Cr(VI) is known to be toxic and carcinogenic. Conventionally, the chromium is removed from the wastewater by precipitation, a relatively high-cost process, besides generating a precipitate that must be properly removed to avoid leaching of ions. In this work we investigate the use of biosorption on removal of Cr(VI) ions from aqueous solutions using banana nanica peels as biosorbent, an abundant and inexpensive reject. The peels were washed with water, dried in an oven, crushed and sieved to 35 mesh. K₂Cr₂O₇ solutions containing about 50 mg L⁻¹ of Cr(VI) were shaken with the banana peel during 120 min, varying the following parameters: pH, shaking speed and mass of peel. The Cr(VI) removal was calculated by the determination of total Cr

RESUMEN

Los compuestos de Cr(VI), como los cromatos y dicromatos, son ampliamente utilizados en la industria química, principalmente en el curtido del cuero, en la conservación de la madera, en el teñido de textiles y en el acabado de superficies de metal. El tratamiento y la eliminación inadecuada de efluentes de estos compuestos deterioran el medio ambiente acuático, ya que se sabe que el Cr(VI) es tóxico y cancerígeno.

PALAVRAS-CHAVE

Cr(VI). Biossorção. Casca de banana nanica. Tratamento de efluentes.

content in the solutions by ICP OES before and after the contact with the sorbent. The best condition for biosorption was reached for pH 2.5, shaking speed of 400 rpm and 6 g L⁻¹ of banana peel, in which Cr concentration was reduced by 67% from solutions containing 47 mg L⁻¹ of Cr(VI). Due to obtained the high removal efficiency, the banana peel constitutes a suitable material for Cr(VI) biosorption that should be further explored in this type of application. In addition, the use of peels as biosorbent adds value to material with still incipient use, normally discarded by agribusiness.

KEYWORDS

Cr(VI). Biosorption. Banana nanica peel. Treatment of effluents.

Convencionalmente, el cromo se elimina de efluentes por precipitación, un proceso de costo relativamente alto, además de generar un precipitado que debe ser adecuadamente cuidado para evitar la extracción de los iones. En este estudio investigamos el uso de la biosorción en la eliminación de los iones Cr(VI) de soluciones acuosas, utilizando como biosorbente la casca de plátano enano, un residuo abundante y de bajo

costo. Las cascaras fueron lavadas con agua, secas en estufa, trituradas y tamizadas a 35 mesh. Soluciones de $K_2Cr_2O_7$ conteniendo cerca de 50 mg L⁻¹ de Cr(VI) fueron agitadas con la cascara de plátano durante 120 min, variando los siguientes parámetros: pH, velocidad de agitación y masa de la cascara de plátano. La eliminación de Cr(VI) se calculó mediante la determinación del Cr total de las soluciones antes y después de la biosorción por ICP OES. La mejor condición para biosorción se logró a un pH de 2,5, velocidad de agitación 400 rpm y 6 g L⁻¹ de cascara de plátano, en el que la concentración de Cr se redujo en un 67% a partir de soluciones de 47 mg L⁻¹ Cr(VI). En vista de la elevada

eficiencia de remoción obtenida, la cascara de plátano enano constituye un material adecuado para la biosorción de Cr(VI) que debe de estudiarse con mayor detalle en este tipo de aplicación. Además de eso, el uso de cascaras de plátano como biosorbente añade valor a un material generalmente desechado por la agroindustria.

PALABRAS-CLAVE

Cr(VI). Biosorción. Cascara de plátano enano. Tratamiento de efluentes.

1 INTRODUÇÃO

Com a legislação cada vez mais rigorosa em relação aos padrões de descarte de efluentes, a indústria vem desenvolvendo e otimizando as formas de tratar os seus rejeitos, a fim de reduzir a contaminação do ambiente aquático por espécies tóxicas, tanto orgânicas como inorgânicas, com destaque para as espécies inorgânicas metálicas.

Convencionalmente as espécies inorgânicas metálicas são removidas de efluentes por precipitação na forma de hidróxido. No entanto, a estabilização do precipitado obtido, utilizada a fim de evitar a lixiviação dos íons durante a sua disposição, pode elevar bastante os custos envolvidos neste processo. Além disso, em virtude do comportamento anfótero de vários elementos metálicos, o pH ideal de precipitação de um determinado íon pode implicar na solubilização de íons de um elemento diferente, e agentes complexantes presentes no efluente podem aumentar a solubilidade de certas espécies, dificultando a sua precipitação. Uma das principais dificuldades encontradas no tratamento de efluentes utilizando a precipitação na forma de hidróxido consiste em

alcançar concentrações de íons metálicos baixas o suficiente para atender aos padrões de descarte.

As limitações encontradas no uso da precipitação química têm impulsionado a aplicação de técnicas alternativas no tratamento de efluentes. Inclusive, em várias situações, essas novas técnicas têm operado em conjunto com a própria precipitação, sendo que várias delas foram discutidas por Fu e Wang (2011), tais como a osmose reversa, a troca iônica e a biossorção.

A biossorção consiste na retenção de poluentes em solução, tanto inorgânicos (íons metálicos, por exemplo) como orgânicos, pela biomassa vegetal ou animal, microrganismos vivos ou mortos ou materiais derivados, através de mecanismos que podem envolver absorção, adsorção, troca iônica, complexação superficial e precipitação (GADD, 2009).

O destaque da biossorção em relação às outras técnicas deve-se ao fato de empregar como adsorvente materiais que são, em geral, abundantes na natureza, renováveis e biodegradáveis, tais como as

algas marinhas (VOLESKY, 2001), bem como resíduos agroindustriais, como o bagaço de cana-de-açúcar (ALBERTINI et al, 2007) e (JOSEPH et al, 2009), de modo a dar um emprego estratégico a este tipo de biomassa. Assim, os custos envolvidos na biossorção são, em geral, mais baixos em comparação às técnicas de separação por membrana (osmose reversa, por exemplo) ou a troca iônica, por exemplo.

Outra característica interessante da biossorção é a sua elevada capacidade de retenção de íons metálicos mesmo quando eles estão presentes em baixas concentrações, o que geralmente não é possível usando-se a precipitação de hidróxidos metálicos convencional. Darnall, por exemplo, mostrou que o uso de colunas preenchidas com o biossorvente AlgaSORB® possibilitou uma elevada captação de cádmio, cobre, mercúrio, níquel, crômio e chumbo presentes em meio aquoso em concentrações da ordem de mg L^{-1} . Além disso, tem-se mostrado que é possível recuperar e reutilizar o biossorvente e também as espécies biossorvidas (DARNALL, 1989) e (GADD, 1993).

A recuperação das espécies retidas pelo biossorvente é de extrema importância, dada a elevada toxicidade de várias delas, tal como o Cr(VI) , que tem demonstrado ser tóxico em plantas Shanker (2005). e animais (GAD, 1989). Em humanos, a inalação de compostos de Cr(VI) pode estar associada ao aparecimento de câncer de pulmão, a exposição cutânea pode levar a reações alérgicas, dermatites, corrosão dérmica, e sua ingestão oral pode causar queimaduras da cavidade bucal e da traqueia, problemas renais, dentre outros (GAD, 1989).

Embora o Cr(VI) seja reconhecidamente tóxico Gad (1989), o crômio ainda é muito utilizado na indústria química (especialmente como pigmento no curtimento do couro e no tingimento têxtil, na forma de cromatos e dicromatos), de refratários (na produção de tijolos refratários, na forma de cromita), e majoritariamente metalúrgica (na composi-

ção de ligas e aços, na forma de crômio metálico) (DE LIMA, 2009). Segundo De Lima, na fabricação de aços inoxidáveis, o Cr não apresenta nenhum substituto e nas demais aplicações, outros compostos ainda não oferecem interesse em virtude do alto custo e usos mais restritos.

As concentrações admissíveis para o Cr nos corpos de água são bem baixas. A Organização Mundial da Saúde estabelece o limite de $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ de Cr em água potável Who (2011) que também é adotado pela legislação brasileira (CONAMA, 2005). Para os efluentes, a concentração limite é de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ para o Cr(III) e $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ para o Cr(VI) (CONAMA, 2011). Entretanto, as concentrações de Cr podem atingir valores bem superiores aos limites estabelecidos.

Em virtude da elevada toxicidade associada ao crômio hexavalente, é de extrema importância explorar técnicas para removê-lo do ambiente aquático em substituição à precipitação na forma de hidróxido metálico, que apresenta algumas desvantagens, como as citadas anteriormente. No contexto atual do amplo uso da biomassa na remediação de problemas ambientais, investigamos o uso da biossorção na remoção de Cr(VI) de soluções aquosas, utilizando como biossorvente, cascas de banana nanica, um rejeito abundante e de baixo custo da agroindústria que tem uso ainda incipiente e restrito à indústria alimentícia e à produção de rações animais.

2 OBJETIVO

Este trabalho teve por objetivo investigar a capacidade da casca de banana nanica de biossorver íons Cr(VI) de soluções aquosas, sob a influência dos seguintes parâmetros: pH, velocidade de agitação e massa de casca de banana.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

Agitador magnético, balão volumétrico, bastão de vidro, béquer, erlenmeyer, espátula, filtro de papel, funil analítico, garras metálicas, peneira 35 mesh, pipeta graduada, pipeta volumétrica, proveta, suporte universal, tesoura, vidro de relógio.

3.2 EQUIPAMENTOS

Balança analítica, espectrômetro de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES) (Perkin-Elmer, Optima 8000), estufa elétrica, liquidificador, pHmetro, placa de agitação.

3.3 REAGENTES

Ácido sulfúrico (H_2SO_4) PA-ACS (Synth) e dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) PA-ACS (Vetec).

3.4 MÉTODOS

3.4.1 TRATAMENTO DA CASCA DE BANANA

As cascas de banana foram submetidas ao seguinte tratamento: lavagem com água de torneira e água destilada, secagem em estufa a 60°C, trituração em processador de alimentos, trituração em liquidificador e peneiramento a 35 mesh. Em seguida, as cascas tratadas foram armazenadas em frasco fechado, em local seco, ao abrigo do calor e da luz. Todos os experimentos de bioissorção foram realizados utilizando este material como bioissorvente.

Embora, um tratamento químico da biomassa favoreça a capacidade de bioissorção, em virtude de uma exposição maior dos sítios bioissorventes aos íons em solução, neste estudo não foi feito este pré-tratamento para evitarmos a geração de efluentes quando a metodologia for aplicada à amostras reais.

3.4.2 ESTUDO DA BIOSSORÇÃO DOS ÍONS CR(VI)

Neste trabalho investigamos a influência do pH, da velocidade de agitação e da massa de casca de banana nanica na bioissorção de íons Cr(VI) de soluções aquosas. Cada experimento foi realizado em triplicata, à temperatura ambiente, variando um único parâmetro enquanto os outros dois foram mantidos constantes, da seguinte forma:

a) Influência do pH

Soluções de $K_2Cr_2O_7$ contendo 45 mg L⁻¹ de Cr(VI) foram preparadas em pH 1,0; 2,0; 2,5; 3,5 e 5,0 ajustados com H_2SO_4 e agitadas a 300 rpm com 0,2 g de casca de banana por 120 min. Em seguida, as misturas foram filtradas para a quantificação do Cr das soluções.

b) Influência da velocidade de agitação

Soluções de $K_2Cr_2O_7$ contendo 50 mg L⁻¹ de Cr(VI) foram preparadas no pH ótimo e agitadas com 0,2 g de casca de banana por 120 min nas seguintes velocidades: 300, 400, 500, 600 e 1000 rpm. Em seguida, as misturas foram filtradas para a determinação de Cr.

c) Influência da massa de casca de banana

Sob o pH e a velocidade de agitação já estabelecidos, soluções de $K_2Cr_2O_7$ contendo 47 mg L⁻¹ de Cr(VI) foram agitadas com 0,2; 0,3; 0,5; 1,0 e 1,5 g de casca de banana por 120 min. Em seguida, as misturas foram filtradas e o Cr total das soluções foi quantificado.

O volume das soluções de Cr(VI) agitadas com a casca de banana foi de 50 mL em todos os ensaios. A remoção de Cr(VI) foi calculada pela determinação do Cr total das soluções antes e depois do contato com a casca de banana por ICP OES, de acordo com equação 1.

$$\text{Porcentagem de bioissorção (\%)} = 100 \frac{C_i - C_f}{C_i} \quad (1)$$

Na qual, C_i e C_f são as concentrações de Cr (mg L^{-1}) antes e depois do contato entre as soluções e a casca, respectivamente. A tabela 1 mostra as condições de operação do ICP OES para a determinação do Cr total das soluções.

Tabela 1 – Parâmetros instrumentais de operação do ICP OES (Perkin-Elmer, Optima 8000) para a determinação de Cr total.

Parâmetros instrumentais

Orientação da análise	Axial
Vazão de Argônio	10 L min^{-1}
Potência da radiofrequência	1450 W
Vazão da amostra	1,5 mL min^{-1}
Vazão do nebulizador	0,54 L min^{-1}
Comprimento de onda (Cr)	267,716 nm

Fonte: CAPRI, M. R. et al (2015)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

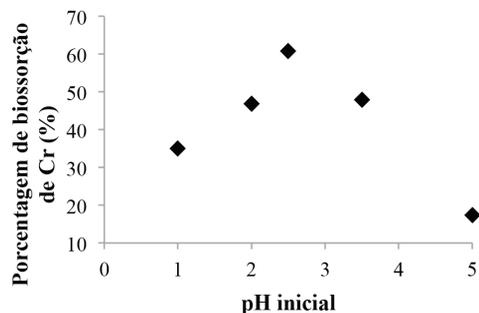
4.1 INFLUÊNCIA DO PH

A Figura 1 mostra a porcentagem de bioissorção de Cr obtida em função do pH inicial da solução e a Figura 2 mostra a capacidade de bioissorção de Cr pela casca de banana em contato com a solução, calculada de acordo com a equação 2.

$$q \text{ (mg Cr/g casca)} = V(C_i - C_f)/m \quad (2)$$

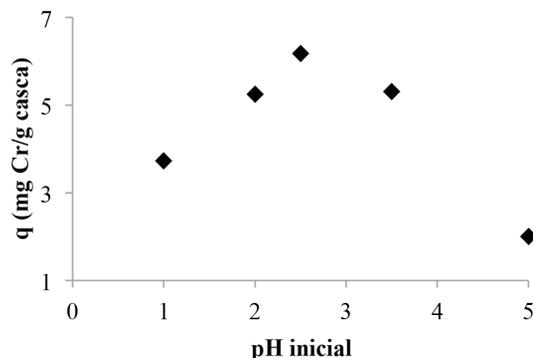
Nesta equação, C_i e C_f são respectivamente, as concentrações (mg L^{-1}) de Cr antes e depois do contato da casca com as soluções, m é a massa de casca de banana ($m = 0,2 \text{ g}$), V é o volume da solução ($V = 0,050 \text{ L}$) e q é a capacidade de bioissorção de Cr (mg g^{-1}).

Figura 1 – Porcentagem de bioissorção de Cr em função do pH inicial da solução. Concentração inicial de Cr(VI) de 45 mg L^{-1} , 0,2 g de casca, agitação a 300 rpm por 120 min.



Fonte: CAPRI, M. R. et al (2015)

Figura 2 – Capacidade de bioissorção de Cr em função do pH inicial da solução. Concentração inicial de Cr(VI) de 45 mg L^{-1} , 0,2 g de casca, agitação a 300 rpm por 120 min.

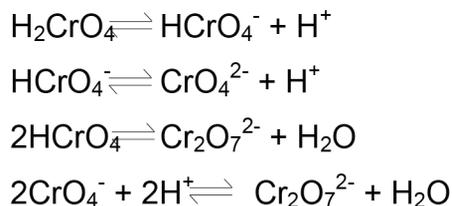


Fonte: CAPRI, M. R. et al (2015)

A Figura 1 mostra que os íons Cr(VI) são preferencialmente adsorvidos em meio ácido, com bioissorção máxima de 60,8 % em pH 2,5. Assim como a remoção máxima de Cr (60,8 %), a capacidade máxima de bioissorção de $6,18 \text{ mg g}^{-1}$ também foi obtida em pH 2,5, como mostra a Figura 2.

Nas soluções contendo 45 mg L^{-1} de Cr(VI) preparadas em pH 2,5, os íons HCrO_4^- e $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ existem em equilíbrio, sendo o HCrO_4^- o íon predominante (KO

TAS; STASICKA, 2000). Os equilíbrios químicos abaixo Sena et al (2001) mostram que a interconversão entre as espécies de Cr(VI) depende do pH:



Em meio ácido, a superfície do biossorvente é protonada, apresentando uma forte tendência em atrair ânions. Nestas condições, os íons Cr(VI) são atraídos pela superfície da casca, principalmente na forma de íons HCrO_4^- , e conseqüentemente, são biossorvidos (PARK et al, 2006).

Embora os íons HCrO_4^- sejam atraídos e adsorvidos pela superfície do substrato, alguns trabalhos mostraram que a captação de Cr(VI) ocorre por um mecanismo de biossorção e biorredução, de modo que íons Cr(III) são formados e também são biossorvidos (PARK et al, 2006) e (YANG; CHEN, 2008). Inclusive, a biorredução dos íons Cr(VI) em meio ácido também foi verificada na presença da casca de banana nanica (SILVA et al, 2013).

Uma vez que a adsorção resulta de forças não compensadas na superfície de um sólido adsorvente, é evidente que o pH é um dos principais parâmetros a influenciar nesse fenômeno, em virtude do seu efeito sobre a carga superficial do substrato.

Acima de pH igual a 2,5, a adsorção diminui bruscamente. Uma vez que a adsorção é favorecida em meio ácido, é natural que, aumentando-se o pH, ela seja reduzida. Em meio alcalino, os íons OH^- podem inibir a biossorção dos íons Cr(VI), reduzindo a sua remoção pela casca. No entanto, nas condições de pH estudadas neste trabalho, não é provável que essa inibição ocorra, pois o maior pH estudado aqui foi o de 5,0.

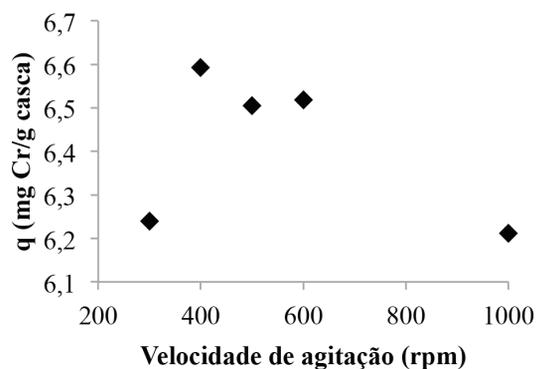
Soluções branco foram preparadas nos cinco pH estudados e agitadas com a casca de banana sob as mesmas condições que as soluções de Cr(VI). A análise de Cr resultou em sinais abaixo do limite de detecção (cerca de $10 \mu\text{g L}^{-1}$). Isso mostra que não há Cr presente na casca antes da biossorção que poderia interferir nos resultados apresentados nas Figuras 1 e 2, pois todas as soluções analisadas no estudo do pH possuíam concentração de Cr da ordem de mg L^{-1} .

Uma vez que a remoção máxima e a capacidade de biossorção máxima ocorreram em pH 2,5 os testes subseqüentes foram feitos neste valor de pH.

4.2 INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE AGITAÇÃO

A Figura 3 mostra os resultados da capacidade de adsorção de Cr em função da variação da velocidade de agitação. A aplicação do teste H (Kruskal-Wallis) aos dados extraídos da Figura 3 ($H = 5,2437$, $p\text{-valor} = 0,2632$), mostram que não existe diferença significativa entre eles, ou seja, este parâmetro não influencia significativamente na capacidade de adsorção.

Figura 3 – Capacidade de biossorção de Cr em função da velocidade de agitação. Concentração inicial de Cr(VI) de 50 mg L^{-1} , pH 2,5, 0,2 g de casca, agitação por 120 min.



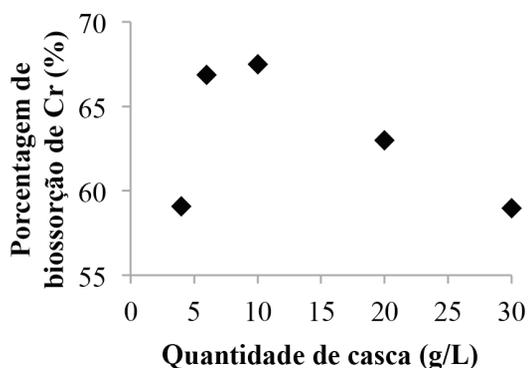
Fonte: CAPRI, M. R. et al (2015)

Embora os dados sejam estatisticamente semelhantes, a capacidade máxima ocorreu em 400 rpm, logo, este parâmetro foi utilizado para prosseguir o desenvolvimento do trabalho.

4.3 INFLUÊNCIA DA MASSA DE CASCA DE BANANA

A Figura 4 mostra as porcentagens de biossorção de Cr obtidas ao variar a massa de casca de banana em um volume de solução de 50 mL. A porcentagem de biossorção máxima de 67,5 % ocorreu quando a massa de casca foi de 0,5 g (10 g L^{-1} de casca).

Figura 4 – Porcentagem de biossorção de Cr em função da quantidade de casca de banana. Concentração inicial de Cr(VI) de 47 mg L^{-1} , pH 2,5, agitação a 400 rpm por 120 min.



Fonte: CAPRI, M. R. et al (2015)

O aumento da remoção de Cr da solução que ocorreu com o aumento da massa de casca de 0,2 g (4 g L^{-1}) a 0,5 g (10 g L^{-1}) deve-se ao aumento da área superficial efetiva disponível para a biossorção. Por outro lado, o oposto ocorreu quando a massa de casca foi de 1,0 g (20 g L^{-1}) e 1,5 g (30 g L^{-1}). A diminuição da porcentagem de biossorção observada para esses valores de massa pode ser explicada pela menor disponibilidade dos sítios biossorventes, em virtude da sua sobreposição ou agregação, o que implica em uma área superficial efetiva menor (KOSTIC et al, 2014).

Embora a porcentagem de biossorção máxima tenha ocorrido para 0,5 g de casca, usando-se 0,3 g de casca, os resultados são muito próximos (0,5 g: 67,5 %; 0,3 g: 66,9 %) e não diferem significativamente pela análise utilizando o método H de Kruskal-Wallis ($H = 0,0476$, $p\text{-valor} = 0,8273$).

Em outras palavras, é preferível em vez de usar 10 g L^{-1} de casca, usar 6 g L^{-1} , e mesmo assim, obter uma remoção de Cr bem próxima da esperada para 10 g L^{-1} . Em grande escala, esse critério de seleção é muito importante durante a etapa de filtração, realizada após o contato do adsorvente com a solução contaminada, pois o uso de menos adsorvente implica em perda de carga e tempo de filtrações menores.

5 CONCLUSÃO

Os resultados deste trabalho mostram que:

- É possível obter remoções significativas de íons Cr(VI) de soluções aquosas empregando pequenas quantidades de casca de banana nanica;
- A maior biossorção foi obtida em pH 2,5 e velocidade de agitação de 400rpm;
- Nessas condições 67 % do Cr presente em soluções contendo 47 mg L^{-1} de Cr(VI) foi biossorado por 6 g L^{-1} de casca;
- Esta aplicação agrega valor para um material de uso ainda incipiente, normalmente descartado pelo agronegócio.

REFERÊNCIAS

ALBERTINI, S.; CARMO, L. F.; PRADO FILHO, L. G. Utilização de serragem e bagaço de cana-de-açúcar para

- adsorção de cádmio. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.27, p.113-118, 2007.
- CONAMA. Resolução 357/2005.
- CONAMA. Resolução 430/2011.
- DARNALL, D. W. **Using algae to clean up water**. Bio-recovery Systems, 1989.
- DE LIMA, J. M. G. **Relatório técnico 21**. Perfil da mineração de cromo. Ministério de Minas e Energia, 2009.
- FU, F.; WANG, Q. Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. **Journal of Environmental Management**, v.92, n.3, p.407-418, 2011.
- GAD, S. C. ACUTE AND CHRONIC SYSTEMIC CHROMIUM TOXICITY. **Science of the Total Environment**, v.86, n.1-2, p.149-157, 1989.
- GADD, G. M. Biosorption: critical review of scientific rationale, environmental importance and significance for pollution treatment. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v.84, p.13-28, 2009.
- GADD, G. M.; WHITE, C. Microbial treatment of metal pollution – a working biotechnology? **TIBTECH**, v.11, p.353-359, 1993.
- JOSEPH, O. et al. Adsorption of heavy metals on to sugar cane bagasse: Improvement of adsorption capacities due to anaerobic degradation of the biosorbent. **Environmental Technology**, v.30, n.13, p.1371-1379, 2009.
- KOSTIC', M. et al. Using xanthated *Lagenaria vulgaris* shell biosorbent for removal of Pb(II) ions from wastewater. **Journal of the Iranian Chemical Society**, v.11, p.565-578, 2014.
- KOTAS, J.; STASICKA, Z. Chromium occurrence in the environment and methods of its speciation. **Environmental Pollution**, v.107, n.3, p.263-283, 2000.
- PARK, D. et al. Mechanisms of the removal of hexavalent chromium by biomaterials or biomaterial-based activated carbons. **Journal of Hazardous Materials**, v.B137, p.1254-1257, 2006.
- SELATNIA, A. et al. Biosorption of Cd²⁺ from aqueous solution by a NaOH-treated bacterial dead *Streptomyces rimosus* biomass. **Hydrometallurgy**, v.75, p.11-24, 2004.
- SENA et al. Aplicação de métodos quimiométricos na especiação de Cr(VI) em solução aquosa. **Química Nova**, v.24, p.331-338, 2001.
- SHANKER, A. K. et al. Chromium toxicity in plants. **Environment International**, v.31, p.739-753, 2005.
- SILVA, G. S.; et al. Uma Experiência prática num curso de engenharia. In.: COBENGE, 41, 2013, Gramado. **Anais...** Gramado: COBENGE, 2013. (Sessões Dirigidas)
- VOLESKY, B. Detoxification of metal-bearing effluents: biosorption for the next century. **Hydrometallurgy**, v.59, p.203-216, 2001.
- WHO. **Guidelines for Drinking-water Quality**. 4.ed. p.340, 2011.
- YANG, L.; CHEN, J. P. Biosorption of hexavalent chromium onto raw and chemically modified *Sargassum sp.* **Bioresource technology**, v.99, p.297-307, 2008.

Recebido em: 29 de Maio de 2016
Avaliado em: 30 de Maio de 2016
Aceito em: 3 de Junho de 2016

1. Departamento de Engenharia Química – EEL-USP, Lorena, Brasil
2. Departamento de Engenharia de Materiais EEL-USP, Lorena, Brasil
3. Departamento de Engenharia Química EEL-USP, Lorena, Brasil