



BIOSSORÇÃO DE METAIS PESADOS UTILIZANDO O PÓ DE CASCA DE COCO VERDE¹

Gabriela Huamán Pino²
Abiatar. Picoli Cardoso³
Diego. Macedo. Veneu⁴
Lorgio Valdíviezo Gonzales⁵
Mauricio Leonardo Torem⁶

Resumo

A contaminação de águas por metais pesados vem recebendo uma grande atenção no que diz respeito a sua toxicidade em relação ao meio aquático e a saúde humana. Vários são os processos disponíveis para tratamento de efluentes, dependendo da natureza e da característica do efluente final. Porém, eles não são aplicáveis em todos os casos por motivos técnicos ou econômicos. A busca de novas tecnologias tem se direcionado para o uso de materiais biológicos, assim surge a biossorção como um processo alternativo em decorrência de características como baixo custo e bom desempenho. No presente trabalho são apresentados os resultados referentes a estudos de biossorção empregando o pó da casca de coco verde como biossorvente na remoção de diferentes espécies metálicas. A capacidade de remoção foi avaliada em ensaios de batelada, sendo estudadas a influência do pH, do tamanho de partícula e da concentração inicial dos íons metálicos. Os resultados obtidos foram avaliados utilizando as isotermas de Langmuir e Freundlich. A capacidade de adsorção de metais pesados pela casca de coco foi bastante representativa sendo observadas remoções da ordem de 82% a 98%, para uma concentração inicial de 20 ppm da espécie metálica.

Palavras-chave: Biossorção; Metais pesados; Biomassa.

BIOSORPTION OF HEAVY METALS BY COCONUT SHELL POWDER

Abstract

The pollution of water by heavy metals has received great attention with respect to their high toxicity into aquatic environment and human health. There are several processes available for wastewater treatment, depending on the nature and characteristic of the final effluent. But currently, they could not be applied in all cases by technical or economic reasons. The search for new technologies has been focused in the use of biological materials, thus arises the biosorption as alternative process, due different characteristic like low cost and good performance. In this work are present the results for biosorption process using the coconut shell powder as a biosorbent, for the removal different metal species. The removal capacity was evaluated in batch system, were studied the influence of pH, particle size and initial metal concentration. The results were evaluated with isotherms models of Langmuir and Freundlich. The adsorption capacity of heavy metals by the coconut shell was quite representative removals were observed in the order of 82% to 98% for an initial concentration of 20 ppm of metal species.

Key words: Biosorption; Heavy metals; Biomass.

¹ Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Eng. Química, DSc., Pesquisadora do Departamento de Engenharia de Materiais da PUC-Rio

³ Químico Industrial, Aluno de Mestrado do Departamento de Engenharia de Materiais da PUC-Rio.

⁴ Eng. Ambiental, Aluno de Mestrado do Departamento de Engenharia de Materiais da PUC-Rio

⁵ Eng. Metalúrgico, Aluno de Doutorado do Departamento de Engenharia de Materiais da PUC-Rio

⁶ Eng. Metalúrgico, DSc., Professor Associado do Departamento de Engenharia de Materiais da PUC-Rio



1 INTRODUÇÃO

O aumento das atividades industriais tem intensificado a poluição do meio ambiente e a deterioração de ecossistemas. O tratamento de efluentes, especialmente aqueles que contêm metais pesados, tem recebido atenção especial, uma vez que são elementos tóxicos e poluentes não-biodegradáveis, resultado dos diferentes processos industriais.⁽¹⁾ Na maioria dos países desenvolvidos e em desenvolvimento, regulamentações ambientais restritas, no que diz respeito a contaminantes lançados das operações industriais, estão sendo introduzidas. Isto significa que as indústrias precisam desenvolver no local ou nas instalações da fábrica para os seus próprios efluentes instalações para minimizar as concentrações de contaminantes dentro de limites aceitáveis antes do descarte.⁽²⁾

Várias técnicas têm sido empregadas para o tratamento de metais em efluentes industriais que incluem geralmente processos físico-químicos que apresentam alguns inconvenientes como: (i) precipitação e coagulação/floculação que geram uma grande quantidade de lodo, (ii) redução química e flotação que requerem tratamentos adicionais, além de custos altos com agentes químicos, (iii) troca iônica que necessita de um custo alto para a aquisição dos equipamentos, (iv) separação por membrana com custo operacional e consumo de energia altos, (v) técnicas eletroquímicas que possuem eficiências baixas em concentrações elevadas, e (vi) adsorção com custos altos com o material adsorvente.^(3,4) Portanto, nos últimos anos, a atenção das pesquisas tem sido focada em métodos de tratamento de efluentes que sejam eficientes, amigáveis com o meio ambiente e de baixo custo.

A bioadsorção é um processo que surge como uma alternativa aos processos convencionais, e vem se apresentando como uma alternativa promissora para a solução destes problemas, em decorrência da afinidade natural que compostos biológicos (biossorbentes) têm por elementos metálicos.^(5,6) A bioadsorção de metais é baseada em vários mecanismos que quantitativa e qualitativamente diferem de acordo com as espécies usadas, a origem da biomassa e seu processamento. Os biossorbentes utilizados para a remoção de metais vêm principalmente das seguintes categorias: bactérias, fungos, algas, resíduos industriais, resíduos agrícolas e outros materiais polissacarídeos.⁽⁷⁾ A bioadsorção de metais segue mecanismos complexos, principalmente troca iônica, quelação, adsorção por forças físicas e o aprisionamento de íons em capilares inter e intrafibrilares e espaços da rede de polissacarídeos estruturais, como resultado do gradiente de concentração e difusão através da parede celular e membranas.⁽⁸⁾

Os materiais de origem biológica passíveis de serem empregados no processo de bioadsorção devem possuir a capacidade de adsorver e/ou absorver íons metálicos dissolvidos; apresentar seletividade frente a diferentes espécies metálicas; ser passível de regeneração e ter baixo custo.⁽⁹⁾ O presente trabalho trata de um estudo preliminar sobre a utilização de pó de casca de coco verde (*Cocos nucífera*), um sub-produto agro-industrial, como material biossorvente de metais pesados usando o processo de bioadsorção.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O pó de casca de coco (*Cocos nucífera*) foi fornecido pelo Laboratório de Bioprocessos da EMBRAPA Agroindústria Tropical. A metodologia utilizada para a produção do pó de casca de coco é descrita em Rosa et al.⁽¹⁰⁾ As soluções de Cr³⁺, Cr⁶⁺, Cd²⁺ e Mn²⁺ foram preparadas com água destilada e deionizada utilizando



como reagentes $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, CrO_3 , $\text{CdSO}_4 \cdot 8/3\text{H}_2\text{O}$, e $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ respectivamente, fornecidos pela Merck.

Nos experimentos de bioadsorção 0,5 g de pó de casca de coco para Cr^{3+} , Cr^{6+} , Cd^{2+} , e 0,8 g para Mn^{2+} , foram adicionados a 100 ml das diferentes soluções contendo as espécies metálicas, em frascos *Erlenmeyers*, os quais foram agitados em *shaker* por duas horas a 175 rpm e temperatura de 27°C. Os experimentos foram realizados em batelada, avaliando as seguintes variáveis: pH (1,5 a 10,0), concentração inicial da espécie metálica ($10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ a $2.100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) e tamanho de partícula ($62 \mu\text{m}$ a $590 \mu\text{m}$), com os dados obtidos foram construídas as isotermas de adsorção. Em cada série de experimentos as amostras foram filtradas, para retirar toda biomassa, e proceder às análises químicas de determinação da concentração final das espécies metálicas, as quais foram realizadas utilizando o espectrofotômetro de absorção atômica Analytik Jena ContAA 300.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Efeito do pH

A literatura mostra que o pH é uma das variáveis mais importantes no processo de remoção de metais pesados por biomassa, visto que a especiação do metal na solução é dependente do pH, e a carga dos sítios ativos na superfície pode mudar dependendo deste valor.⁽⁹⁾ Esse fato pode ser explicado pela relação entre; o número de sítios ativos presentes na superfície da biomassa e os grupos funcionais, as formas iônicas do metal em solução e a carga elétrica da biomassa.⁽¹¹⁾

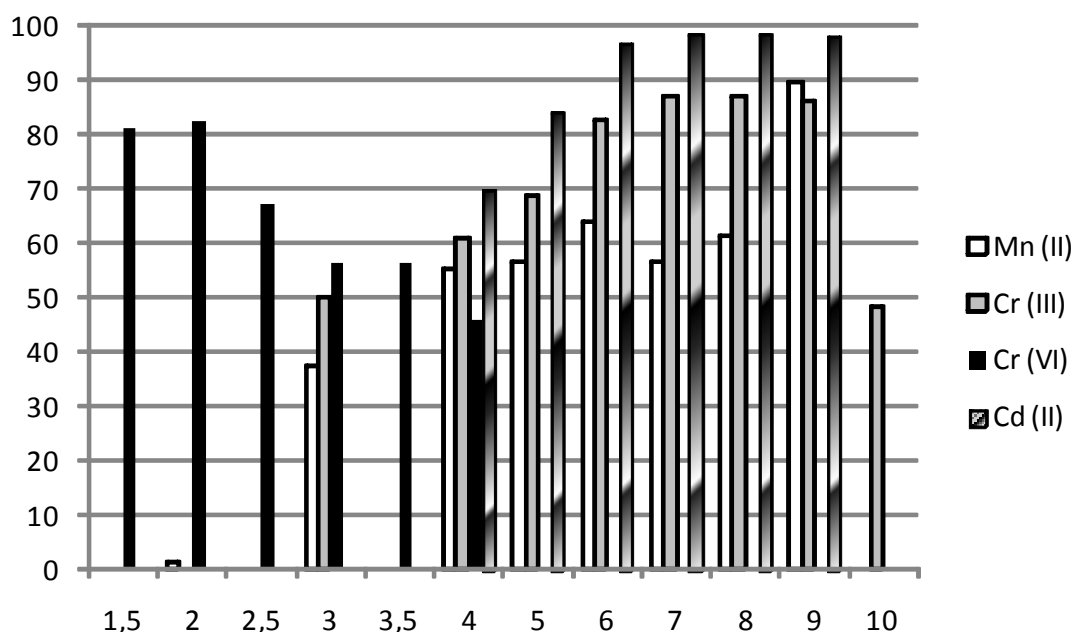


Figura 1. Percentagem de remoção dos diferentes íons em função do pH

A Figura 1 apresenta o efeito do pH inicial na remoção das diferentes espécies metálicas utilizando *Cocos nucifera* como bioadsorvente. Diferentes faixas de pH foram empregadas em função da predominância das diferentes espécies metálicas avaliadas.

Pode-se observar que para o Cr^{3+} , na faixa de pH entre 4 e 6 há um aumento na remoção, que passa de 61% para 82%. Para faixa de pH entre 7 e 9, a adsorção



apresenta um ligeiro incremento, com remoções da ordem de 88%. A partir de pH igual a 9 há uma queda na remoção atribuída a precipitação de Cr^{3+} sob a forma de $\text{Cr}(\text{OH})_3$.⁽¹²⁾ Esses resultados indicam que a faixa ideal para a remoção do Cr^{3+} por biomassa de *Cocos nucífera* encontra-se entre 6 e 9. No caso do cádmio, em valores de pH entre 4 e 5, a remoção é de 80%. Para faixa de pH entre 6 e 9 a remoção atinge valores superiores à 95%, sendo observada uma queda da remoção para valores de pH superiores a 9, onde a espécie predominante do cádmio é $\text{Cd}(\text{OH})_2$, tendo lugar sua precipitação.⁽¹²⁾

Para o Cr^{6+} a melhor percentagem de remoção foi observada em valor de pH igual 2 ocorrendo uma remoção superior a 80%. Neste valor de pH as espécies predominantes na solução são: CrO_4^{-2} e $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$.⁽¹²⁾ A partir do valor de pH igual a 2,5 a remoção diminui, atingindo valores de cerca de 68%. No caso do Mn^{2+} , na faixa de pH entre 4 e 8 a remoção atinge valores superiores a 50%, a partir do pH 8 predomina-se a formação de espécies OH^- na solução, provocando assim a precipitação do Mn^{2+} na forma de um hidróxido insolúvel.

3.2 Efeito do Tamanho de Partícula

Para a determinação da influência do tamanho de partícula na eficiência de remoção dos íons, foram realizados ensaios para diversas faixas granulométricas. Os tamanhos de partículas variaram entre 70 μm a 350 μm e foi utilizada uma concentração de biomassa de 5 g/L para o Cd^{2+} , Cr^{3+} e Cr^{6+} , e 8 g/L para o Mn^{2+} , o pH foi ajustado em 7 para o Cd^{2+} e Cr^{3+} , em 2 para o Cr^{6+} e 6 para o Mn^{2+} . O tempo de contato foi de 2 horas e a concentração inicial de 100 mg/L para todos as espécies metálicas.

Como se pode observar na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Figura 2 há uma diminuição na adsorção com o decréscimo do tamanho de partícula para os íons de Cd^{2+} e Cr^{3+} . O mesmo não é observado para o Cr^{6+} e o Mn^{2+} que apresenta um ligeiro incremento na adsorção com a diminuição do tamanho de partícula.

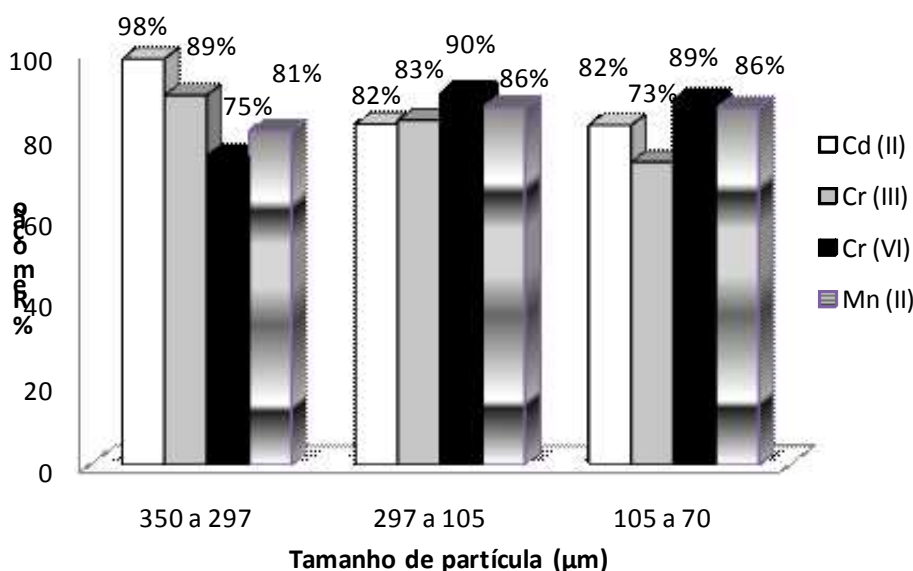


Figura 2. Efeito do tamanho de partícula.

É importante ressaltar que a forma e superfície das partículas influenciam na adsorção. Segundo Volesky,⁽⁹⁾ partículas maiores com formas esféricas, em geral, apresentam uma maior adsorção devido a uma maior transferência de massa do que

as partículas pequenas. Neste caso a maior adsorção nestas partículas é atribuída à transferência de massa para dentro das partículas do sorvente.

Quando o processo de adsorção dos íons de um metal em um adsorvente sólido é baseado na adsorção na superfície da partícula, observa-se uma maior adsorção em partículas menores. Chu e Chen⁽¹³⁾ observaram que a capacidade de bioadsorção da biomassa proveniente de lodo ativado aumentou com a diminuição do tamanho das partículas. Esta situação foi explicada pela maior área de superfície total das partículas menores para a mesma quantidade de biomassa.

3.3 Efeito da Concentração Inicial

Foram realizados experimentos em diferentes concentrações iniciais de Cd^{2+} , Cr^{3+} , Cr^{6+} e Mn^{2+} na faixa de 10 mg/L a 2.100 mg/L, sendo empregada uma biomassa com tamanho de partícula entre 297 a 350 μm , na concentração de 5g/L para Cd^{2+} , Cr^{3+} , Cr^{6+} e 8 g/L para Mn^{2+} . O tempo de contato foi de 2 horas e o pH da solução foi ajustado em 7 para Cd^{2+} e Cr^{3+} , 2 para Cr^{6+} e 5 para Mn^{2+} . As porcentagens de remoção obtidas para as diversas concentrações são apresentadas na Tabela 1.

Podemos ver que em concentrações baixas de 10 mg/L a 25 mg/L as remoções dos íons foram bem satisfatórias (> 86%). Porém, à medida que as concentrações foram aumentando, as remoções de íons Cr^{6+} e Mn^{2+} foram diminuindo, esse fenômeno pode ser atribuído a uma saturação dos sítios ativos da biomassa *Cocos nucifera* responsáveis pela bioadsorção. Os íons Cr^{3+} e Cd^{2+} apresentaram uma remoção praticamente constante em uma ampla faixa de concentração de 23 a 1194 mg/L para o Cr^{3+} e de 15 mg/L a 914 mg/L para o Cd^{2+} , mostrando assim uma alta capacidade de sorção desses íons pela biomassa.

Tabela 1. Percentagens de remoção em diferentes concentrações iniciais de Cd^{2+} , Cr^{3+} , Cr^{6+} e Mn^{2+}

Cd (II)		Cr (III)		Cr (VI)		Mn (II)	
C_0 (mg/L)	% Remoção	C_0 (mg/L)	% Remoção	C_0 (mg/L)	% Remoção	C_0 (mg/L)	% Remoção
15	98,84	23	90,61	18	86,85	11	99,44
46	97,11	46	89,30	37	87,29	46	82,36
90	98,20	69	88,97	57	86,37	89	66,14
304	92,40	93	89,40	91	74,80	179	32,40
498	91,93	115	89,40			281	28,83
914	92,98	283	85,86			357	20,45
2090	66,10	832	88,69			518	9,83
		943	83,29			700	9,30
		1194	87,36				

3.4 Isotermas de Adsorção

Nos experimentos de bioadsorção visando a construção das isotermas optou-se por utilizar os valores de pH dos metais Cd^{2+} , Cr^{3+} , Cr^{6+} e Mn^{2+} que obtiveram as melhores remoções, (7 para Cd^{2+} e Cr^{3+} , 2 para Cr^{6+} e 5 para Mn^{2+}). Sendo todos avaliados na temperatura de 27°C. Foram determinados os parâmetros da bioadsorção utilizando as isotermas de Langmuir e Freundlich.^(14,15)

A isoterma de Langmuir é utilizada para uma sorção em monocamada na superfície da partícula, a qual contém um determinado número de sítios livres para realizar a bioadsorção, e é representada pela seguinte equação:



$$q = \frac{q_{\max} bC}{1 + bC} \quad (1)$$

Onde:

- q** - quantidade de adsorvato (íon) retido no sólido (mg/g);
- q_{max}** - parâmetro de Langmuir relativo à capacidade de adsorção (mg/g);
- b** - constante de Langmuir relativa à energia de adsorção (L/mg);
- C** - concentração de equilíbrio do adsorvato (mg/L).

A isoterma de Freundlich está baseada na sorção em superfícies heterogêneas, e é dada pela equação:

$$q = k_f C^{1/n} \quad (2)$$

Onde:

- q** - quantidade de adsorvato (íon) retido no sólido (mg/g);
- C** - concentração de equilíbrio do adsorvato (mg/L);
- k_f** - constante de Freundlich relativa a capacidade de adsorção (L/g); e
- n** - constante de Freundlich relativa à intensidade de adsorção.

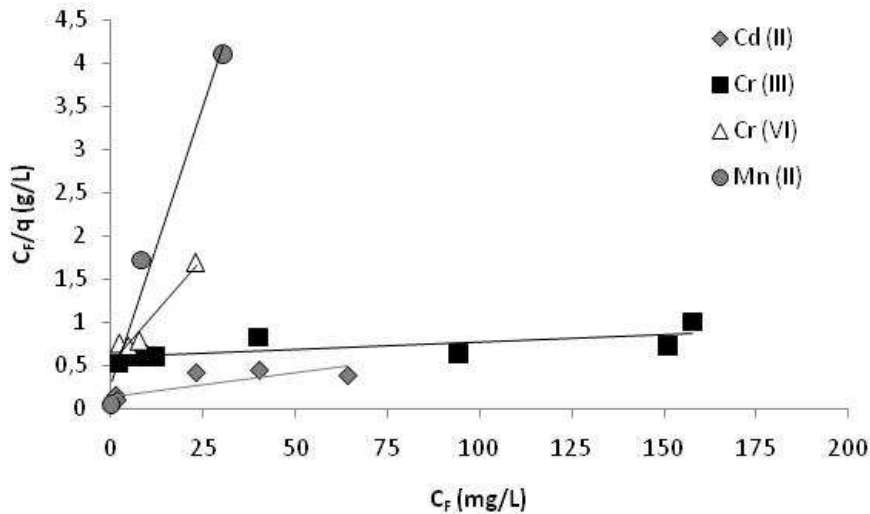


Figura 3. Isoterma Linearizada de Langmuir.

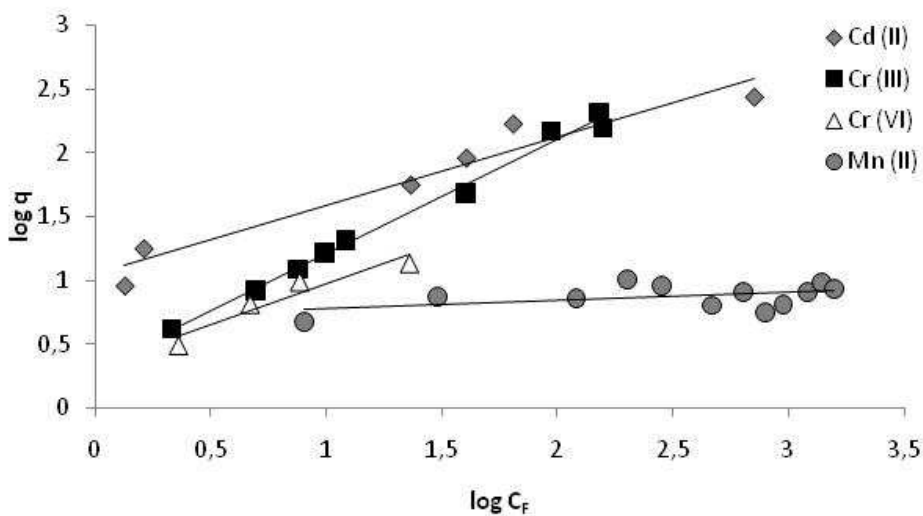


Figura 4. Isoterma Linearizada de Freundlich.

Os dados obtidos para cada espécie metálica em função de sua concentração inicial são apresentados nas Figuras 3 e 4, onde são mostradas as linearizações das isotermas de Langmuir e Freundlich para cada espécie metálica. As constantes de Langmuir e Freundlich obtidas a partir das isotermas e os coeficientes de correlação são apresentados na Tabela 2. As Isotermas Linearizadas de Langmuir e Freundlich foram obtidas nas seguintes condições experimentais: o valor de pH foi de 7 para Cd^{2+} , Cr^{3+} , 2 para Cr^{6+} e 5 para Mn^{2+} , A concentração de biomassa utilizada foi de 5g/L para Cd^{2+} , Cr^{3+} e Cr^{6+} e , 8g/L para o Mn^{2+} , tamanho de partícula da biomassa entre 297 μm a 350 μm , a velocidade de agitação foi de 175 rpm e a temperatura foi mantida constante em 27°C.

Tabela 2. Constantes de adsorção do Cd^{2+} , Cr^{3+} , Cr^{6+} e Mn^{2+}

Metal	Langmuir			Freundlich		
	q_{max} (mg/g)	b (L/mg)	R^2	k_F (L/g)	n	R^2
Cd (II)	295,81	0,018	0,986	11,23	1,859	0,938
Cr (III)	580,64	0,003	0,541	2,04	1,113	0,992
Cr (VI)	20,55	0,091	0,955	2,14	1,567	0,909
Mn (II)	9,66	0,158	0,962	4,48	9,660	0,414

Os valores apresentados na Tabela 2 mostram que o modelo de Langmuir ajusta-se muito bem aos dados experimentais obtidos para as espécies Cd^{2+} , Cr^{6+} e Mn^{2+} como pode ser observado pelos valores dos coeficientes de correlação apresentados. Os valores de q_{max} obtidos pelo modelo para estas espécies metálicas refletem a capacidade de carga destes metais pela biomassa, refletindo uma elevada capacidade para o Cd^{2+} , que apresentou um valor de 295 mg/g.

Para o modelo de Freundlich, observa-se um bom ajuste dos dados experimentais para as espécies metálicas avaliadas em particular para o Cr^{3+} , com exceção ao Mn^{2+} como mostra os valores dos coeficientes de correlação linear. Os valores elevados das constantes k_F e n (constantes de Freundlich) mostram uma fácil adsorção dos metais pelo bioissorvente. Em média, uma adsorção favorável tende a ter valores para a constante n de Freundlich entre 1 e 10. Valores maiores de n (valores menores de $1/n$) implicam em uma interação mais forte entre bioissorvente e o metal pesado.⁽¹⁶⁾

As forças envolvidas na adsorção de metais em bioissorventes podem ser forças de van der Waals não específicas, ou forças específicas mais fortes, tais como as que se manifestam durante a formação de ligações químicas. As primeiras são as responsáveis pela adsorção física, e as últimas pela adsorção química.

Os resultados do Cd^{2+} , Cr^{6+} e Mn^{2+} sugerem a ocorrência de uma adsorção química. Na adsorção química somente são possíveis camadas adsorvidas monomoleculares, o processo específico que pode exigir uma energia de ativação, sendo relativamente lento e pouco reversível.⁽¹⁷⁾

Para o metal Cr^{3+} , o melhor ajuste se deu para o modelo de Freundlich, sugerindo uma adsorção física. Segundo Shaw⁽¹⁷⁾ na adsorção física o equilíbrio é normalmente atingido rapidamente, já que não há participação de energia de ativação, o processo é facilmente reversível, e a adsorção é em camadas múltiplas.

3.5 Cinética de Bioissorção de Cd^{2+}

Vistos os resultados obtidos dos testes experimentais, podemos determinar que a espécie metálica que teve um melhor desempenho, no processo de bioissorção sob



as condições experimentais testadas, e quando comparada com as outras espécies metálicas testadas, foi o cádmio. Assim sendo, os testes de cinética forma realizados somente para esta espécie metálica.

O cádmio é um metal altamente tóxico com a crescente demanda para sua utilização em galvanoplastia, baterias, ligas, pigmentos, estabilizadores para catalisadores e semicondutores, fica claro a importância do estudo deste elemento que representa um grande potencial de poluição reconhecido para os seres humanos e o meio ambiente.⁽¹⁸⁾

Na finalidade de investigar o mecanismo de biossorção do Cd^{2+} e suas etapas de controle de taxa que incluem transporte de massa e processos de reações químicas, os modelos cinéticos de pseudo primeira ordem e pseudo segunda ordem, serão explorados para testar os dados experimentais. A cinética da adsorção é expressa como a taxa de remoção do soluto que controla o tempo de residência do sorvato na interface sólido-solução.⁽¹⁹⁾

O modelo pseudo primeira ordem de Lagergren foi o primeiro a ser desenvolvido para um processo de sorção de um sistema sólido-líquido. Este é o mais utilizado para determinar a taxa de sorção de um soluto em uma solução líquida, podendo ser representado pela seguinte equação:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (3)$$

Integrando a equação X de $t=0$ até $t=t$ e $q_t=0$ até $q_t=q_t$, obtemos a equação:

$$\ln \frac{(q_e - q_t)}{q_e} = -k_1 t \quad (4)$$

Onde:

q_e - quantidade de adsorvato retido no adsorvente no equilíbrio (mg/g);

q_t - a quantidade de adsorvato retido no adsorvente no tempo "t" (mg/g);

k_1 - a constante de velocidade da reação de pseudo primeira ordem (min^{-1}).

A equação X pode ser linearizada, obtendo assim a seguinte equação:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln(q_e) - k_1 t \quad (5)$$

Plotando $\ln(q_e - q_t)$ contra t em um gráfico, surgirá uma linha reta sugerindo uma possível aplicação deste modelo cinético.

O modelo de pseudo segunda ordem baseia-se também na capacidade de sorção do sorvente. Ao contrário do modelo anterior, este modelo prediz o comportamento cinético sobre toda a faixa de tempo de adsorção.⁽²⁰⁾ A equação para o modelo pseudo segunda ordem é a seguinte:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (6)$$

Onde:

q_e é a quantidade de adsorvato retido no adsorvente no equilíbrio (mg/g);

q_t é a quantidade de adsorvato retido no adsorvente no tempo "t" (mg/g);

k_2 é a constante de velocidade da reação de pseudo segunda ordem ($\text{g.mg}^{-1}.\text{min}^{-1}$).

Integrando a equação X de $t=0$ até $t=t$ e $q_t=0$ até $q_t=q_t$, obtemos a equação:

$$\frac{1}{(q_e - q_t)} = \frac{1}{q_e} + k_2 t \quad (7)$$

A equação 7 pode ser linearizada, obtendo assim a seguinte equação:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (8)$$



As Figuras 5 e 6 apresenta a linearização dos modelos de pseudo primeira ordem e pseudo segunda ordem, respectivamente.

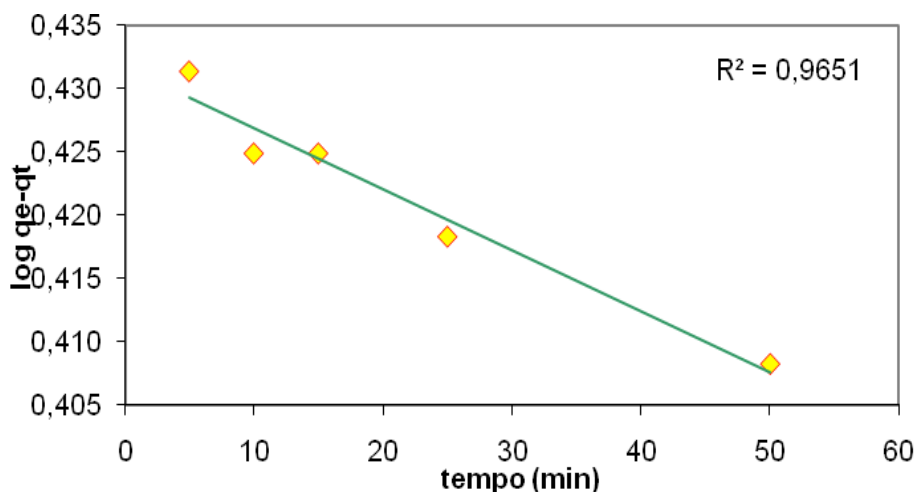


Figura 5. Representação gráfica do modelo de pseudo primeira ordem para o processo de biossorção de Cd²⁺ empregando a biomassa *Cocos nucifera*.

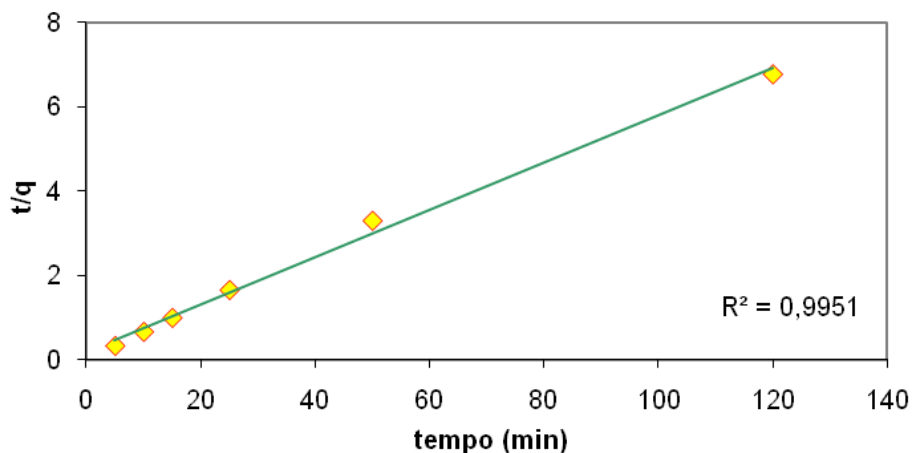


Figura 6. Representação gráfica do modelo de pseudo segunda ordem para o processo de biossorção de Cd²⁺ empregando a biomassa *Cocos nucifera*.

Podemos observar que o ajuste linear ($R^2= 0,9651$) apresenta um coeficiente de correlação aceitável, mesmo que os resultados experimentais desviem ligeiramente dos dados teóricos preditos pelo modelo de pseudo primeira ordem. Já o modelo de pseudo segunda ordem testado fornece uma descrição mais apropriada dos dados experimentais através do tempo ($R^2= 0,9951$).

Os resultados obtidos para os parâmetros de k_1 , k_2 , q e R^2 são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros cinéticos dos modelos cinéticos de pseudo primeira e segunda ordem para remoção de Cd²⁺ em *Cocos nucifera*.

Pseudo Primeira Ordem			Pseudo Segunda Ordem			q
$k_1 \cdot 10^3$ (min ⁻¹)	q (mg/g)	R ²	$k_2 \cdot 10^3$ (g/mg.min)	q (mg/g)	R ²	Experimental (mg/g)
1,111	2,700	0,965	16,493	17,843	0,995	17,680

Com o modelo de pseudo segunda ordem, o coeficiente de correlação ($R^2= 0,995$) e o valor de q (17,843 mg/g) obtido é muito próximo ao valor de q que se obteve



experimentalmente (17,680 mg/g), desta forma os resultados sugerem que o processo de bioadsorção do Cd^{2+} pela biomassa *Cocos nucifera* segue uma cinética de pseudo segunda ordem.

4 CONCLUSÕES

Os experimentos realizados mostraram uma elevada capacidade de remoção de Cr^{3+} (87%), Cr^{6+} (82,%) e Cd^{2+} (98,8) pelo pó da casca de coco verde, não sendo o mesmo observado para Mn^{2+} (56%), já eu obtive resultados inferiores, quando comparado com as outras espécies metálicas testadas. A importância do pH na remoção dos metais ficou constatada, sendo observados os seguintes valores ótimos de pH: Cr^{3+} - pH 7; Cr^{6+} - pH 2 e Cd^{2+} - pH 7.

A aplicação dos dados obtidos aos modelos de adsorção de Langmuir e Freundlich mostrou que as isotermas de adsorção obtidas para os íons de Cr^{6+} e Cd^{2+} foram satisfatórias para ambos modelos, já para Cr^{3+} apenas para o modelo de Freundlich, e para o Mn^{2+} somente o modelo de Langmuir nas condições experimentais testadas. Isto sugere a ocorrência da bioadsorção em monocamada assim como condições heterogêneas na superfície, onde ambas condições podem co-existir sob as condições experimentais testadas.

Os resultados preliminares apresentados neste trabalho mostram a possibilidade de utilização da casca de coco como material bioadsorvente, sendo uma boa opção para o tratamento de efluentes líquidos, já que esta biomassa é um resíduo produzido em grandes quantidades, cerca de 400 mil toneladas anuais, que requer o desenvolvimento de novas formas de aproveitamento.

REFERÊNCIAS

- 1 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.
- 2 BANAT, I.M.; NIGAM, P.; MARCHANT, R. Microbial decolorization of textile-dyecontaining effluents: a review. *Bioresource Technology*, v. 58, p. 217–27, 1996.
- 3 KURNIAWAN, T. A.; CHAN, G. Y. S.; LO, W.; BABEL, S. Physico-chemical treatment techniques for wastewater laden with heavy metals, *Chemical Engineering Journal*, v. 118, pp. 83–98, 2006.
- 4 ZOUBOULIS, A. I.; LOUKIDOU. X.; MATIS, K. A. Biosorption of toxic metals from aqueous solutions by bacteria strains isolated from metal-polluted soils, *Process Biochemistry*, v. 39, p. 909-916, 2004.
- 5 ATKINSON, B. W.; BUX, F.; KASAN, H. Considerations for application of biosorption technology to remediate metal-contaminated industrial effluents. *Water S.A.* 24, p. 129-135, 1998.
- 6 VOLESKY, B. Biosorption and me, *Water Research*, v. 41, p. 4017 – 4029, 2007.
- 7 VIJAYARAGHAVAN, K.; YUN, Y.S. Bacterial biosorbents and biosorption, *Biotechnology Advances*, v. 26, p. 266-291, 2008.
- 8 VOLESKY, B.; HOLAN, Z.R. Biosorption of heavy metals. *Biotechnology. Prog.*, v. 11, p. 235 – 250, 1995.
- 9 VOLESKY, B. Sorption and Biosorption, BV-Sorbex, Inc., St.Lambert, Quebec, 326 pgs, 2004.
- 10 ROSA, M. F.; SANTOS, F. MONTENEGRO, A.; ABREU, F.; CORREIA, D.; ARAÚJO, F.; NORÕES, E.; Caracterização do pó de casca de coco verde usado como substrato agrícola, *Comunicado Técnico N°54*, p. 1-6, 2001.

- 11 SELATNIA, A., BAKHTI, M.Z., KERTOUS, L., MANSOURI Y. Biosorption of Cd²⁺ from aqueous solution by a NaOH-treated bacterial dead *Streptomyces Rimosus* biomass. *Hidrometallurgy*, v. 75, p. 11-24, 2004.
- 12 GABALLAH, I.; GOY, D.; ALLAIN, E.; KILBERTUS, G.; THAURONT, J.; Recovery of copper through decontamination of synthetic solutions using modified barks, *Metallurgical and Materials Transactions B*, v. 28B, p. 13-23, 1997.
- 13 CHU H.C.; CHEN K.M. Reuse of activated sludge biomass: II. The rate processes for the adsorption of basic dyes on biomass, *Process Biochemistry*, v. 37, p. 1129–34, 2002.
- 14 LANGMUIR, I.; The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. *J. Am. Chem. Soc.*; v. 40, p. 1361-1403, 1918.
- 15 FREUNDLICH, H.; Ueber die Adsorption in Loesungen. *Z.; Physik. Chem.* v. 57, p. 385-470, 1907.
- 16 DELLE SITE, A. Factors affecting sorption of organic compounds in natural sorbent / water systems and sorption coefficients for selected pollutants a review. *Journal of Physical and Chemical*, v. 30, p. 187–439, 2001.
- 17 SHAW, D.J. *Introdução à química dos colóides e de superfície*, São Paulo, Edgard Blucher, Universidade de São Paulo, 1975.
- 18 KEFALA, M.I.; ZOUBOULIS, A.I.; MATIS, K.A. Biosorption of cadmium ions by Actinomycetes and separation by flotation, *Environmental Pollution*, v. 104, p. 283-293, 1999.
- 19 FEBRIANTO, J.; KOSASIHA, A.N.; SUNARSOB, J.; JUA, Y.H.; INDRASWATI, N.; ISMADJIA, S. Equilibrium and kinetic studies in adsorption of heavy metals using biosorbent: A summary of recent studies, *Journal of Hazardous Materials*, v. 162, p. 616–645, 2009.
- 20 AKSU, Z., 2001. Equilibrium and kinetic modelling of cadmium(II) biosorption by *C. vulgaris* in a batch system: effect of temperature. *Separation and Purification Technology* 21, 285–294.