

Pó das Sementes de *Moringa oleifera* como Adsorvente de Poluentes Metálicos

Erica Cardoso Costa¹; Cintya D' Angeles do Espirito Santo Barbosa¹; Helenice Leite Garcia¹ e Carlos Alexandre Borges Garcia¹.

1 Departamento de Química, Laboratório de Química Analítica Ambiental, Universidade Federal de Sergipe, 49100-000, São Cristóvão-SE, Brasil
ericacardoso_07@yahoo.com.br

(Recebido em 17 de julho de 2012; aceito em 09 de setembro de 2013)

O acentuado crescimento industrial é um dos principais fatores responsáveis pela contaminação dos recursos hídricos. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar o processo de adsorção de metais pesados utilizando como material adsorvente o pó de sementes de *Moringa oleifera in natura*. Através do analisador de Carbono, Hidrogênio e Nitrogênio, o pó das sementes de *Moringa oleifera* demonstrou uma elevada composição elementar de carbono, com a espectroscopia de infravermelho identificou os grupos OH e carbonila presentes nas sementes da moringa *in natura*. A determinação do íon metálico foi realizada no espectrofotômetro de absorção atômica. Constatou-se que a eficiência na adsorção de Cu^{2+} ocorreu em tempo relativamente curto (360 minutos). A capacidade de adsorção aumentou com o acréscimo do pH, sendo o pH 5,0 o que apresentou a maior porcentagem de remoção (90%). As concentrações de solução de cobre utilizadas foram: 10, 20, 50, 100 e 200mg/L. A adsorção de cobre aumentou de 69 para 84 % com o aumento da concentração inicial. Constatou-se também, que o adsorvente forneceu uma melhor linearização quando os valores experimentais foram ajustados para a equação linearizada de Freundlich. Por fim, o material em questão mostrou-se atrativo na remediação de cobre tanto do ponto de vista de eficiência quanto em relação ao seu baixo custo.

Palavras Chave: Adsorção, Cobre, *Moringa oleifera*

Powder of *Moringa oleifera* seeds as a adsorbent for Metal Pollutants

The high industrial growth is one of the major factors responsible for the contamination of water resources. Within this frame of reference, the present paper aims at evaluating the heavy metal adsorption process, by employing *Moringa oleifera in natura* seed powder. The *Moringa oleifera in natura* seed powder displayed a high elemental composition of carbon through a carbon, hydrogen, nitrogen analyzer and the OH and carbonyl groups present within the *Moringa in natura* seeds were identified by infrared spectroscopy. The determination of metal ion was carried out by the atomic absorption spectrophotometry. The efficiency of Cu^{2+} adsorption occurred over a relatively short period of time (360 minutes). The adsorption capacity increased by increasing the pH, seeing that pH 5,0 displayed the highest removal percentage (90%). Concentrations of the copper solution employed were: 10, 20, 50, 100 and 200 mg/L. Copper adsorption increased from 69 to 84% by increasing initial concentration. Findings also evidenced that the adsorber furnished the best linearity when experimental values were adjusted to fit Freundlich linear equation. Finally the material employed resulted appealing in regards to lower cost-effective copper remediation.

Key Words: Adsorption, Copper, *Moringa Oleifera*.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, está havendo uma maior preocupação em relação à qualidade e quantidade de água disponível para o consumo humano. No meio científico e na sociedade como um todo essa preocupação esta aliada a uma maior conscientização dos efeitos nocivos provocados pela liberação de substâncias tóxicas no meio ambiente, como também pela implantação de leis ambientalistas mais severas que tornou o gerenciamento ambiental uma questão fundamental para as indústrias no geral [1, 2, 3]. Existem muitas substâncias tóxicas na água provenientes de diversos processos antropogênicos, tais compostos quando se encontram em certas concentrações podem alterar e causar danos aos ciclos biológicos normais. Entre estes, destacam-se pela sua importância, os compostos de metais pesados. Diferentemente das

espécies poluidoras orgânicas, que em muitos casos podem ser degradadas, as espécies metálicas liberadas no ambiente tendem a persistir indefinidamente, acumulando-se por toda a cadeia alimentar, colocando em risco a vida de animais e do homem [4]. O teor máximo de cobre na água para consumo humano, permitido pela Portaria N° 518, de 25 de Março de 2004 (MS, 2004) é estabelecido em 2 mg.L^{-1} .

Os metais pesados têm recebido enfoque especial, uma vez que são extremamente tóxicos, mesmo em quantidades muito baixas, para uma grande variedade de organismos. Os sintomas da intoxicação metálica dependem de cada metal, mas de um modo geral afetam os rins, o trato gastrointestinal e o cérebro [5, 6, 7, 8, 9].

A maior fonte de exposição do cobre para população é através da ingestão de alimentos, bebidas, e água potável. O limite máximo aceitável não foi determinado pelo “International Programme on Chemical Safety” (IPCS), devendo ficar na faixa de alguns miligramas por dia. Mas, é relatado na literatura que altas concentrações podem causar diarreias, náuseas, vômitos, coma até a morte. Além de ser preocupante nos casos de pessoas que são portadoras da doença de Wilson. O cobre pode causar cirrose hepática em adultos e crianças [10].

A combinação das propriedades do metal possibilita uma ampla aplicabilidade em ligas, eletrodos, pigmentos, inseticida, galvanoplastia, utensílios de cozinha, dentre outras aplicações. Em geral, o tratamento de efluentes contaminados com metais envolve processos físico-químicos de floculação e/ou precipitação, eletrólise, cristalização e adsorção. Contudo, estes processos são caros e produzem novos resíduos, provocando dessa forma um repasse de problemas. A busca por soluções mais baratas e definitivas levou ao desenvolvimento de tecnologias baseadas na utilização de biomassas, como os agentes de remoção dos metais [11, 12, 13, 14]. A adsorção é uma das técnicas mais efetivas no tratamento de águas e águas residuárias. Este processo é empregado nas indústrias para reduzir os níveis de compostos nocivos de seus efluentes [15]. Sendo assim, adsorção vem se colocando como uma opção potencialmente atrativa para uma grande variedade de efluentes industriais. Principalmente por utilizar adsorventes não perigosos e baratos, que podem apresentar altas seletividades e taxa de remoção.

Em alguns casos, a adsorção pode ser resultante da ligação química entre o sólido adsorvente e o adsorvato presente na fase fluida. Essa ligação ocorre pela troca ou compartilhamento de elétrons com elementos químicos como complexos ou íons metálicos, ligados à superfície do material sólido. Este processo denominado quimissorção é exotérmico, ocorre somente como uma monocamada e é irreversível. No caso em que a adsorção envolve as forças de van der Waals, o processo é designado de adsorção física ou fisissorção. Esta é acompanhada por um decréscimo de energia livre e entropia, tratando-se também de um processo exotérmico, porém não ocorre somente em uma monocamada e é reversível, uma vez que a energia requerida para a dessorção é pequena [16, 17].

A *Moringa oleifera* Lam, a espécie mais divulgada da família das *Moringaceae*, é uma planta originária da Índia, mas já se espalhou por todo mundo, principalmente nos países tropicais, como o Brasil. Na região do Nordeste Brasileiro, a *Moringa oleifera* é conhecida como “Lírio Branco”. Ela é tolerante à seca e se adapta bem ao semi-árido. Além disso, exemplos de aplicações vêm sendo relatados ao longo dos anos: folhas e sementes são empregadas para alimentação animal e em remédios caseiros e seu óleo tem sido usado em lamparinas, fabricação de sabão e lubrificação de pequenas engrenagens, como relógio. As sementes trituradas são utilizadas para a purificação de água, dentre outras aplicações [18].

As sementes de *Moringa oleifera* contêm atividade hipotensiva, atividade antioxidante e constituem um poderoso agente quimiopreventivo. Sementes descascadas possuem a capacidade de descontaminar a água contendo arsênio e pode ser usada como uma tecnologia doméstica segura e que não causa danos para o meio ambiente [19]. No entanto, ainda não existem muitos dados envolvendo o uso do pó da semente de moringa para remoção de metais em águas.

Avaliando este cenário, este trabalho tem como objetivo avaliar o processo de adsorção de cobre, utilizando como material adsorvente o pó obtido das sementes de *Moringa oleifera* Lam.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Obtenção E Preparação do Material Adsorvente

O pó das sementes da *Moringa oleifera* Lam, Figura 01, foi obtido através da trituração e secagem das sementes. Uma vez no laboratório foi lavado com água ultra-pura e seca á 60°C e, posteriormente, foi peneirado a uma granulometria de 20 mesh.



Figura 1: Pó da semente de *Moringa oleifera* Lam utilizado nos experimentos de adsorção.

2.2. Capacidade de Adsorção do Adsorvente

Para avaliar a capacidade de adsorção do material, foram colocados em frascos de polietileno 0,1g do pó das sementes de Moringa e 10 mL de uma solução sintética de cobre em pHs e concentrações variadas segundo os objetivos de cada experimento. A capacidade de adsorção do adsorvente, Q (mg do metal/ g do adsorvente), foi determinada com base na diferença de concentração dos íons metálicos, usando-se a Equação 01.

$$Q_e = (C_o - C_e) \cdot V / m \quad Eq. 01$$

Nesta equação, C_o é concentração do soluto na solução inicial (mg/L); C_e , concentração do soluto no equilíbrio (mg/L); V , volume da solução (L); m , massa do adsorvente (g).

2.3. Estudo Cinético da Adsorção

O estudo de cinética foi realizado em sistema de batelada. Uma série de frascos (polietileno) contendo 0,1g do adsorvente em contato com 10 mL de solução de cobre com concentração de 10mg/L, em pH 5, sob agitação constante de 150 rpm em um shake. Em intervalos pré-determinados foram retiradas alíquotas e estas foram filtradas e suas concentrações residuais determinadas.

2.4. Efeito da Concentração

O efeito da concentração foi realizado em sistema de batelada. Utilizando o mesmo procedimento do Estudo cinético da Adsorção, uma série de frascos (polietileno) contendo 0,1g do adsorvente foi colocada em contato com 10 mL de solução com concentração de 10, 20, 50, 100 e 200 mg/L de cobre em pH 5, sob agitação constante de 150 rpm em um shake. No tempo de equilíbrio foram retiradas as amostras e estas foram filtradas e suas concentrações residuais determinadas.

2.5. Efeito do pH

O efeito do pH foi realizado em sistema de batelada. Uma série de frascos (polietileno) contendo 0,1g do adsorvente foi colocada em contato com 10 mL de solução de cobre com concentração de 10mg/L em pHs 2, 4, 5 e 6, sob agitação constante de 150 rpm em um shake. No tempo de equilíbrio foram retiradas as amostras e estas foram filtradas e suas concentrações residuais determinadas.

2.6. Análise Elementar de CHN

O analisador CHN é um método baseado na oxidação em alta temperatura dos compostos orgânicos, que converte os elementos em moléculas gasosas. Os produtos obtidos são CO₂, H₂O e NO₂. A detecção é feita utilizando os mesmos princípios da cromatografia, e por cálculos estequiométricos, em porcentagens de C, H, e N na amostra. A análise elementar foi realizada num analisador THERMO FINNIGAN no Laboratório de Química Ambiental (LQA) da Universidade Federal de Sergipe.

2.7. Espectroscopia de Infravermelho

A identificação dos grupos funcionais presentes nas sementes da moringa *in natura* foi realizada por espectroscopia de infravermelho (FT-IR), sendo as amostras preparadas em pastilhas de KBr irradiadas a uma faixa de 4000 a 400 cm⁻¹.

2.8. Determinação dos Íons Metálicos

A determinação da concentração residual de cobre foi realizada utilizando um espectrofotômetro de absorção atômica, Shimadzu AA-6800, equipado com um corretor de background BGC-D₂. As determinações foram realizadas em chama ar/acetileno. Os ajustes instrumentais foram os recomendados no manual do fabricante. As análises foram realizadas em duplicata e a quantificação feita pelo método.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização do Adsorvente

Como pode ser observada na Tabela 01, a análise elementar do pó das sementes de *Moringa oleifera* Lam demonstrou uma elevada composição elementar de carbono.

Tabela 1: Análise elementar em porcentagens de carbono (C), Hidrogênio (H) e Nitrogênio (N).

Material	C (%)	N (%)	H (%)
<i>Moringa oleifera</i>	60,8	1,50	4,02

A Figura 02 mostra o espectro de infravermelho do pó das sementes de *Moringa oleifera* Lam. O espectro exhibe praticamente uma banda larga compreendida na região de 3000 a 3750 cm⁻¹, que caracteriza o estiramento de grupos OH, proveniente de água adsorvida na superfície do material e de grupos fenóis e alcoóis. As bandas entre 1000 a 3450 cm⁻¹ dos espectros da *Moringa oleifera* Lam, não há variação entre o adsorvente após os ensaios de remoção, indicando a presença destes grupos como: hidroxilas, carboxilas, carbonilas, aminas, mesmo após o procedimento de remoção, sinalizando para disponibilidade destes uma vez que estão nos principais constituintes da semente [20].

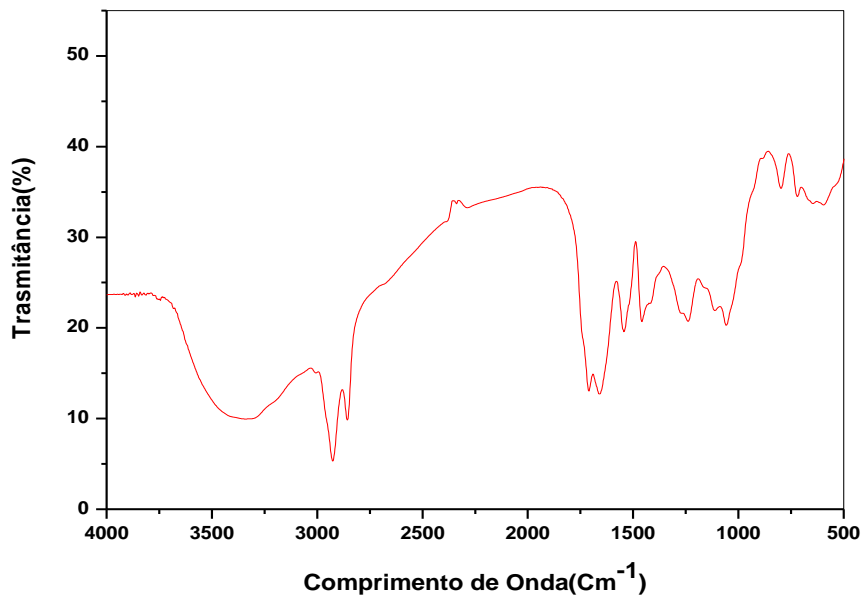


Figura 2: Espectro de infravermelho (FT-IR) das sementes da *Moringa oleifera* Lam in natura.

Bandas entre 1820 e 1630 cm^{-1} confirmam a presença de funções carbonila, que pode ser um éster ou uma alquil cetona, sendo o éster confirmado pela presença de uma banda forte na região de $1250\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$.

3.2. ESTUDO CINÉTICO

O tempo de contato necessário para que o equilíbrio entre as fases seja atingido é devido a vários fatores, entre eles o tipo, tamanho, estado da biomassa (ativa ou inativa, livre ou imobilizada), além do metal envolvido no sistema de biossorção.

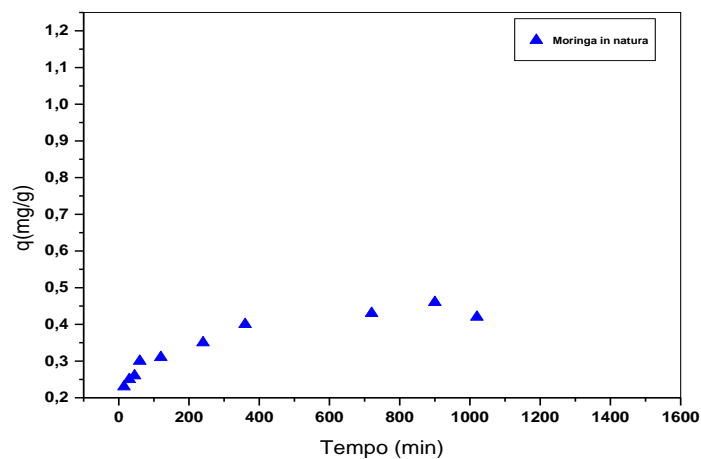


Figura 3: Efeito da variação do tempo de adsorção em função da adsorção dos íons de cobre utilizando o pó da semente de *Moringa oleifera* Lam como adsorvente.

Na *Figura 03*, os resultados demonstram uma cinética relativamente rápida de 360 minutos. Sendo os valores da capacidade de adsorção e porcentagem de remoção de cobre no equilíbrio de 8,64 (86%).

3.3. Efeito do pH

O valor do pH da solução é um dos fatores que mais afeta a adsorção de metais pesados. A adsorção aumenta com o aumento do valor do pH, devido ao aumento da densidade de carga negativa na solução, gerando sítios ativos para interação com o metal pesado [21]. A exceção é feita para os íons metálicos presentes como espécies aniônicas [22].

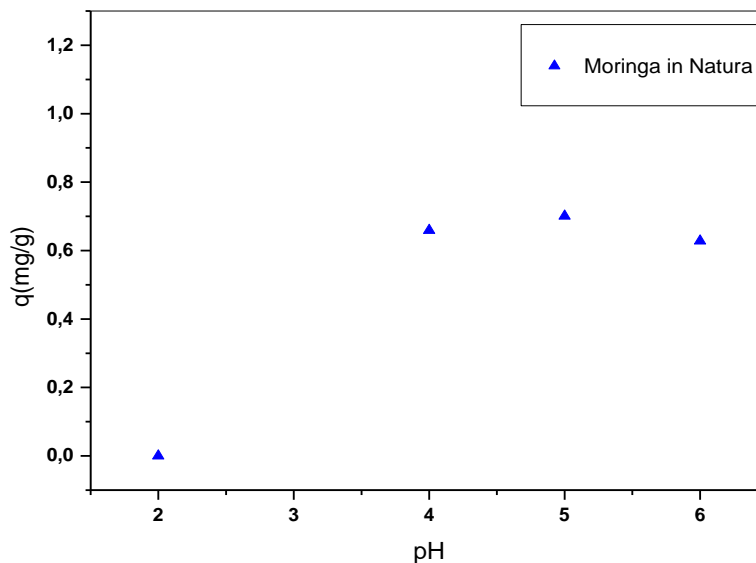


Figura 4: Efeito da variação do pH em função da adsorção de cobre utilizando o pó da semente de Moringa oleifera Lam como adsorvente.

Na *Figura 04*, percebe-se que a capacidade de adsorção para o adsorvente aumentou com o acréscimo do pH. Em valores de pH muito ácido, como pH 2, a remoção de cobre foi insignificante em torno de zero. Tal fato pode estar relacionado à competição de íons H_3O^+ e Cu^{2+} , pois em pHs muito baixos a superfície do adsorvente está estreitamente associada com os íons hidrônios (H_3O^+) que limita a aproximação dos cátions metálicos como resultado das forças repulsivas [23, 24, 25]. Além disso, para esses valores de pH, alguns grupos presentes no adsorvente como hidroxílicos e carboxílicos, não apresentam sua forma dissociada e assim não podem ligar-se aos íons metálicos presentes na solução [26]. Por outro lado, valores muito altos do pH, que causam precipitação dos complexos metálicos, devem ser evitados durante experimentos de adsorção, pois a distinção entre adsorção e precipitação na remoção metálica seria difícil [27]. Como pode ainda ser observado na *Figura 04*, a melhor porcentagem (96 %) e capacidade de adsorção (0,7 mg/g) foi obtido em pH 5.

3.4. Efeito da Concentração

Como pode ser observada na *Figura 05*, a capacidade de adsorção (q (mg metal/g do adsorvente)) aumenta com o aumento da concentração inicial de cobre. Em termos de valores máximos e mínimos de porcentagem de remoção de cobre para o adsorvente esses foram de 69 e 84 %, respectivamente. Foi observado que o equilíbrio não foi alcançado no tempo estudado, o que possibilita inferir que estas condições são favoráveis para a remoção de íons cobre [18].

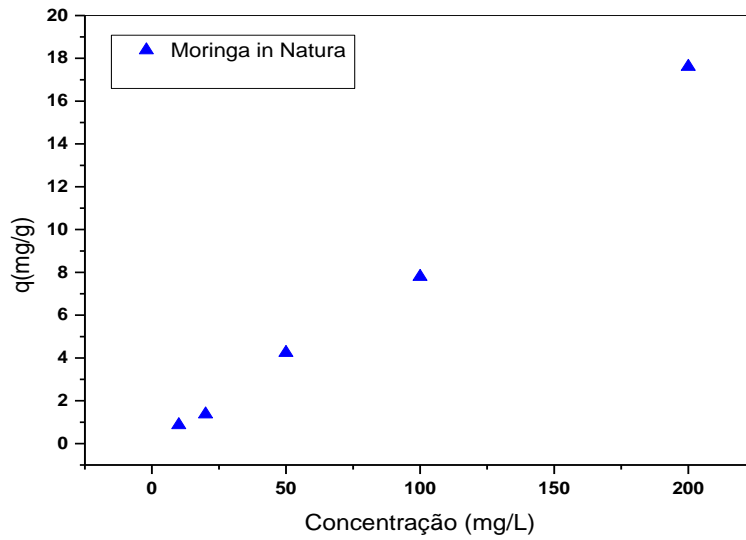


Figura 5: Efeito da variação da concentração da solução de cobre em função da adsorção dos íons de cobre utilizando o pó da semente de *Moringa oleifera Lam* como adsorvente.

3.5. Isotermas de Adsorção

Para um melhor entendimento dos mecanismos de adsorção é importantes estabelecer o modelo mais apropriado que descrevera o processo de equilíbrio do sistema. Dois modelos são mais estudados para descrever isotermas para tratamento de água e efluentes, que são os de Langmuir e Freundlich.

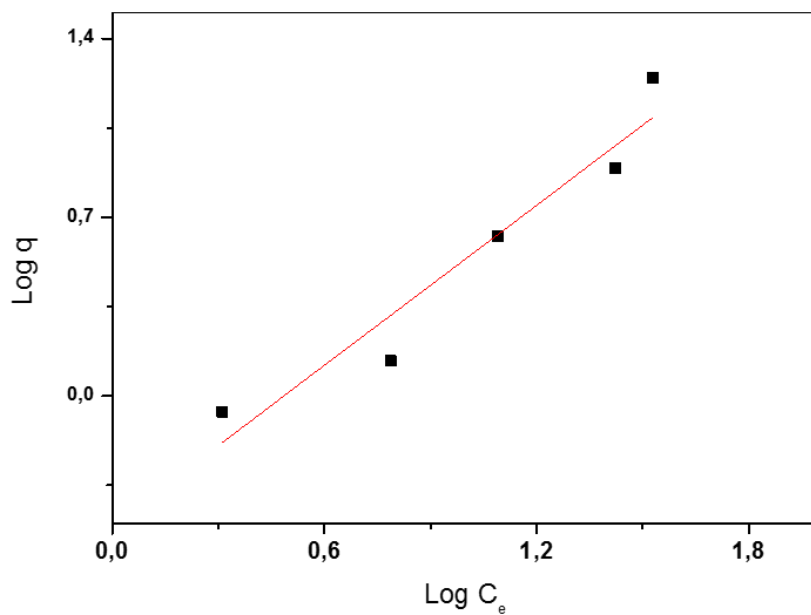


Figura 6: Isoterma de Freundlich para adsorção de cobre utilizando o pó da semente de *Moringa oleifera Lam* como adsorvente.

Através da realização dos gráficos de isotermas para a adsorção de cobre pelas sementes de moringa in natura observou-se que o adsorvente forneceu uma melhor linearização quando os valores experimentais foram ajustados a equação Linearizada de Freundlich.

$$\text{Log } q_e = \log K_f + 1/n \text{ Log } C_e$$

Nesta equação, C_e é a concentração do adsorbato no equilíbrio (mg/L), q_e é a quantidade adsorvida no equilíbrio (mg/g), K_f e n são as constantes relacionadas com a capacidade de adsorção e a intensidade de adsorção, respectivamente. A linearização dos dados experimentais a essa isoterma forneceu um coeficiente linear de 0,900. Esse modelo considera que a adsorção ocorre em multicamadas e é útil para descrever sistemas com superfícies heterogêneas.

4. CONCLUSÕES

Os resultados demonstraram que a adsorção de cobre pela semente de *Moringa oleifera* Lam in natura forneceu uma cinética relativamente rápida (360 minutos), e que o processo foi favorecido pelo acréscimo do pH, sendo o de pH 5 aquele que forneceu uma maior porcentagem de remoção (96%). A capacidade de adsorção (q (mg metal/g do adsorvente)) aumentou com o aumento da concentração inicial do metal. Através da realização dos gráficos de isotermas para a adsorção de cobre, foi observada uma melhor linearização quando os valores experimentais foram ajustados à equação linearizada de Freundlich. Por fim, o material em questão mostrou-se atrativo na remediação de cobre tanto do ponto de vista de eficiência quanto em relação ao seu baixo custo.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao professor Gabriel Francisco da Silva do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Sergipe, por ter cedido as sementes da *Moringa oleifera* Lam.

1. MADEIRA, V. S., MORETTI, K., HUMBERTO, J. J., MOREIRA, R, F. P. M.; Remoção de Ferro de água subterrânea utilizando carvão como adsorvente em escala de bancada e escala piloto. Anais do IV Encontro Brasileiro sobre adsorção, 2003.
2. JIMENEZ, R. S., DAL BOSCO, S. M., CARVALHO, W. A., Remoção de Metais Pesados de Efluentes Aquosos Pela Zeólita Natural Escocita- Influência da Temperatura e do pH na Adsorção de Sistemas Monoelementares. Química Nova, v.27, n.5, p. 734-738, 2004.
3. FRANÇA, S. C. A.; ARRUDA. G. M.; Utilização de vermiculita como adsorvente de metais pesados. In: VIII Jornada Argentinas de Tratamiento de Minerales. San Juan, Argentina, 2006. Anais das VIII JATRAMI volume único, p. 545-553.
4. CLARISSE, M.D; AMORIM, M. C.V; LUCAS, E.F (1999). Despoluição ambiental: uso de polímeros na remoção de metais pesados. Revista de Química Industrial, n. 715.
5. BARROS JUNIOR, Laerte de Medeiros (2001). Biosorção de metais pesados presentes em águas de produção de campos de petróleo. Dissertação de Mestrado, UFRN, Natal.
6. MOREIRA, C. S. Adsorção competitiva de cádmio, cobre, níquel e zinco em solos. Dissertação de mestrado. Escola superior de agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
7. STAFIEJ, A.; PYRZYNSKA, K.; Adsorption of heavy metal ions with carbon nanotubes. Department of Chemistry, Warsaw University, Poland. Separation and purification technology 58 (2007) 49-52.
8. TRICHOPOULOS. D.; Epidemiology of cancer. In: De Vita VT (ed) Cancer, principles and practice of oncology. Lippincott Company, Philadelphia, pg 231-258, 1997.
9. CAMARGO, S, M.; ANJOS, M, R, A.; ROSSI, C.; MALAVOLTA, E.; Adubação Fosfatada e Metais Pesados em Latossolo Cultivado com Arroz. Scientia Agrícola, v.57, n.3, p.513-518, jul./set. 2000.

10. KARNITZ JÚNIOR, Osvaldo. Modificação química do bagaço de cana e celulose usando anidrido do EDTA. Uso destes matérias na adsorção de metais pesados em solução aquosa. Dissertação de mestrado (mestre em engenharia ambiental), Universidade de Ouro Preto, 2007.
11. GOMES, N.C.M.; MENDONÇA-HAGLER, L.C.S.; SAVVAIDIS, I (1998). Metal Bioremediation by microorganisms. *Rev. Microbiol.*, São Paulo, v. 29, n. 2, pp. 85-92.
12. VALDMAN, E.; LEITE, S.G.F (2000). Biosorption of Cd, Zn and Cu by *Sargassum* sp. waste biomass. *Bioprocess. Eng.*, Nova York, v. 22, pp. 171-173.
13. COSSICH, E. S. SILVA, E. A.; TAVARES, C. R. G.; CARDOSO FILHO, L.; RAVAGNANI, T. M. K.; Modelagem da biossorção cobre Pela alga marinha *sargassum* sp. em coluna de leito fixo.; III Encontro Brasileiro sobre Adsorção, 2000.
14. SILVA, V. L. M. M., GOMES, W. C., ALSINA, O. L. S., Utilização do Bagaço de Cana de Açúcar Como Biomassa Adsorvente na Adsorção de Poluentes Orgânicos. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, v.2, n.1, p. 27-32, 2007.
15. AHMARUZZAMAN, M., SHARMA, D. K., "Adsorption of phenols from wastewater", *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 287, p. 14-24, 2005.
16. HOMEM, E. M., Remoção de Chumbo, Níquel e Zinco em Zeólita utilizando Sistema de Leito Fluidizado, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos), 2001, 112p. Faculdade de Engenharia Química, Unicamp, Campinas, 2001.
17. ZAMBON, G.A, Remoção de Chumbo utilizando Zeólita Natural Clinoptilolita, Dissertação de Mestrado (Mestre em Engenharia de Processos). 2003, 98p. Faculdade de Engenharia Química, Unicamp, Campinas, 2003.
18. Araújo, C. S. T., Desenvolvimento de metodologia analítica para extração e pré – concentração de Ag(I) utilizando *Moringa oleifera* Lam, Tese de doutorado (Doutor em ciências), 2009, 215p. Universidade Federal de Uberlândia, 2009.
19. KUMARI P, SHARMA P, SRIVASTAVA S, SRIVASTAVA, M, M., Biosorption studies on shelled *Moringa oleifera* Lamarck seed powder: Removal and recovery of arsenic from aqueous system. *Int. J. Miner. Process.* Vol. 78: 131-139, 2006.
20. HJERESSEN, D. L.; ANASTAS, P.; WARE, S.; KIRSHHOFF, M. "Peer reviewd: Greem chemistry progress & challenges". *Environ. Sci. Technol.*, 35, 105A, 2001.
21. KUYUCAK, K.; VOLESKU, B.; BIOSORBENTS for recovery of metals from industrial solutions. *Biotechnology Letters*, Vol. 10, nº 2, 137-142 (1988).
22. SEKAR, M.; SAKTHI, V.; RENGARAJ, S. Kinetics and equilibrium adsorption study of lead (II) onto activated carbon prepared from coconut shell. *Journal of colloid and interface science*, v. 279, p. 307 – 313, 2004.
23. PINO, G. H.; MESQUITA, L. M. S.; TOREM, M. L.; PINTO, G. A. S. Biosorption of cadmium by green coconut shell powder. *Minerals engineering*, v. 19, p. 380 – 387, 2006.
24. FIOL, N.; VILLAESCUSA, I.; MARTINEZ, M.; MIRALLES, N.; POCH, J.; SERAROLS, J. Sorption of Pb(II), Ni(II), Cu (II), and Cd (II) from aqueous solution by olive stone waste. *Separation and Purification technology*, v. 50, p. 132-140, 2006.
25. KALYANI, S.; RAO, P. S.; KRISHNAIAH, A. Removal of nickel (II) from aqueous solutions using marie macroalgae as the sorbing biomass. *Chemosphere*, v. 57, p.1225- 1229, 2004.
26. CHUBAR, N.; CARVALHO, J. R.; NEIVA, M. J. Cork biomass as biosorbent of Cu (II), Zn (II) and Ni (II). *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*, v. 230, p. 57-65, 2004.19. Cooney, D.O. *Adsorption Design for Wastewater Treatment*. Editora CRC Press, Boca Raton, Florida, 1999.
27. MEENA, A. K.; MISHRA, G. K.; RAÍ, P. K.; RAJAGOPAL, C.; NAGAR, P. N. Removal of heavy metal íons from aqueous solutions using carbon aerogel as adsorbent. *Journal of hazardous materials B122*, p. 161-170, 2005.