

# **Avaliação das sementes de *Moringa oleifera* como biosorvente aplicado a remoção de cádmio e cromo em sistemas aquíferos**

Bruno Elias dos Santos Costa<sup>1a</sup>, Luciana Melo Coelho<sup>1b\*</sup>

<sup>1</sup>*Universidade Federal de Goiás - Campus Catalão, Catalão – GO 75.704-020, Brasil*

*brunoeliassantos@yahoo.com.br*

*lucianacatalao@hotmail.com*

PALAVRAS-CHAVE: *Moringa oleifera*, Água, Cádmio, Cromo, Descontaminação.

## **1. INTRODUÇÃO**

Cada vez mais cresce a percepção de que novas tecnologias baseadas em mecanismos alternativos podem contribuir para a melhoria da qualidade do meio ambiente, participando no desenvolvimento e modificação de metodologias e processos que venham a minimizar a poluição ambiental. Dentro dos princípios da necessidade de um desenvolvimento sustentável, tem-se como regra básica manter a qualidade de vida, cujo maior desafio é diminuir os danos causados ao meio ambiente.

A água, substância essencial para manutenção de qualquer forma de vida, apresenta a capacidade de solubilizar uma enorme quantidade de substâncias, o que a torna mais vulnerável a contaminação, principalmente pela presença de metais pesados de elevada toxicidade como cádmio, cromo, chumbo dentre outros. Para tanto é necessário que atenda aos padrões de potabilidade ao consumo humano, que são as quantidades limites com relação aos diversos elementos químicos que podem ser toleradas na água, se enquadrando dentro da faixa deliberadas por decretos e regulamentações [1].

As conseqüências danosas que os metais pesados podem causar a médio e longo prazo, quando em contato com o ambiente, insumos e matérias-primas, torna-se uma preocupação, na medida em que esses elementos, mesmo em pequenas quantidades, se acumulam em reservatórios naturais. Esse é um campo que tem despertado o interesse de pesquisadores, a respeito dos efeitos desse tipo de contaminação na flora, fauna e na saúde humana [2].

Em decorrência da intensa atividade antropogênica, que vêm lançando desenfreadamente grandes quantidades de contaminantes orgânicos e inorgânicos em reservas aquáticas, e da deficiência de um sistema eficaz de saneamento em várias localidades, novas metodologias consideradas alternativas vem sendo empregadas em sistemas de extração e pré-

---

\* Revisado pelo Orientador.

<sup>a</sup> Aluno orientando do projeto de pesquisa de Iniciação científica.

<sup>b</sup> Orientadora do projeto de pesquisa de Iniciação científica.

concentração de íons metálicos, visando a remediação dos recursos hídricos, uma vez que estes tem sido alvo principal da contaminação provinda de vários efluentes.

Na procura de alternativas para despoluir áreas contaminadas por diferentes compostos, procura-se identificar técnicas que apresentem eficiência na descontaminação, simplicidade na execução, menor tempo demandado e menor custo. Nesse contexto, aumenta ainda o interesse pela biorremediação, caracterizada como uma técnica que objetiva descontaminar solo e água por meio da utilização de organismos vivos, como microrganismos e plantas. [3]

Uma alternativa bastante promissora para extração de metais é baseada no mecanismo de adsorção, e diversos materiais de origem natural, denominados adsorventes naturais vêm sendo utilizados com êxito em tratamento de resíduos. Dentro desse grupo, a espécie vegetal *Moringa oleifera* (Figura 1) vem se destacando como um material alternativo usado no tratamento de águas, devido as propriedades adsortivas e coagulantes que suas sementes apresentam. [4-6]



**Figura 1.** Vagens e sementes de *Moringa oleifera*.

Estudos realizados por inúmeros pesquisadores utilizando as sementes de moringa para a remoção de metais em efluentes são constatados na literatura apresentando boas capacidades adsortivas, como a remoção de prata em solução aquosa estudada por Araujo *et al.*(2009), onde o uso do pó das sementes *in natura* apresentou grande eficiência na adsorção de íons Ag(I) em solução, utilizando-se somente 2,0 gramas da moringa e tempo de agitação de 20 minutos. [7]

As descobertas do uso das sementes de *Moringa oleifera* para a purificação de água, a um custo menor que o tratamento químico convencional, constituem uma alternativa de alta importância. No entanto, o uso de sementes de moringa para extração e redução da concentração de cádmio e cromo ainda necessitam ser investigadas.

## 2. OBJETIVOS

- Estudar e avaliar as características morfológicas decorrentes da estrutura superficial das sementes de *Moringa oleifera*, bem como a estabilidade térmica e organização interna das sementes tratadas com NaOH em comparação com sua forma *in-natura*, por meio de técnicas de caracterização específicas;
- Otimizar parâmetros de variação relacionados a capacidade adsorptiva das sementes de moringa tratadas com NaOH frente a remoção dos metais cádmio e cromo, tais como: biomassa, granulometria e pH;
- Avaliar os resultados de adsorção de cádmio e cromo pelas sementes de moringa na presença de outros metais inteferentes em diferentes concentrações;
- Validar o uso das sementes de *Moringa oleifera* na remoção de cádmio e cromo em sistemas aquíferos sob condições otimizadas, aplicando-as em amostras reais;
- Desenvolver uma metodologia analítica simples e de baixo custo, que pode ser facilmente aplicada em setores de tratamennto de água, correspondendo a uma alternativa aos métodos convencionais;

## 3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

### 3.1. Caracterização físico-química

A polpa das sementes de *Moringa oleifera* foi caracterizada por algumas técnicas analítico-instrumentais, como Termogravimetria, Microscopia eletrônica de varredura e Difração de raios-X, utilizando amostras com diâmetro de partículas de 16 mesh.

A análise térmica das sementes foi realizada usando Analisador Termogravimétrico, TA Instruments TGA 2950. Aproximadamente 10 mg das sementes foram aquecidas até 950°C em atmosfera oxidante a uma taxa de temperatura de 20°C/min.

As características morfológicas das sementes trituradas de moringa foram obtidas usando um Microscópio Eletrônico de Varredura JEOL JMT-300. A amostra foi recoberta com uma fina camada de ouro, e uma voltagem de 20 kV foi aplicada.

Os espectros da difração de raios-X foram obtidos usando Difrátômetro de raio-X Shimadzu XRD 6000. Amostras foram expostas para raios-X ( $\lambda = 1,54060 \text{ \AA}$ ) com o ângulo  $2\theta$  variando entre 5° e 50°. A voltagem e a corrente aplicadas foram 40 kV e 30 mA, respectivamente.

### **3.2. Avaliação dos parâmetros físico-químicos**

Os estudos para avaliar o uso da moringa na remoção de metais foram feitos com as seguintes partes da semente: com a polpa e com a casca. A finalidade de tais estudos era avaliar e comparar a capacidade de adsorção dessas duas partes da semente. Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

Utilizou-se soluções padrão de 4,0 mg/L de Cd(II) e Cr(III), sendo que o teor destes foram quantificados antes e após o tratamento com as sementes de moringa. Os experimentos foram realizados à temperatura ambiente. Essas soluções foram preparadas de modo que suas concentrações estivessem acima da permitida pela legislação.

As determinações de Cd e Cr foram realizadas por meio de um espectrômetro de absorção atômica com chama da Perkin Elmer modelo AAAnalyst 400 para leituras de cromo e equipamento FAAS Varian modelo Spectra AA220 para leituras de cádmio, ambos equipados com um corretor de fundo de deutério. Foi usado como fonte de radiação lâmpadas de catodo de Cádmio e Cromo. As vazões do acetileno e do ar, bem como a altura do queimador, foram ajustadas para obter um máximo de sinal de absorbância.

### **3.3. Coleta do adsorvente**

As sementes de *Moringa oleifera* foram coletadas de árvores cultivadas na cidade de Uberlândia - MG. Inicialmente, os ensaios foram realizados separadamente com as partes das sementes de moringa (polpa e casca), a fim de arguir a eficiência da capacidade adsortiva de uma parte em relação a outra. Como estas apresentaram capacidades de biosorção semelhantes para a remoção de ambos os metais, optou-se por trabalhar com as sementes na sua forma integral.

Após secas, as sementes foram manualmente descascadas, reservando a polpa bem como a casca, dos quais foram trituradas em um liquidificador de uso doméstico. Em seguida, o pó obtido de ambas as partes das sementes foram submetidas a separação por granulometria, passando por um agitador de peneiras dos quais obteve-se diferentes tamanhos de partículas classificados pelas granulometrias principais de 16, 32 e 60 mesh.

### **3.4. Preparo do adsorvente**

Cerca de 50 g da polpa da semente *in natura* foi pré-tratada com 500 mL de solução de NaOH 0,1 mol/L por uma hora sob agitação magnética constante. Posteriormente, a referida massa foi lavada diversas vezes com água destilada para eliminação completa do excesso de

NaOH na suspensão, até neutralização do pH. Finalmente, a polpa foi filtrada e seca em estufa até peso constante. O mesmo procedimento foi adotado para a casca.

### **3.5. Estudo de variação da biomassa**

A avaliação da melhor quantidade de biomassa (polpa e casca) para adsorção efetiva dos metais, foi estudada dentro do intervalo de 500 a 2000 mg para a polpa e a casca devidamente tratadas com NaOH 0,1 mol/L tanto para o cádmio quanto para o cromo. Para tanto, a referida quantidade de biomassa pré-tratada foi agitada com 50 mL de solução de cádmio 4,0 mg/L durante 30 minutos, correspondendo ao tempo ótimo de remoção do respectivo metal determinado no teste de variação do tempo. Após agitação, o conteúdo da suspensão foi filtrado, e em seguida determinou-se a quantidade remanescente de cádmio presente no sobrenadante através da técnica analítica de espectroscopia de absorção atômica por chama (FAAS). O mesmo procedimento foi realizado substituindo o cádmio pelo cromo, considerando também 30 minutos de agitação, o tempo de contato do adsorvente com o referido metal.

### **3.6. Estudo de variação da granulometria**

Neste ensaio, soluções de 50 mL de cádmio 4,0 mg/L foram agitadas com o adsorvente nas granulometrias pré-especificadas de 16, 32 e 60 mesh e mantendo os valores de massa e tempo, pré-determinado nos testes anteriores. Após filtração, os sobrenadantes foram analisados pela técnica de FAAS. Empregou-se a mesma metodologia para o cromo.

### **3.7. Estudo de variação do pH**

Avaliou-se o efeito do pH sobre a remoção de cádmio e cromo no intervalo de 2, 4, 6, 8, 10 e 12. Utilizou-se então 50 mL de soluções dos metais em estudo com concentrações de 4,0 mg/L, mantendo-se as outras variáveis otimizadas. Após filtração, os sobrenadantes foram analisados por FAAS.

Os referidos valores de pH avaliados foram alcançados pela adição das soluções de HNO<sub>3</sub> 1,0 mol/L e NaOH 0,1 mol/L sob gotejamento em béqueres de 600 mL contendo uma alíquota das respectivas soluções dos metais sob agitação constante. Um pHmetro foi utilizado para medir o pH das soluções, sendo que após o alcance do pH desejado, as alíquotas foram transferidas para seus respectivos balões volumétricos, completando o volume ao menisco de forma com que se obtesse a concentração de 4,0 mg/L para ambos os metais.

Depois de devidamente preparadas e homogeneizadas, as soluções tiveram seus pH's aferidos com a finalidade de verificar se o pH alcançado era de fato o que realmente devia ser trabalhado.

### 3.8. Estudo de interferentes

Após a otimização dos métodos propostos, foram realizados testes de estudo referente à interferência de outros metais sobre a remoção e determinação de Cd(II) e Cr(III). Para tanto, foram preparadas uma série de soluções mistas com concentrações distintas dos metais interferentes, numa proporção definida em relação ao metal de interesse, com a finalidade de simular a situação de um efluente contaminado. Estas soluções foram agitadas com tempo, massa, granulometria e pH otimizados nos ensaios anteriores sob as mesmas condições.

A tabela 1 ilustra os metais que foram investigados juntamente com suas respectivas concentrações no estudo de interferentes do cádmio. O estudo consistiu em efetuar análises baseadas em cinco situações inerentes a proporção analito / interferentes. A primeira situação, refere-se a concentrações do cádmio com os seus interferentes em igual proporção, na segunda e terceira, as concentrações dos seus contaminantes foram respectivamente o dobro e o quádruplo da concentração deste analito, e por fim as duas últimas situações, a concentração do cádmio foi respectivamente o dobro e o quádruplo da concentração de seus interferentes.

**Tabela 01.** Concentração de  $Cd^{2+}$ , em relação as concentrações dos metais interferentes.

	$Cd^{2+}$	$Mn^{2+}$	$Cr^{3+}$	$Co^{2+}$	$Cu^{2+}$	$Ni^{2+}$	<i>Proporção Cádmio / Interferente</i>
<b>Situação 1</b>	4,0 mg/L	4,0 mg/L	4,0 mg/L	4,0 mg/L	4,0 mg/L	4,0 mg/L	1:1
<b>Situação 2</b>	4,0 mg/L	8,0 mg/L	8,0 mg/L	8,0 mg/L	8,0 mg/L	8,0 mg/L	1:2
<b>Situação 3</b>	4,0 mg/L	16,0 mg/L	16,0 mg/L	16,0 mg/L	16,0 mg/L	16,0 mg/L	1:4
<b>Situação 4</b>	8,0 mg/L	4,0 mg/L	4,0 mg/L	4,0 mg/L	4,0 mg/L	4,0 mg/L	2:1
<b>Situação 5</b>	16,0 mg/L	4,0 mg/L	4,0 mg/L	4,0 mg/L	4,0 mg/L	4,0 mg/L	4:1

No estudo de interferentes do cromo, adotou-se os mesmos procedimentos. Entretanto, para este ensaio, o cádmio passou a se tornar um contaminante sobre o metal de interesse, atuando com um interferente ao invés de analito. A tabela 02 ilustra da mesma forma, os metais que foram investigados juntamente com suas respectivas concentrações.

**Tabela 02.** Concentração de  $Cr^{3+}$ , em relação as concentrações dos metais interferentes.

	$Cr^{3+}$	$Ni^{2+}$	$Cd^{2+}$	$Co^{2+}$	$Cu^{2+}$	$Mn^{2+}$	<i>Proporção Cromo / Interferente</i>
<b>Situação 1</b>	4,0 mg/L	4,0 mg/L	4,0 mg/L	4,0 mg/L	4,0 mg/L	4,0 mg/L	1:1
<b>Situação 2</b>	4,0 mg/L	8,0 mg/L	8,0 mg/L	8,0 mg/L	8,0 mg/L	8,0 mg/L	1:2
<b>Situação 3</b>	4,0 mg/L	16,0 mg/L	16,0 mg/L	16,0 mg/L	16,0 mg/L	16,0 mg/L	1:4
<b>Situação 4</b>	8,0 mg/L	4,0 mg/L	4,0 mg/L	4,0 mg/L	4,0 mg/L	4,0 mg/L	2:1
<b>Situação 5</b>	16,0 mg/L	4,0 mg/L	4,0 mg/L	4,0 mg/L	4,0 mg/L	4,0 mg/L	4:1

### 3.9. Aplicação em amostras reais

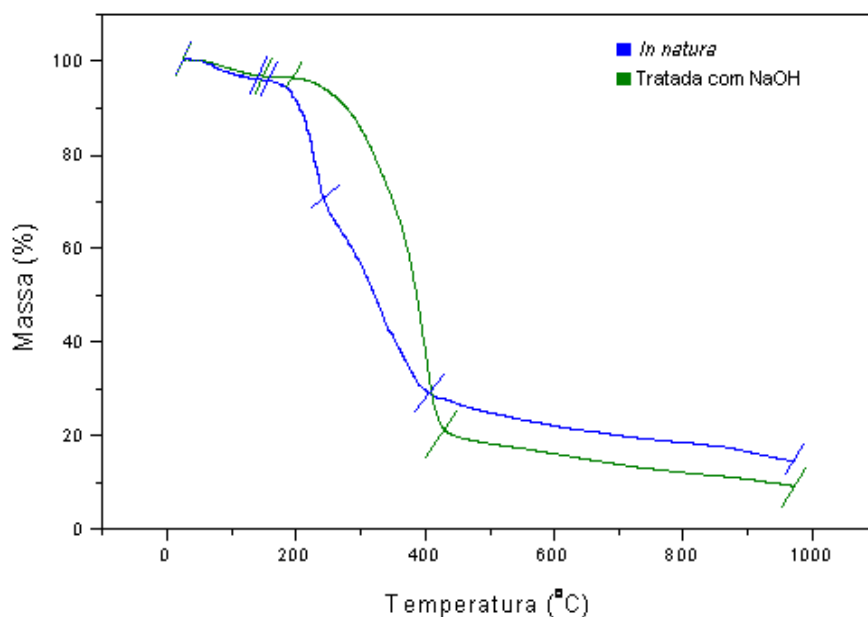
Para avaliar a capacidade das sementes de moringa na adsorção de cádmio e cromo em sistemas aquíferos, foram realizados ensaios, dos quais estudou-se o efeito do biosorvente em diferentes amostras de água, que foram coletadas na cidade de Catalão – GO. Essas amostras de água foram obtidas dos seguintes pontos de coleta: três locais distintos do ribeirão Pirapitinga, que corta o sítio urbano da cidade de Catalão e uma amostra de água potável tratada pela empresa de saneamento local (ponto 4), coletada em um residência. Todas essas amostras foram agitadas com o adsorvente sobre as condições otimizadas neste trabalho.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Caracterização físico-química

Estudos de caracterização da polpa triturada das sementes de *Moringa oleifera*, são de grande valia na interpretação e abordagens no que tange à elucidação dos resultados associados às propriedades adsorptivas desse biomaterial.

A análise termogravimétrica de uma amostra gera como resultado uma curva de decomposição térmica fornecendo uma razão quantitativa da perda de massa do material em função da temperatura, de onde se pode extrair informações a respeito da sua estabilidade térmica. A Figura 2, ilustra os resultados obtidos para análise termogravimétrica das sementes de moringa *in-natura* e sob tratamento com NaOH 0,1 mol/L.

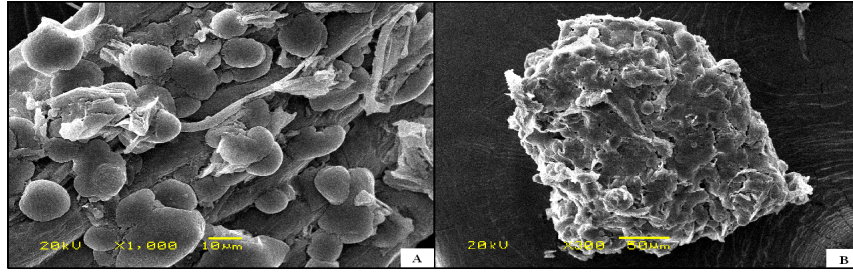


**Figura 2.** Termogramas da polpa da moringa *in-natura* e tratada com NaOH.

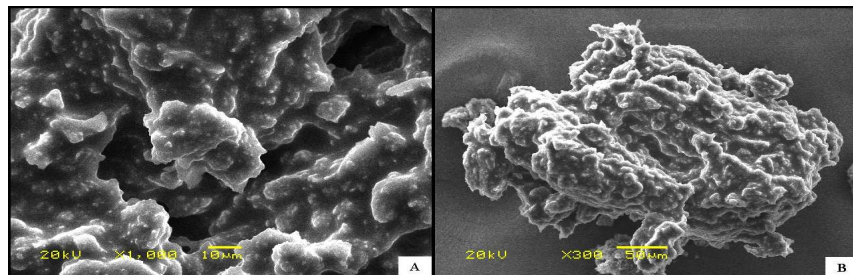
As etapas de decomposição térmica, revelam que entre 50 e 200°C ocorre, respectivamente perda de massa em cerca de 10% e 5% para a polpa da moringa *in-natura* e modificada com NaOH, devido a eliminação de água adsorvida na superfície do material. Na faixa de temperatura entre 200 e 260°C, observa-se maior perda de massa para a polpa *in-natura*, em torno de 32% em relação aos respectivos 7,0% para a polpa tratada com NaOH. Nesta faixa de temperatura ocorre eliminação da água de constituição e a decomposição da celulose e hemicelulose. Sob temperaturas superiores (400 a 950°C) constata-se a decomposição de praticamente todo material orgânico constituinte da polpa da moringa *in-natura* (85%) e modificada com NaOH (90%) [8,9].

As Figuras 3 e 4 apresentam as micrografias eletrônicas de varredura da polpa da moringa *in-natura* e tratada com NaOH, respectivamente. Constatam-se pelas figuras que o material biosorvente apresenta uma matriz complexa com distribuição heterogênea relativamente porosa. Com relação às micrografias eletrônicas de varredura, verifica-se que o tratamento das sementes de moringa com NaOH (Figura 4) aumenta a porosidade do material, tornando a polpa da moringa mais expostas para a adsorção de espécies metálicas. A mudança da morfologia da superfície da moringa tratada é também resultado da remoção superficial de alguns componentes estruturais como carboidratos, proteínas, lignina e em menor proporção alguns ácidos graxos. Estas observações reforçam a hipótese de que o tratamento com NaOH 0,1 mol/L pode melhorar as características adsorptivas da moringa[9].



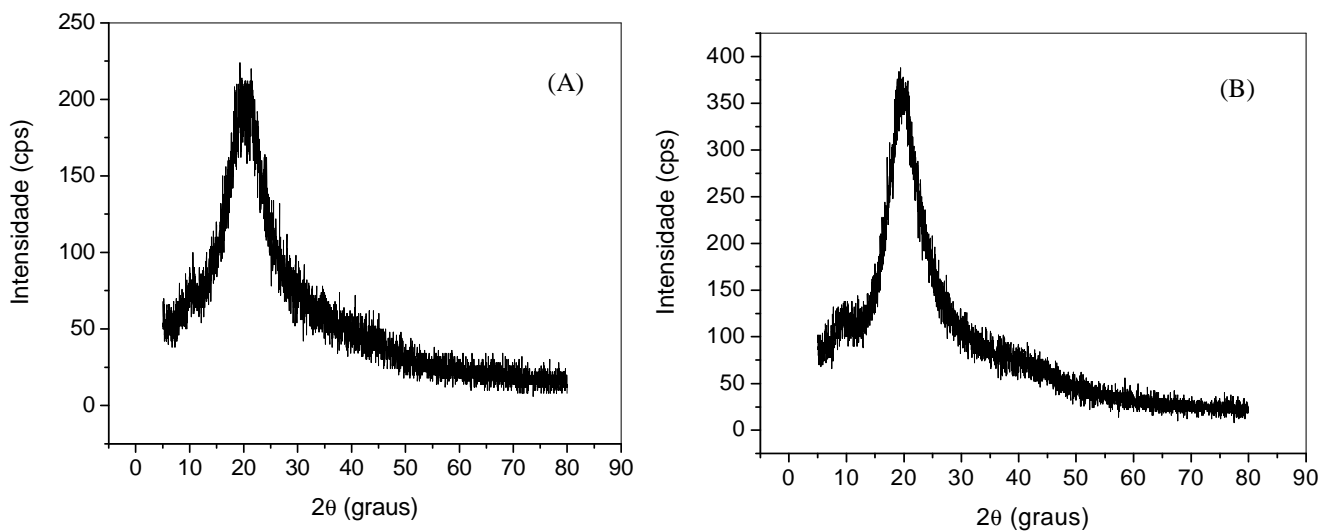


**Figura 3.** Fotomicrografias eletrônicas de varredura da moringa *in-natura*. Figura (A) foi ampliada 1000 vezes e a (B) 300 vezes.



**Figura 4.** Fotomicrografias eletrônicas de varredura da moringa tratada com NaOH. Figura (A) foi ampliada 1000 vezes e a (B) 300 vezes.

Nas Figuras 5A e 5B, observa-se os espectros da difração de raios-X para a polpa da moringa *in-natura* e tratada com NaOH respectivamente. Os resultados obtidos são muito similares àqueles encontrados em fibras lignocelulósicas [10], entretanto os padrões apresentam sinais mal resolvidos, com predominância de um aspecto amorfo.

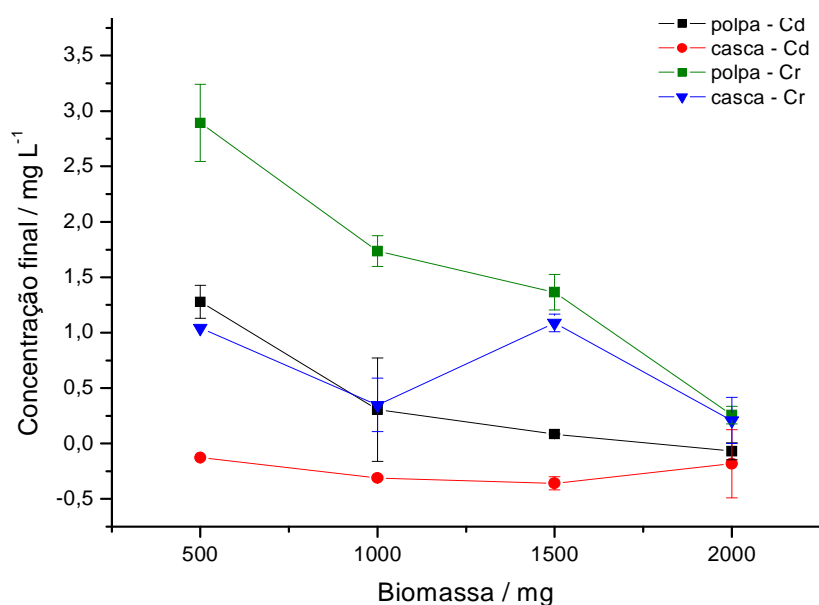


**Figura 5.** Difratomogramas de raios-X da polpa da semente da moringa (A) *in-natura* e (B) tratada com NaOH.

Analisando a Figura 5A, é possível separar um pico largo em  $2\theta$  igual a  $10^\circ$ . A presença deste pico provavelmente está associada à difração do constituinte protéico envolta a outros componentes que apresentam um padrão mais amorfo, enquanto que o pico em torno de  $22,75^\circ$  é referente à estrutura cristalina da celulose nativa. Já no espectro de difração de raios-X da polpa da moringa tratada com NaOH (Figura 5B), nota-se um aumento na intensidade destes picos, mostrando que houve um aumento da cristalinidade do material. Pode ser observado que o pico em torno de  $2\theta$  igual a  $10^\circ$ , a intensidade aumentou cerca de 50 cps em relação ao material *in natura*, e em torno de  $20^\circ$  o pico aumentou ainda mais sua intensidade, tendo um acréscimo em torno de 125 cps, o que define que o material tornou mais organizado estruturalmente depois do seu pré-tratamento com NaOH 0,1 mol/L.

#### 4.2. Estudo de variação da biomassa

Os resultados das análises da variação da biomassa na melhor adsorção de cádmio e cromo podem ser observadas na Figura 6, onde a quantidade de polpa e casca tratadas com NaOH 0,1 mol/L empregadas nos testes com os respectivos metais variou de 500, 1000, 1500 e 2000 mg.



**Figura 6.** Estudo da variação da biomassa na adsorção de Cd(II) e Cr(III)

Os resultados apontam uma maior remoção de cádmio e cromo com o aumento da massa da polpa das sementes de moringa utilizado nos ensaios, chegando a atingir uma remoção completa de cádmio (101%) quando se utilizam 2000 mg da polpa das sementes. A

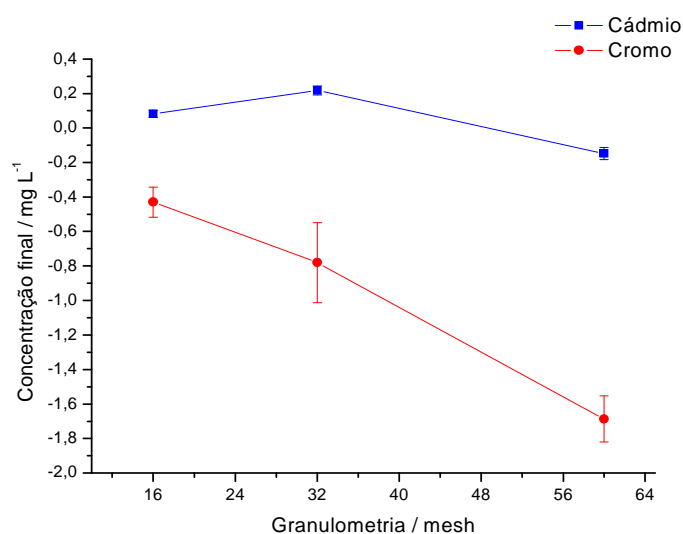
remoção de cromo nas mesmas condições foi da ordem de 93,6% mostrando bastante eficiência no processo de adsorção para ambos os metais.

A atividade adsortiva por parte da casca das sementes sobre a remoção dos mesmos, também demonstram resultados bastante relevantes, com completa remoção de cádmio utilizando apenas 500 mg da casca devidamente tratada. O cromo por sua vez, necessitou de uma maior quantidade de casca para se obter uma remoção superior a 90%, sendo que nesse caso, pôde-se atingir uma média de 94,7% da diminuição da concentração de cromo em solução empregando 2000 mg de casca nas condições pré-estabelecidas.

Como ambas as partes das sementes apresentaram alta eficiência na capacidade de adsorção tanto do cádmio quanto para o cromo em valores bastante próximos, decidiu-se utilizar as sementes integrais sob as condições de pré-tratamento com NaOH 0,1 mol/L e 30 minutos de agitação dos quais foram otimizados nos testes anteriores, para então proceder a otimização dos próximos parâmetros. Para tanto, tomou-se como quantidade ótima para remoção de ambos os metais 2000 mg das sementes na sua forma integral.

#### 4.3. Estudo de variação da granulometria

O próximo estudo baseou-se no fato de como a granulometria do material biosorvente pode agir sobre a remoção dos metais. A figura 7 descreve os resultados obtidos com a variação do tamanho do diâmetro da partícula, definidas pelas classificações das malhas granulométricas, dos quais foram utilizadas as granulometrias de 16 mesh (600  $\mu\text{m}$ ), 32 mesh (300  $\mu\text{m}$ ) e 60 mesh (250  $\mu\text{m}$ ) para proceder os ensaios.

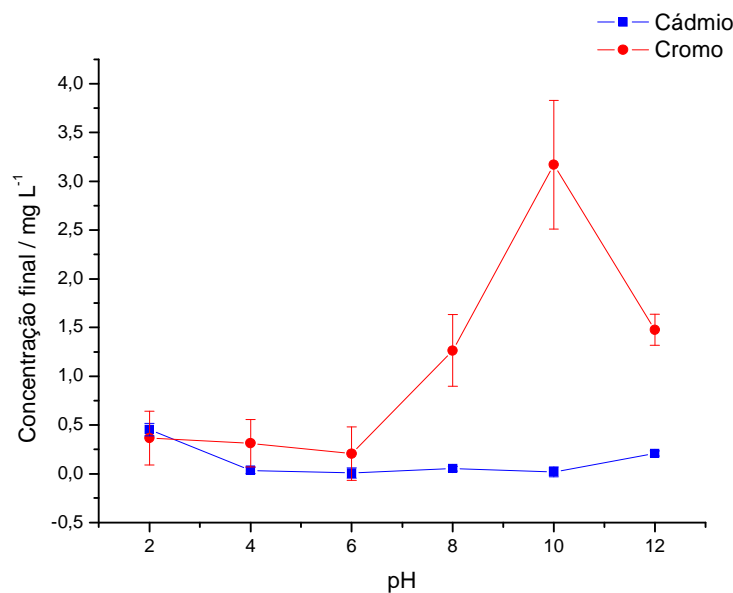


**Figura 7.** Estudos da variação da granulometria na adsorção de Cd(II) e Cr(III)

Observa-se remoção total do teor de cádmio e cromo presente em solução, principalmente da remoção de cromo em relação ao cádmio. Entretanto os resultados mostram claramente que independente do metal, pode-se atingir um remoção superior a até 100% com a diminuição da granulometria do material, isso porque a diminuição das dimensões da partícula promove um maior aumento da área superficial do biosorvente em contato com os metais, e conseqüentemente exibem um maior número de sítios ativos, fazendo com que sua capacidade adsortiva seja ainda mais aprimorada.

#### 4.4. Estudo de variação do pH

Avaliou-se também o efeito do pH sobre o processo de adsorção das sementes de *Moringa oleifera* tratadas com NaOH 0,1 mol/L na remoção de cádmio e cromo em sistemas aquosos, como meio simulador de um efluente contaminado. O intervalo de pH avaliado está compreendido dentro da faixa 2 à 12 em valores pares, e os resultados obtidos estão ilustrados na Figura 8.



**Figura 8.** Estudo do efeito do pH sobre a adsorção de Cd(II) e Cr(III)

É perceptível uma diminuição da concentração do teor de metais em solução quando o pH aumenta de 2 a 6, mostrando que em condições de pH próximos a neutralidade tem-se uma melhor remoção, principalmente se tratando da adsorção do cádmio. Conseguem-se atingir de forma bastante satisfatória uma remoção da ordem de 99,8% do conteúdo total de cádmio em pH igual a 6, o que apresenta boa concordância com a literatura (SHARMA, 2006), uma vez

que a maioria dos aminoácidos presente nas sementes de moringa apresentam ponto isoelétrico entre pH 4 e 8, e dentro dessas condições, tem-se que 90% dos aminoácidos encontram-se no estado ionizado, sugerindo uma interação mais efetiva do complexo metal-ligante [11].

Observa-se também que o aumento do pH do meio não provoca mudanças significativas em sua remoção, permanecendo um valor praticamente estacionário mesmo em altas condições de alcalinidade. Tal fato foi observado de forma diferente nos resultados obtidos para o cromo, que por sua vez, segue um comportamento similar até pH 6 com 94,8% de remoção, sendo este mais um resultado consistente com a alta capacidade adsorviva das sementes, entretanto quando se aumenta o pH do meio, observa-se uma queda da quantidade de cromo removida principalmente em pH 10, revelando que nessa condição tem-se um efeito contrário. Esse efeito é justificado pela formação concomitante da espécie  $\text{Cr}(\text{OH})^{2+}$  presente em solução, responsável pelo baixo nível de cromo adsorvido, além da interferência de íons  $\text{Na}^+$  oriundos do pré-tratamento do biosorvente. Já em pH 12, observa-se um maior efeito favorável na remoção do referido metal por adsorção do biosorvente. Para tanto, considerou-se o valor de pH 6 como ideal para remoção de ambos os metais.

#### 4.5. Estudo de interferentes

Após a otimização dos parâmetros, tais variáveis foram utilizadas para avaliar o comportamento da atividade adsorviva das sementes de moringa na presença de outros metais, atuando como interferentes em diferentes concentrações. O estudo foi conduzido baseado em cinco situações distintas referentes a proporção metal/contaminante, conforme descrito no item 3.8, onde se pode observar os seguintes resultados, dos quais são mostrados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Estudos de interferentes na remoção de Cd(II) e Cr(III)

<i>Situação</i>	<i>Proporção Analito / Interferente</i>	<i>% Remoção de Cd(II)</i>	<i>% Remoção de Cr(III)</i>
1	1:1	10,66 ± 0,28	90,92 ± 1,71
2	1:2	6,19 ± 2,29	68,65 ± 0,09
3	1:4	3,83 ± 0,41	55,38 ± 0,31
4	2:1	41,48 ± 5,57	63,65 ± 4,21
5	4:1	38,90 ± 0,65	43,55 ± 1,65

O resultados revelam que ocorre um processo de adsorção competitiva entre os metais quando estes se encontram simultaneamente presentes em um meio de sistema aquoso, como verdadeiramente acontece em um efluente contaminado.

Pode-se afirmar que o cádmio sofre bem mais interferência de outros metais para ser adsorvido do que o cromo, porém nota-se que a maior afinidade do biosorvente pelo cromo somente acontece quando este se encontra em níveis de concentração semelhantes a concentração de outros metais (situação 1). Já a remoção de cádmio não foi tão significativa na presença de outros metais interferentes, principalmente quando está a uma proporção menor em relação aos metais contaminates. Uma remoção razoável de cádmio acontece quando o teor do referido metal em solução se encontra em maior concentração do que os outros metais, como se pode observar nas situações 4 e 5.

#### 4.6. Aplicação em amostras reais

Para validar a aplicabilidade do método analítico baseado na capacidade adsorviva das sementes de moringa na remoção de cádmio e cromo, quatro amostras de águas naturais coletadas de diferentes pontos foram utilizadas. A quantificação do teor dos metais presentes nas amostras se deu por via adição de padrão, no qual adicionou-se um volume adequado de cada padrão às amostras de forma com que se obtesse a concentração de 4,0 mg/L tanto para o cádmio quanto para o cromo.

É perceptível que a remoção de ambos os metais contidos nas amostras em todos os pontos de coleta apresentaram valores bastante próximos, superando a ordem de 90% em relação a solução controle, cuja amostra não foi submetida ao tratamento com as sementes de moringa. A Tabela 4 exhibe os resultados obtidos.

**Tabela 4.** Resultados da remoção de Cd(II) e Cr(III) em amostras reais empregando a metodologia de biosorção desenvolvida.

	[Cádmio] / mg L <sup>-1</sup>			[Cromo] / mg L <sup>-1</sup>		
	Controle	Amostra	% Remoção	Controle	Amostra	% Remoção
<b>Ponto 1</b>	3,9798	0,1580 ± 0,0231	96,0	3,2564	-0,7090 ± 0,1039	121,7
<b>Ponto 2</b>	4,1121	0,1923 ± 0,0161	95,3	3,0000	-0,7630 ± 0,0688	125,4
<b>Ponto 3</b>	4,0376	0,1735 ± 0,0120	95,7	3,1709	-0,7810 ± 0,0426	124,6
<b>Ponto 4</b>	4,0890	0,1673 ± 0,0046	95,9	3,0000	-0,7763 ± 0,1046	125,8

## 5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho evidenciaram que as sementes de *Moringa oleifera* constitui uma alternativa em potencial bastante promissora para remoção de metais como cádmio e cromo em soluções aquosas por mecanismo de biosorção. O procedimento proposto é simples, de baixo custo e concorre para minimização de impactos ambientais. Tal metodologia analítica comprova sua eficácia relacionada a química limpa, tendo sua aplicação bem sucedida na remoção de cádmio e cromo em sistemas aquíferos, com resultados satisfatórios.

Os parâmetros otimizados em cada ensaio para os quais se obtém remoção de ordem superior a 90% para ambos os metais são: pré-tratamento de 2000 mg sementes de moringa com NaOH 0,1 mol/L, tempo de contato com os metais igual 30 min, granulometria de 60 mesh e pH igual a 6.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COELHO, N. M. M.; MENDES, F.M.; PAULA, L.O.; SILVA, C.A. Uso da *Moringa oleifera* para remoção de flúor em águas. **Revista Analytica**, v.21, n. 2, p. 72-75, 2006.
2. ALBERTINI, S.; CARMO, L. F.; PRADO FILHO, L.G. Utilização de serragem de cana-de-açúcar para adsorção de cádmio. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, 27(1): 113-118, jan.-mar. 2007
3. COUTINHO, H. D.; BARBOSA, A. R. Fitorremediação: Considerações Gerais e Características de Utilização, **Silva Lusitana** 15(1): 103 - 117, 2007 © EFN, Lisboa. Portugal
4. BAILEY, S. E.; *et al.* A review of potentially low-cost sorbents for heavy metals. **Water Research**, v. 33, pg. 2469-2479, 1999.
5. BHATTI, H. N.; MUMTAZ, B.; HANIF, M. A.; NADEEM, R. Removal of Zn(II) ions from aqueous solution using *Moringa oleifera* Lam. (horseradish tree) biomass. **Process Biochemistry**, v. 42, p. 547–553, 2007.
6. BRITO, E. S. et al., Avaliação química e estrutural da semente de moringa. **Revista Ciência Agronômica**, 2006, Universidade Federal do Ceará – CE, v. 37, p. 106 – 109.
7. ARAUJO, C. S. T. **Desenvolvimento de metodologia analítica para extração e pré-concentração de Ag(I) utilizando a *Moringa oleifera* Lam.** 2009. Tese (doutorado em Química Analítica) – Instituto de Química de Uberlândia. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.
8. ALVES, V. N.; MOSQUETTA, R.; COELHO, N.M.M; BIANCHINI, J. N.; ROUX, K. C.; MARTENDAL, E.; CARASEK, E. Determination of cadmium in alcohol fuel using *Moringa oleifera* seeds as a biosorbent in an on-line system coupled to FAAS. **Talanta** 80 (2010) 1133–1138
9. ANWAR, F.; RASHID, U. Physico-chemical characteristics of *Moringa oleifera* seeds and seeds oil from a wild provenance of Pakistan. **American Journal of Botany**, v. 39, p. 1443-1453, 2007.
10. OLIVEIRA, A. K. F.; d'ALMEIDA, J. R. M. **Caracterização da fibra de umbuçu como elemento para fabricação de Ecocompósitos.** Pontifícia Universidade Católica – RJ 2008 – 2009.
11. SHARMA, P.; KUMARI, P.; SRIVASTAVA, M. M.; SRIVASTAVA, S. Removal of cadmium from aqueous system by shelled *Moringa oleifera* Lam. seed powder. **Bioresource Technology**, v. 97, p. 299-305, 2006.