

# Utilização de cinza de casca de arroz na remoção de cromo hexavalente

## *Utilization of rice husk in the removal of hexavalent chromium*

**Amanda Gonçalves Kieling**

Engenheira de Alimentos, Mestre em Engenharia Civil, PPGECC – UNISINOS  
Av. Unisinos, 950, 93022-000, São Leopoldo, RS, Brasil  
amandakieling@hotmail.com.br

**Carlos Alberto Mendes Moraes**

Prof. Dr. PPGECC – UNISINOS  
Av. Unisinos, 950, 93022-000, São Leopoldo, RS, Brasil  
cmoraes@unisinos.br

**Feliciane Andrade Brehm**

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> PPGECC – UNISINOS  
Av. Unisinos, 950, 93022-000, São Leopoldo, RS, Brasil  
felicianeb@unisinos.br

## Resumo

A crescente preocupação das indústrias em tratar seus efluentes somada à busca por adsorventes de baixo custo justificam a proposta deste estudo que visa avaliar a potencialidade de aplicação de cinza de casca de arroz (CCA) na adsorção de cromo hexavalente. A CCA foi gerada a partir do processo de queima de casca de arroz para aproveitamento energético. As amostras de cinzas foram submetidas ao processo de moagem e caracterizadas através de parâmetros físicos, químicos e microestruturais. Os ensaios de adsorção foram realizados com solução padrão de Cr(VI) com concentração inicial de 25ppm. As variáveis analisadas foram: granulometria de adsorvente, pH e tempo de contato. A quantificação de Cr(VI) residual foi realizada através do método colorimétrico da 1,5-difenilcarbazida. Nos ensaios de adsorção observou-se que as taxas de remoção de Cr(VI) variaram de 25 a 84%, demonstrando a potencialidade de aplicação de CCA na adsorção de Cr(VI) quando ajustados os parâmetros do processo.

**Palavras-chave:** cinza de casca de arroz, adsorção, cromo hexavalente.

## Abstract

The growing concerns for treating effluents oblige the industries for searching low cost adsorbents. As a result of that, the present work is justified, which has the aim of evaluate the potentiality of rice husk ash (RHA) in the adsorption of hexavalent chromium. The RHA was obtained from the burning process of rice husk to generate energy. Ash samples were grinded and characterized through physical, chemical and micro structural parameters. The adsorption tests were carried out using standard solution of Cr (VI) with 25 ppm of initial concentration. The analyzed variables were: adsorbent granulometry; pH and contact time. The quantification of Cr (VI) was carried out via colorimetric method of 1.5-diphenylcarbazide. During the tests it was observed that the removal rate of Cr (VI) varied from 25 to 84%. These results demonstrated the potentiality of RHA application in the adsorption of Cr (VI) when the process parameters are well adjusted.

**Key words:** rice husk ash, adsorption, Chromium (VI).

## 1. Introdução

O aumento das atividades industriais tem intensificado o problema da poluição do meio ambiente e a deterioração dos ecossistemas pelo acúmulo de metais pesados, que são frequentemente lançados nos

ambientes aquáticos através de várias fontes, como as indústrias de fundição, têxteis, curtumes, microeletrônica, fertilizantes, pesticidas e indústria da mineração (Alpatova *et al.*, 2004).

A contaminação das águas por metais pesados tem se tornado um problema crescente ao meio ambiente e à saúde das pessoas em função da alta toxicidade e não biodegradabilidade destas espécies, mesmo em baixas concentrações (Baroni *et al.*, 2005).

O cromo apresenta diversas aplicações industriais, incluindo o seu emprego no processo de curtimento de couros, na preservação de madeiras, como pigmentos, inibidor de corrosão, etc (Matos, 2006). No entanto, a vasta utilização do cromo e seus compostos pelas indústrias modernas resulta na descarga de grandes quantidades desse elemento no ambiente. As principais fontes de contaminação com íons cromo são efluentes de indústrias de galvanização e curtumes (Francischetti, 2004).

Os íons de cromo podem ser encontrados em diferentes estados de oxidação, sendo as formas trivalente e hexavalente os estados mais encontrados na natureza e, conseqüentemente, os mais presentes em efluentes aquáticos (Baroni *et al.*, 2005). Devido à sua alta toxicidade comprovada por sua ação carcinogênica, efluentes contendo cromo hexavalente não podem ser descartados diretamente em mananciais aquíferos ou em rede de esgoto (Ruotolo e Gubulin, 2003).

Diante de uma política ambiental cada vez mais severa, na qual se tem buscado o estabelecimento de padrões de concentração cada vez menores para os poluentes presentes nos efluentes, as indústrias têm sido levadas a ajustar os processos existentes, por meio da adoção de procedimentos que visam a menor geração ou a remoção de elementos tóxicos dos seus efluentes industriais (Jimenez *et al.*, 2004).

A adsorção é uma operação unitária que envolve o contato entre uma fase fluida e uma sólida, originando uma transferência de massa da fase fluida para a superfície do sólido ocorrendo uma tendência de acumulação de uma substância sobre a superfície da outra (Francischetti, 2004). Segundo Pino (2005), a adsorção é um fenômeno físico-químico de grande importância devido a suas múltiplas aplicações na indústria.

As formas de adsorção de um metal pesado por troca catiônica ou adsorção não específica dependem das propriedades do metal (valência, grau de hidratação e coordenação com o oxigênio), pH, condições de oxi-redução, natureza do adsorvente, das concentrações e propriedades de outros metais presentes, e da presença de ligantes solúveis (Pinto, 2005).

O uso de carvão ativo na redução de metais pesados em efluentes tem mostrado bons resultados, mas é considerado um tratamento caro. Segundo Santiago *et al.* (2005), isto ocorre porque os processos de produção industrial de carvão ativado consistem em projetos de alto investimento envolvendo ativação física a elevadas temperaturas e pressão, sob condições controladas.

Alguns materiais não convencionais com menor custo estão sendo estudados para a mesma função. A cinza de casca de arroz por ser insolúvel em água, apresentar uma boa estabilidade química, ter alta resistência e possuir uma estrutura granular e porosa, apresenta-se como um bom material adsorvente para o tratamento de metais pesados em efluentes (Nghah e Hanafiah, 2008).

Desta forma, o uso de cinza de casca de arroz como material adsorvente tem despertado o interesse de pesquisadores, visto que os adsorventes comerciais, como o carvão ativo, apresentam um custo bastante elevado (Srivastava *et al.*, 2008). Por outro lado, a possibilidade de aproveitamento da cinza de casca de arroz é extremamente significativa para o Brasil, e em particular para o Rio Grande do Sul, que apresenta uma geração potencial superior a 300 mil toneladas de cinza de casca de arroz por ano a partir do aproveitamento energético de casca de arroz (Kieling, 2009).

É importante destacar que algumas pesquisas (Wang e Lin, 2008; Rozainee *et al.*, 2008) realizam a calcinação da casca de arroz em condições controladas e depois estudam as características e a eficiência de adsorção das cinzas produzidas. Estes estudos seguem a linha de desenvolvimento de processo para obtenção do adsorvente com matéria prima de baixo custo.

Mais recentemente, um grupo de pesquisadores (Srivastava *et al.*, 2006, 2008; Bhattacharya *et al.*, 2006; Naiya *et al.*, 2009) estudaram a eficiência de adsorção de cinza residual, ou seja, oriundas da queima da casca de arroz para produção de energia em empresas. Entende-se que estas pesquisas por sua vez objetivam o aproveitamento de um resíduo industrial na busca de adsorventes de baixo custo.

A remoção de cromo (VI) tem sido estudada com diferentes tipos de adsorventes. Ao avaliar diferentes estudos, Cossich (2000) coloca que em todos os casos o pH da solução teve uma influência muito grande na capacidade de remoção do cromo (VI), sendo que as maiores remoções de cromo foram obtidas em pH 2,0. Neste sentido, Francischetti (2004) coloca que a remoção de cromo (VI) depende da sua concentração inicial, da dosagem do adsorvente e do pH.

Recentemente, o uso de adsorventes de baixo custo tem sido considerado uma ótima alternativa para a remoção de cromo alcançando-se concentrações abaixo do limite de detecção. Estas pesquisas incentivam a proposta deste trabalho quanto ao uso de cinza de casca de arroz na remoção de cromo hexavalente. Neste contexto, este trabalho visa avaliar a potencialidade de aproveitamento de cinza de casca de arroz na remoção de cromo hexavalente.

## **2. Materiais e Métodos**

### **2.1 Cinza de casca de arroz**

A cinza de casca de arroz (CCA) utilizada neste trabalho é resultante do processo de combustão em caldeira de uma empresa que utiliza casca de arroz como combustível. Neste sistema contínuo a casca de arroz é alimentada automaticamente, modulada de acordo com a pressão de vapor da caldeira. O material atravessa por meio de uma grelha deslizante a fornalha que está a 900°C durante 9 minutos. A velocidade da grelha altera conforme a quantidade de casca que está sendo alimentada, bem como a vazão de ar que entra no sistema.

### **2.2 Segregação**

A segregação dos resíduos é uma técnica amplamente aplicada com resíduos industriais, pois tem como finalidade evitar a mistura de materiais, oportunizando um melhor aproveitamento dos mesmos. Desta

forma, a segregação foi realizada com o objetivo de retirar partículas que pudessem estar contaminando o restante da amostra, bem como evidenciar diferenças nas características das frações segregadas em relação à amostra como um todo. A segregação foi realizada por agitador de peneiras durante 5 minutos utilizando apenas duas malhas de peneira (1,2 mm e 0,6 mm) resultando nas Frações A (retida na peneira 1,2mm), B (retida na peneira 0,6mm) e C (passante na peneira 0,6mm).

## 2.3 Moagem

Tendo em vista a influência da área superficial específica do adsorvente nos ensaios, foram realizados ensaios com a amostra de CCA e frações segregadas (A, B e C) antes do processo de moagem e após processo de moagem. O processo foi executado a seco, em moinho excêntrico modelo CB2-T, composto por duas jarras de porcelana e esferas de alumina com diâmetros de 2 cm, durante 2 horas.

## 2.4 Caracterização físico-química

A caracterização química, física e microestrutural de um resíduo sólido é considerada fundamental para avaliar a viabilidade de reciclagem do mesmo. Neste trabalho serão consideradas apenas as características relevantes para a aplicação da cinza de casca de arroz como material adsorvente. Salienta-se que a caracterização detalhada do material foi realizada por Kieling (2009).

As amostras foram submetidas a ensaios de perda ao fogo e analisadas quanto ao teor de sílica presente. A microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizada utilizando o equipamento Shimadzu SSX-550 antes do processo de moagem e após o processo de moagem. Após a moagem as amostras foram submetidas às análises de área superficial específica e de distribuição granulométrica. A superfície específica BET foi determinada pelo equipamento BET Surface Área Analyser - Versão 1.24 - Quanta-Chrome Corporation. Para distribuição granulométrica empregou-se o analisador de distribuição de tamanho de partículas CILAS 1064 *Líquid*.

## 2.5 Ensaios de adsorção

Os ensaios de adsorção foram realizados com solução padrão de Cr(VI). A solução padrão estoque de concentração de 1000 mg de Cr/L (1000 ppm) foi preparada a partir de 2,83g de dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ), previamente seco em estufa à temperatura 140°C, em 1 litro de água deionizada. A partir da diluição da solução padrão estoque em água deionizada foram preparadas soluções com diferentes valores de pH e com concentração de 25 ppm.

O sistema composto de 10 mL de solução do metal com concentração de 25ppm e adsorvente foi mantido em repouso a uma temperatura de 20°C. A concentração de adsorvente empregada em todos os ensaios foi de 10 g/L. Nos ensaios de adsorção foram avaliados os seguintes parâmetros:

- **pH:** Os valores de pH avaliados foram de 1, 1,5; 2 e 3, visto que a literatura apresenta o favorecimento do processo de adsorção de cromo hexavalente em valores de pH inferiores a 4. Para o ajuste do pH das soluções foram utilizadas soluções 0,1N e 1N de ácido clorídrico (HCl). Salienta-se que somente o pH inicial foi ajustado, não sendo feitas correções ao longo do processo de remoção. Nesta etapa foi

utilizada a amostra de CCA integral moída.

- **Granulometria do Adsorvente:** Após determinação do pH mais adequado, foram realizados ensaios com a amostra de CCA e frações A, B e C antes do processo de moagem (CCA, Fração A, Fração B e Fração C) e após processo de moagem (CCA-M, Fração A-M, Fração B-M e Fração C-M), totalizando 8 amostras aplicadas como adsorvente nos ensaios de tempo de contato.
- **Tempo de contato:** O sistema solução/adsorvente, em pH 1, permaneceu em contato durante 1, 2, 3 e 4 horas. Depois de transcorrido estes tempos de contato, o material adsorvente foi filtrado em papel filtro qualitativo Celab e o cromo residual da solução quantificado.

Após a filtração do sistema solução/adsorvente, uma alíquota de 1mL da solução foi transferida para balão volumétrico de 100mL, sendo diluída com ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) 0,2N. A quantificação de Cr (VI) residual nas soluções após contato com o material adsorvente foi realizada conforme descrito no *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998). Trata-se de um método colorimétrico apropriado para determinar concentrações entre 0,1 a 1 ppm de cromo hexavalente, sendo necessária uma prévia complexação do metal para posterior leitura da concentração em espectrofotômetro UV-visível marca Fempto, utilizando o comprimento de onda de 540 nm.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Caracterização físico-química

Na Tabela 1 são apresentados os resultados da caracterização físico-química realizada com as amostras aplicadas como adsorvente.

Tabela 1: Caracterização físico-química da CCA e Frações.

	CCA	Fração A	Fração B	Fração C
Sílica (%) <sup>1</sup>	90,58	82,07	88,23	92,02
Perda ao Fogo (%) <sup>1</sup>	7,65	19,08	10,71	5,77
Outros constituintes (%) <sup>1</sup>	1,86	1,89	1,91	2,23
Diâmetro Médio da partícula( $\mu m$ ) <sup>2</sup>	5,83	5,39	4,52	6,17
Área Superficial específica ( $m^2/kg$ ) <sup>2</sup>	26610	26530	33110	20970

<sup>1</sup> base seca

<sup>2</sup> resultados referentes às amostras após processo de moagem

Fonte: Kieling (2009), adaptado.

É importante salientar que o aumento do teor de sílica na cinza de casca de arroz está relacionado, conforme Pouey (2006), com o valor de Perda ao Fogo que é menor em amostras com percentuais elevados de sílica. Para a amostra CCA e suas frações segregadas foram observadas variações para o teor de sílica. Os resultados demonstram que, à medida que a granulometria das partículas de cinza diminui, o valor de perda ao fogo diminui e o teor de sílica aumenta, corroborando com Pouey (2006).

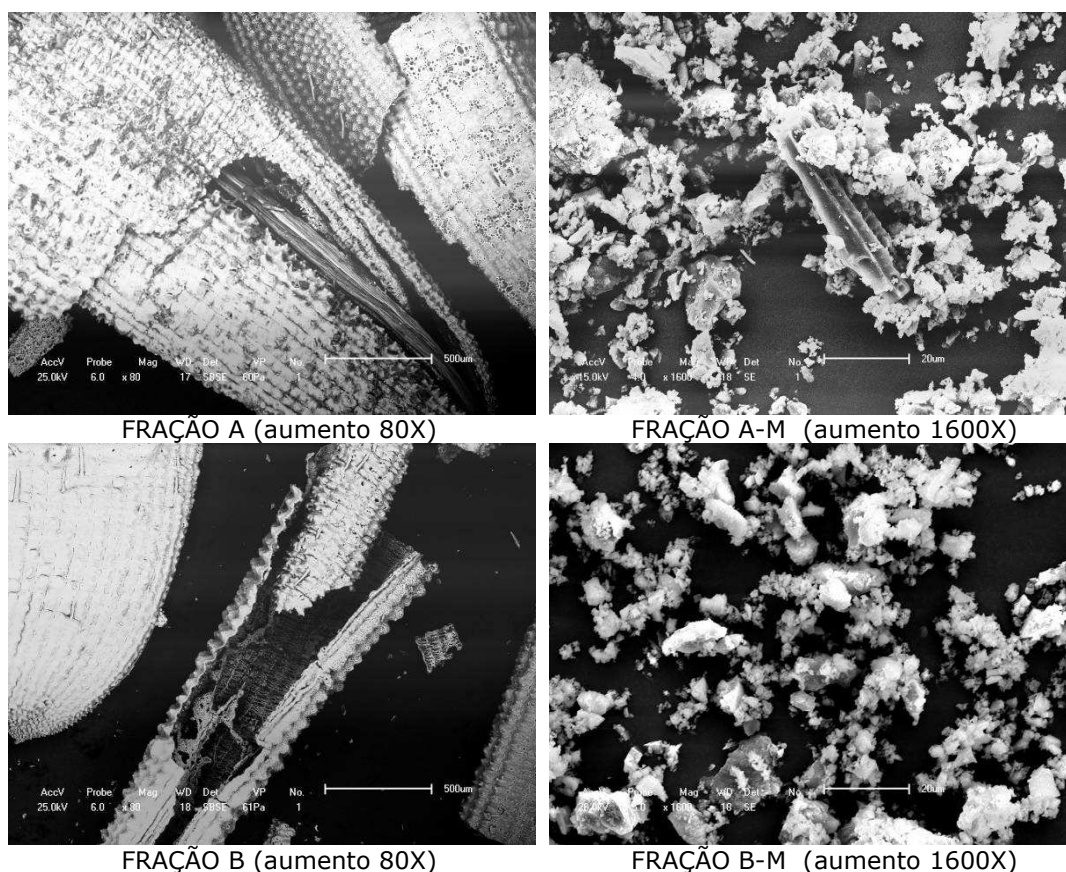
Além disto, observa-se que as frações segregadas apresentam diferenças quanto aos valores encontrados para área superficial e diâmetro médio de partícula, mesmo sendo submetidas ao mesmo

tempo de moagem. Conforme apresentado em Rodrigues (2004) o diâmetro médio está relacionado com a área superficial e ambos dependem das condições do processo de queima. Desta forma, observa-se que as frações segregadas apresentam diferenças quanto aos valores encontrados para área superficial e diâmetro médio visto que no processo de queima em grelha deslizante as cascas podem atingir temperaturas distintas.

Para Rodrigues (2004), entre 600 e 900°C, o diâmetro médio aumenta com o aumento da temperatura, enquanto a área superficial diminui devido ao colapso da microporosidade. Neste aspecto, a Fração B, que tem uma estrutura menos degradada, apresenta diâmetro médio menor e área superficial maior do que a Fração C que por sua vez encontra-se mais finamente dividida e degradada, sugerindo que a mesma tenha atingido temperaturas mais elevadas durante a queima.

Conforme Barros (2001), a área superficial e o tamanho da partícula estão entre os principais fatores que interferem no processo de adsorção. Quanto menor o tamanho das partículas, maior é a área superficial disponível, ou superfície de contato, resultando em maior adsorção.

A morfologia das frações obtidas no processo de segregação da amostra CCA antes e após o processo de moagem são apresentadas na Figura 1.



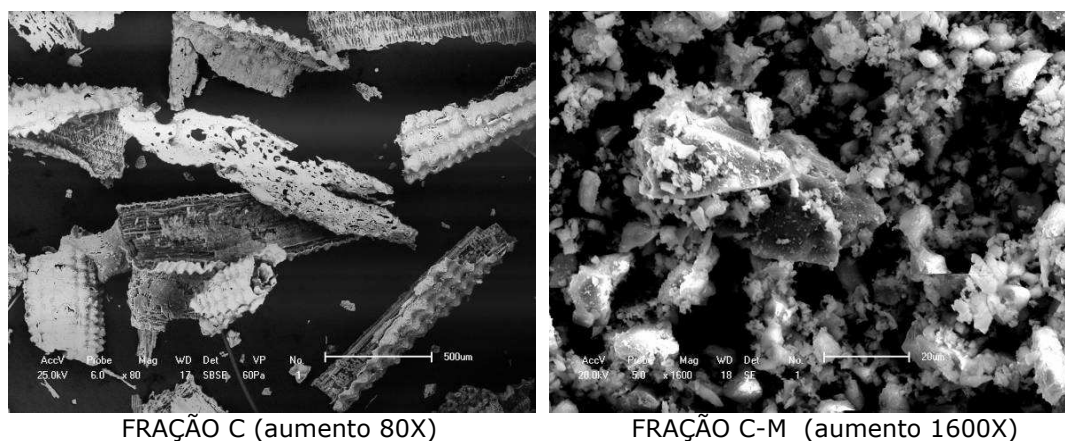


Figura 1: Micrografias das frações segregadas antes da moagem e após moagem

As partículas da Fração A apresentam uma morfologia externa semelhante à morfologia da casca de arroz antes de ser queimada. Na micrografia da Fração B verifica-se que embora a estrutura longitudinal da casca de arroz seja mantida, esta já se apresenta mais degradada do que nas partículas da Fração A. Observa-se que na Fração C as partículas estão mais divididas, não sendo mais observada aquela estrutura longitudinal original da casca de arroz. Desta forma, a análise morfológica das cinzas sugere que a queima da cinza CCA não é uniforme, resultando em partículas com granulometria diferentes decorrentes da disposição da casca de arroz sobre a grelha, sendo estas cascas submetidas a diferentes gradientes de temperatura.

Após a queima, a cinza de casca de arroz é composta por partículas extremamente porosas, visto que a celulose é consumida da rede sílica-celulose original da casca de arroz (Stroeven *et al.*, 2000). Observa-se nas micrografias das amostras moídas que o processo de moagem provoca a quebra desta estrutura porosa, inicialmente presente na cinza de casca de arroz natural, reduzindo o tamanho das partículas que passam a apresentar uma estrutura angular. Analisando as micrografias, verifica-se que após o processo de moagem, embora tenham ocorrido diferenças de diâmetro médio e área superficial, as frações apresentam suas microestruturas semelhantes, não sendo mais identificadas diferenças como nas amostras naturais.

### 3.2 Ensaios de adsorção

#### 3.2.1 Influência do pH

Na Figura 3 são apresentados os resultados de remoção de cromo hexavalente para a amostra CCA moída (CCA-M) nos diferentes valores de pH estudados.

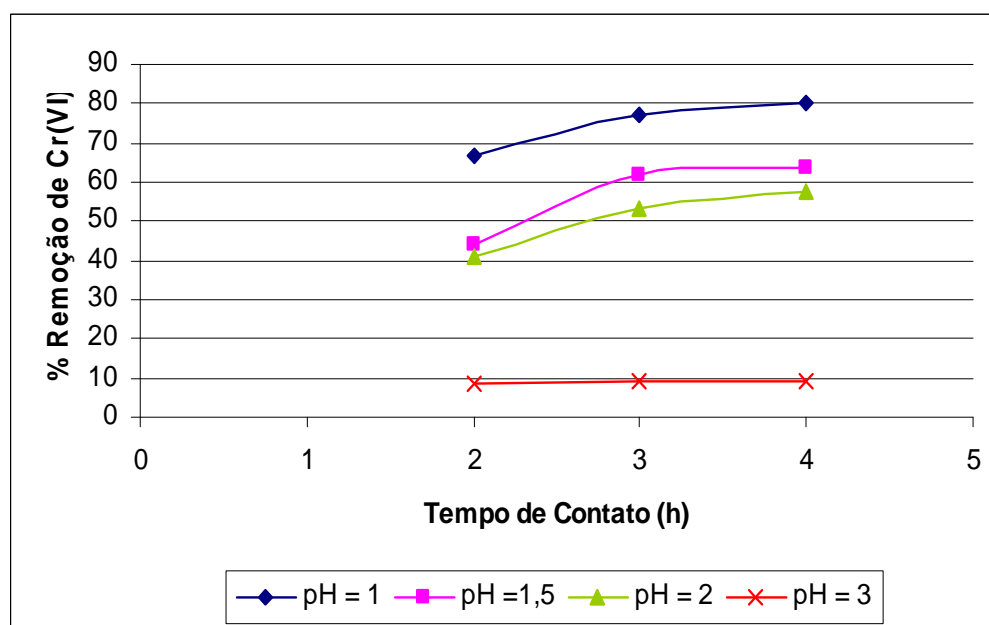


Figura 3: Influência do pH na remoção de Cr(VI) para amostra CCA-M.

Analisando os resultados, verifica-se que à medida que o pH diminui a remoção de cromo hexavalente aumenta. Conforme Matos (2006), soluções de Cr(VI) com pH menor que 1,0 íons cromo existem na forma de  $\text{H}_2\text{CrO}_4$  (ácido crômico). Karthikeyan *et al.* (2005) salientam que no intervalo de pH entre 1,0 e 6,0 coexistem diferentes formas de íons cromo tais como:  $\text{HCrO}_4^-$  (íon cromato ácido),  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ,  $\text{Cr}_3\text{O}_{10}^-$ ,  $\text{Cr}_4\text{O}_{13}^-$ . Os íons  $\text{HCrO}_4^-$  predominam em pH ácido, conforme o aumento do pH da solução, os íons  $\text{HCrO}_4^-$  se convertem em íons  $\text{CrO}_4^{2-}$  e íons  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  no intervalo de pH entre 1,0 e 6,0. Considerando que o melhor desempenho de remoção ocorreu em pH 1, sugere-se que a forma  $\text{HCrO}_4^-$  foi preferencialmente adsorvida pela cinza de casca de arroz utilizada neste estudo.

### 3.2.2 Influência da granulometria do adsorvente e do tempo de contato

Na Figura 4 são apresentados os resultados de adsorção de cromo hexavalente após 1, 2, 3 e 4 horas de tempo de contato para a amostra de CCA e frações A, B e C antes do processo de moagem (CCA, Fração A, Fração B e Fração C) e após processo de moagem (CCA-M, Fração A-M, Fração B-M e Fração C-M).



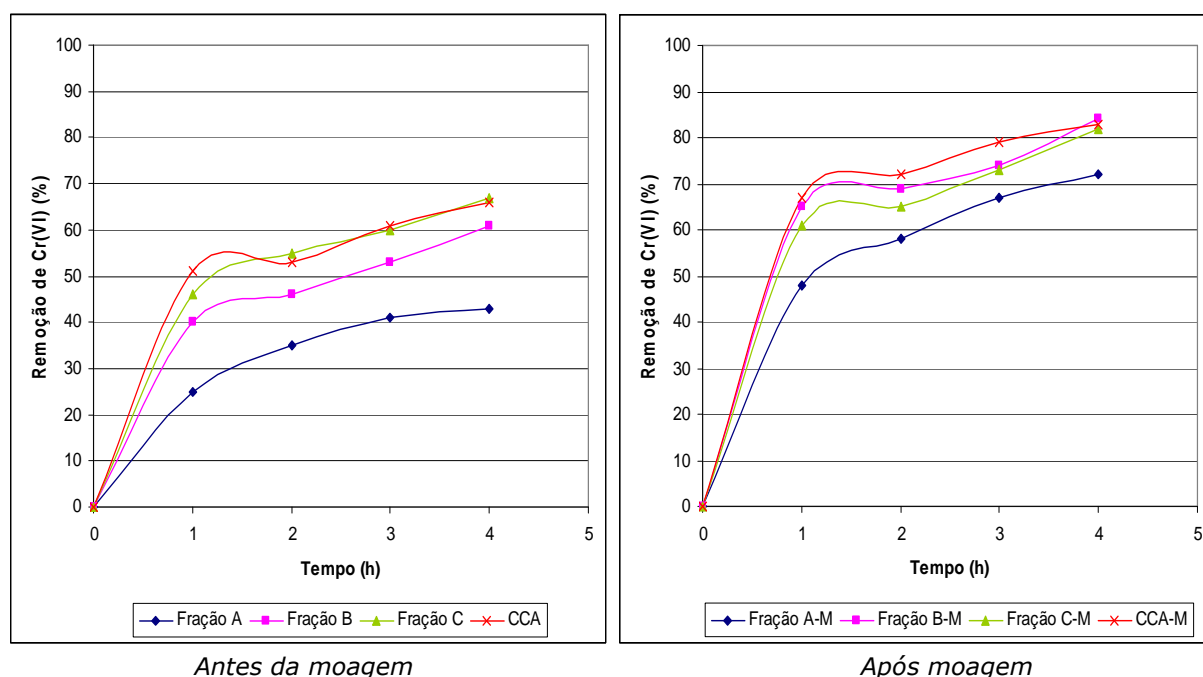


Figura 4: Influência do tempo de contato na remoção de Cr (VI) pelos adsorventes empregados.

Os resultados demonstram que a remoção aumenta à medida que o tempo de contato aumenta sendo superior para todas as amostras em 4 horas de tempo de contato. Conforme constatado em Bhattacharya *et al.* (2008), nas primeiras 2 horas de tempo de contato a remoção ocorre mais rapidamente. Após este período o percentual de remoção diminui, pois o sistema adsorvente/solução tende atingir o equilíbrio de concentração. Embora os sistemas da Figura 4 não tenham atingido o equilíbrio, observa-se que a eficiência do processo de adsorção é menor após 2 horas de tempo de contato.

Comparando o percentual de remoção para os diferentes adsorventes, verifica-se que a Fração A apresenta o pior desempenho, removendo 43% de cromo hexavalente em 4 horas. A Fração C e a CCA demonstram um comportamento semelhante atingindo remoções de 67% e 66%, respectivamente, para 4 horas, enquanto que a Fração B remove 61%. Este comportamento sugere que o tamanho das partículas do adsorvente influencia na adsorção, visto que à medida que o tamanho das partículas diminui a remoção de cromo aumenta.

Segundo Bhattacharya *et al.* (2008), a capacidade de adsorção da CCA é influenciada pelo seu conteúdo de carbono e de sílica que fixam o metal. Neste contexto, percebe-se uma tendência de que as frações com maiores concentrações de sílica apresentam maiores percentuais de remoção de Cr(VI).

Conforme observado, a remoção de cromo hexavalente aumenta quando as amostras são submetidas ao processo de moagem, favorecendo principalmente as amostras inicialmente formadas por partículas maiores, como a Fração A que teve um incremento no percentual de remoção após o processo de moagem de 67% para 4 horas de tempo de contato (43% de remoção para amostra sem moagem e 72% de remoção para amostra após moagem).

Outro comportamento observado é que a Fração B, para os diferentes tempos de contato, apresenta-se ligeiramente mais eficiente na remoção de Cr(VI) após moagem do que a Fração 2-C,

diferentemente do comportamento observado nas amostras sem moagem. Neste aspecto, sugere-se que a alta área superficial e menor diâmetro médio da amostra, resultante do processo de moagem, tenham contribuído para aumentar o desempenho do material, visto que o teor de sílica da Fração B é inferior ao da CCA e Fração C.

## 4. Conclusão

Considerando os resultados de remoção de cromo hexavalente, observou-se que para as amostras sem moagem quanto maior for a granulometria da fração segregada, menor é a adsorção.

Para as amostras moídas, diferenças de área superficial e de teor de sílica conduziram a percentuais de remoção diferentes. Além disto, as amostras moídas apresentaram maior eficiência de adsorção. Desta forma a moagem do material favorece a sua aplicação como material adsorvente.

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram a potencialidade de aplicação de cinza de casca de arroz na adsorção de cromo hexavalente quando ajustados os parâmetros do processo que favoreçam a remoção dos íons de cromo nas condições estudadas.

## Referências

- ALPATOVA, A., VERBYCH, S., BRYK, M., NIGMATULLIN, R., HILAL, N. 2004. Ultrafiltration of water containing natural organic matter: heavy metal removing in the hybrid complexation – ultrafiltration process. *Separation and Purification Technology*, **40**(2):155-162.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). 1998. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20 ed. Washington. D.C., APHA, 1368 p.
- BARONI, P.; VIEIRA, R.S.; DA SILVA M.G.C.; BEPPU, M.M. 2005. Adsorção de cromo em coluna de leito fixo, utilizando quitosana natural e reticulada. In: VI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 2005, São Paulo. *Anais...* São Paulo, Unicamp, 1 p.
- BARROS, A.R.B. 2001. *Remoção de íons metálicos em água utilizando diversos adsorventes*. Florianópolis, SC. Dissertação de Mestrado. UFSC, 89 p.
- BHATTACHARYA, A.K.; MANDAL, S.N.; DAS, S.K. 2006. Adsorption of Zn(II) from aqueous solution by using different adsorbents. *Chemical Engineering Journal*, **123**:43-51.
- BHATTACHARYA, A.K.; NAIYA, T.K.; MANDAL, S.N.; DAS, S.K. 2008. Adsorption, kinetics and equilibrium studies on removal of Cr(VI) from aqueous solutions using different low-cost adsorbents. *Chemical Engineering Journal*, **137**:529-541.
- COSSICH, E. S. 2000. *Biossorção de Cromo(III) pela Biomassa da Alga Marinha Sargassum sp.* Campinas, SP. Tese de Doutorado. UNICAMP, 139 p.
- FRANCISCHETTI, J. 2004. *Remoção de metais pesados em efluentes líquidos através da filtração adsortiva*. Florianópolis, SC. Dissertação de Mestrado. UFSC, 81 p.

- JIMENEZ, R.S.; DAL BOSCO, S.M.; CARVALHO, W.A. 2004. Remoção de metais pesados de efluentes aquosos pela zeólita natural escolecita – influência da temperatura e do pH na adsorção em sistemas monoelementares. *Química Nova*, **57**(5):734-738.
- KARTHIKEYAN, T.; RAJGOPAL, S.; MIRANDA, L.R. 2005. Chromium (VI) adsorption from aqueous solution by Hevea brasiliensis sawdust activated carbon. *Journal of hazardous materials*, **124**:192-199.
- KIELING, A.G. 2009. *Influência da segregação no desempenho de cinzas de casca de arroz como pozolanas e material adsorvente*. São Leopoldo, RS. Dissertação de Mestrado. UNISINOS, 130 p.
- MATOS, W.O. 2006. *Estudo de procedimentos analíticos para determinação de Cr(III) e Cr(VI) em amostras sólidas*. São Carlos, SP. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos, 79 p.
- NAIYA, T.K.; BHATTACHARYA, A.K.; SAIENDRANATH MANDAL, S.; DAS, S.K. 2009. The sorption of Lead (II) ions on rice husk ash. *Journal of Hazardous Materials*, **163**(2-3):1254-1264.
- NGAH, W.S.W.; HANAFIAH, M.A.K.M. 2008. Removal of heavy metal ions from wastewater by chemically modified plant wastes as adsorbents: A review. *Bioresource Technology*, **99**:3935-3948.
- PINO, G.A.H. 2005. *Biossorção de metais pesados utilizando pó da casca de coco verde (cocos nucifera)*. Rio de Janeiro, RJ. Dissertação de Mestrado. PUC, 113 p.
- PINTO, A.C. 2005. *Estudo da estabilização por solidificação de metais pesados*. São Paulo, SP. Tese de Doutorado. Escola Politécnica - USP, 229 p.
- POUEY, M.T.F. 2006. *Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico*. Porto Alegre, RS. Tese de Doutorado. UFRGS, 320 p.
- RODRIGUES, C.S. 2004. *Efeito da adição de cinza de casca de arroz no comportamento de compósitos cimentícios reforçados com polpa de bambu*. Rio de Janeiro, RJ. Tese de Doutorado. PUC, 265 p.
- ROZAINEE, M.; NGO, S.P.; SALEMA, A.A.; TAN, K.G.; ARIFFIN, M.; ZAINURA, Z.N. 2008. Effect of fluidising velocity on the combustion of rice husk in a bench-scale fluidised bed combustor for the production of amorphous rice husk ash. *Bioresource Technology*, **99**:703-713.
- RUOTOLO, L.A.M.; GUBULIN, J.C. 2003. Reduction of hexavalent chromium using polyaniline films. Effect of film thickness, potential and flow velocity on the reaction rate and polymer stability. *Journal of Applied Electrochemistry*, **33**:1217-1222.
- SANTIAGO, B.H.S.; FRANÇA, G.H.C.; FERNADES, R.; SELVAM, P.V.P. 2005. Estudo de viabilidade técnico-econômica preliminar para produção de carvão ativado no Brasil a partir dos resíduos do coco: estudo comparativo de cenários de produção. *Revista Analytica*, **17**:52-55.
- SARIN, V.; PANT, K.K. 2006. Removal of Cr from industrial waste by using eucalyptus bark. *Bioresource Technology*, **97**:15-20.
- SRIVASTANA, V.C.; MALL, I.D.; MISHRA, I. M. 2006. Characterization of mesoporous rice husk ash (RHA) and adsorption kinetics of metal ions from aqueous solution onto RHA. *Journal of Hazardous Materials*, **134**:257-267.

- SRIVASTANA, V.C.; MALL, I.D.; MISHRA, I. M. 2008. Removal of cadmium (II) and zinc (II) metal ions from binary aqueous solution by rice husk ash. *Coloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, **32**:172-178.
- STROEVEN, P.; BUI, D.D.; VU, D.D.; DONG, A.V. 2000. Contributions to sustainable development of cementitious materials. *In: N.P. BARBOSA; R.N. SWAMY; C. LYNDALE (eds.), Sustainable construction into the next millenium: environmentally friendly and innovative cement based materials*, João Pessoa, s/e, p. 45-66.
- WANG, L.; LIN, C. 2008. Adsorption of chromium (III) ion from aqueous solution using rice hull ash. *Journal of the Chinese Institute of Chemical Engineers*, **39**:367-373.

Submissão: 05/10/2009  
Aceite: 21/12/2009