



EFICIÊNCIA ADSORTIVA DE CINZAS DE CASCA DE ARROZ NA REMOÇÃO DE CORANTE AZUL DE METILENO

Giovana Tavares Silva – giovana.ts@hotmail.com
Universidade Federal de Pelotas, Engenharia Ambiental e Sanitária
Rua Benjamin Constant, 989
96010-020 – Pelotas – RS

Kelly Kathleen Almeida Heylmann – kellyheyhmann@hotmail.com
Universidade Federal de Pelotas, Engenharia Ambiental e Sanitária

Natália Golin – nataliagolin.esa@hotmail.com
Universidade Federal de Pelotas, Engenharia Ambiental e Sanitária

Josiane Pinheiro Farias – jo.anetst@yahoo.com.br
Universidade Federal de Pelotas, Engenharia Ambiental e Sanitária

Maurizio Silveira Quadro – mausq@hotmail.com
Universidade Federal de Pelotas, Engenharia Ambiental e Sanitária

Resumo: A crescente preocupação das indústrias em tratar seus efluentes em litígio 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 na adsorção de corante. Nos processos de adsorção, os efeitos de tempo de contato, concentração inicial de corantes, massa de adsorventes e agitação foram avaliados. O estudo cinético de adsorção demonstrou que os resultados apresentaram melhor ajuste ao modelo de pseudo-primeira ordem para as diferentes amostras de cinza utilizadas. A adsorção de superfície e difusão intrapartícula participaram no mecanismo de adsorção e os parâmetros termodinâmicos demonstraram que a adsorção foi espontânea em todos os processos de adsorção.

Palavras-chave: Casca de arroz, Azul de metileno, Adsorção



ADSORPTIVE EFFICIENCY OF METHYLENE BLUE DYE WITH RICE HULL ASH

Abstract: *The growing concern of industries in treating their effluents and the search for low-cost adsorbents justify the purpose of this study in evaluate the potential application of rice husk ash in dye adsorption. The effects of contact time, dye initial concentration, adsorbent mass and agitation were evaluated in the adsorption processes. The adsorption kinetic study has shown that the results exhibited better fit to the pseudo-first order model for different ash samples. The surface adsorption and intraparticle diffusion participated in the adsorption mechanism and the thermodynamic parameters showed that the adsorption was spontaneous in all processes.*

Keywords: Rice husk, Methylene blue, Adsorption

1. INTRODUÇÃO

O crescimento exponencial da população e o aumento das atividades industriais tornam-se os principais responsáveis pelo aumento da poluição do meio ambiente e da deterioração dos ecossistemas pelo acúmulo de substâncias tóxicas lançadas nos ambientes aquáticos através de várias fontes, como as indústrias de fundição, têxteis, curtumes, fertilizantes, pesticidas, eletrônicas e de mineração (ALPATOVA et al., 2004). 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 de tratamento existentes, por meio da adoção de procedimentos que visam a menor geração de substâncias e a remoção destes elementos tóxicos dos seus efluentes industriais (JIMENEZ et al., 2004).

No tratamento de efluentes, a adsorção com carvão ativado apresenta-se como um método eficiente e de baixo custo (AHMEDNA et al., 2000). A adsorção proporciona algumas vantagens sobre os métodos clássicos de tratamento de efluentes tais como baixa geração de resíduos, eficiente remoção de substâncias, simplicidade de operação, fácil recuperação de metais e a possibilidade de reutilização do adsorvente (ARAMI, 2005; SPINELLI et al., 2005). A habilidade de remoção de uma grande variedade de compostos em águas contaminadas elevaram a procura e o interesse por carvão ativado nos últimos anos (ODUBIYI, 2012).

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.

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 (NGAH E HANAFIAH, 2008).

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.

No processo de beneficiamento do arroz tem-se como resíduo a casca de arroz, que por apresentar poder calorífico compatível para combustão estável e custo praticamente nulo, vem cada vez mais substituindo a lenha empregada na geração de calor e de vapor na indústria. Dentro da indústria, uma grande quantidade da casca de arroz é aproveitada para geração de energia, que por meio do processo de combustão, gera-se calor para a parboilização dos grãos. Como resíduo deste processo, obtém-se a cinza da casca de arroz (DELLA et al., 2001). Esta geração energética pode ser utilizada nos processos de secagem e parboilização dos grãos na indústria do arroz. Além disso, a casca de arroz pode ser destinada a outros segmentos industriais para geração de energia. Após a combustão da matéria orgânica contida na casca de arroz, sobra a cinza de difícil degradação e com poucos nutrientes para o solo, contendo alto teor de sílica. Considerando que a redução da geração deste tipo de resíduo é tecnicamente bastante limitada, a reciclagem apresenta-se como a melhor alternativa para destinar este material.

A cinza de casca de arroz apresenta características isentas de qualquer periculosidade, que torna potencialmente segura a sua reciclagem como co-produto. Pode ser composta basicamente de sílica, apresenta potencial para ser utilizada como matéria-prima na elaboração de diversos materiais, em diferentes segmentos industriais, tais como a construção civil, cerâmica, química, vidros e siderurgia (AMANDA KIELING, 2009). Entretanto o uso da casca de arroz na alimentação animal não é aconselhado, pois apresenta baixo valor nutritivo, difícil digestibilidade e ação irritante sobre a mucosa intestinal, também não é aconselhado seu uso como adubo, pois não fornece bons resultados pela sua pobreza em elementos fertilizantes (FONSECA et al., 1983; MARSHALL e WADWORTH, 1994).

A composição da cinza é formada basicamente por sílica e este material apresenta potencial para ser empregado em diferentes segmentos industriais, dentre eles se destacam a construção civil, cerâmica, siderurgia, química e a produção de vidros. Dentre as propriedades da cinza de casca de arroz, é importante ressaltar a ausência de características de periculosidade, que por sua vez, facilitam a sua reciclagem e reutilização (KIELING, 2009). Devido a intensa produção de arroz, o volume de casca produzido é bastante elevado. Desta forma, se faz necessário a busca por alternativas sustentáveis de disposição deste resíduo. Com o objetivo de reduzir a geração de resíduos nos processos industriais bem como melhor reaproveitá-los, seja no próprio processo produtivo ou como matéria-prima na elaboração de outros materiais, tem-se cada vez mais investido em pesquisas para a transformação destes, até então considerados apenas resíduos industriais, em subprodutos de interesse comercial (Della Viviana)

Sob este cenário, buscou-se avaliar a capacidade adsorptiva da cinza de casca de arroz buscando a sua reutilização e valor. Buscou-se nas cinzas características semelhantes a do carvão ativado em pó por se tratar de um material poroso com elevada área superficial específica, garantindo grande capacidade de adsorção física de líquidos e gases. Esta propriedade é de grande importância nas indústrias, permitindo sua utilização no tratamento de água, no controle da emissão de poluentes, na purificação de gases, em armazenadores de gás, peneiras moleculares e catalisadores (PATRICK, 1995).

Com o objetivo de estudar os efeitos adsorptivos das cinzas de casca de arroz escolheu-se o corante Azul de Metileno por apresentar-se como um excelente corante para estudos de comportamento cinético bem como perspectiva da remoção da cor em efluentes industriais. Dentre os corantes mais utilizados na indústria, o Azul de Metileno destaca-se por ser muito empregado no tingimento de tecidos e na produção de indicadores, desinfetantes e antissépticos (HAMEED, 2007).

2. METODOLOGIA

O material adsorvente utilizado no presente estudo foi gentilmente cedido por três diferentes indústrias de beneficiamento de arroz das safras 2014/2015 e 2015/2016.

A cinza de casca de arroz utilizada neste trabalho é resultante do processo de beneficiamento de indústrias que utilizam as cascas 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 à fornalha, no qual ocorrerá em diferentes temperaturas separadas em grupos denominados “Z3”, “Z4” e “Z5”, a 690, 745 e 875 graus Celsius, respectivamente. O processo como um todo ocorre durante aproximadamente 5 minutos.

Para realização dos testes de adsorção foram utilizadas soluções do corante catiônico Azul de Metileno (AM), fórmula química $C_{16}H_{18}ClN_3S_3H_2O$ com comprimento de onda de $\lambda = 665$ nm para o presente estudo. Para determinação da concentração de AM na amostra foram realizadas curvas analíticas para o corante, descrita abaixo:

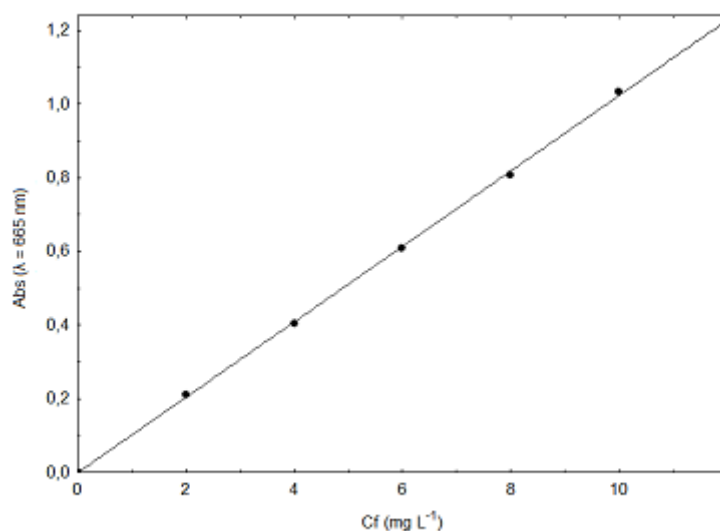


Figura 1. Curva analítica AM ($y = 0,1024x - 0,0016$ e $R^2 = 0,9998$).

Os ensaios de adsorção foram realizados utilizando uma solução de corante Azul de Metileno com concentração de 10 mg/L. Os ensaios foram realizados no aparelho Jar Test da marca Nova Ética com capacidade para seis jarros com volume de 2L cada. As alíquotas foram retiradas e analisadas por espectrofotômetro da marca Kasuaki em um processo de 240 minutos. Os resultados foram calculados utilizando a equação e posteriormente a este processo foi construída a cinética para as diferentes cinzas estudadas:

(1)

$$q_e = \frac{(C_o - C_e)V}{m}$$

Onde:

C_o = Concentração inicial expresso em $mg L^{-1}$;



C_e = Concentração do composto expresso em mg L^{-1} ;
 V = Volume expresso em L;
 m = massa do carvão expresso em g.

A cinética de adsorção foi analisada com base nos ajustes nos modelos descritos na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1. Modelos cinéticos empregados na adsorção dos corantes

Modelo	Equação	Parâmetro
Pseudo-primeira Ordem	$q_t = q_1 (1 - \exp(-k_1 t))$	k_1 q_1
Pseudo-segunda Ordem	$q_t = \frac{t}{(1/k_2 q_2^2) + (t/q_2)}$	k_2 q_2
Elovich	$q_t = \frac{1}{a} \ln(1 + abt)$	a b

Os resultados obtidos para o ajuste dos dados aos modelos cinéticos e a eficiência de remoção do corante avaliados pela análise de variância, sendo aplicado posteriormente um teste para comparar as médias de cada determinação, ao nível de 5% de probabilidade. Os resultados foram analisados e ajustados pelo emprego de um método não linear com auxílio do software Statistic 7.0 (statsoft, EUA).

É importante ressaltar que as amostras foram realizadas em triplicata para maior confiabilidade do processo e que todas as amostras passaram pelo processo de peneiramento respeitando a normal NBR 12075.

3. RESULTADOS

Os dados experimentais da cinética de adsorção foram ajustados aos três modelos apresentados na Tabela 1, para estabelecer a correlação mais adequada para as curvas de cinética e também para estimar os parâmetros dos modelos cinéticos.

Os resultados demonstram que o melhor ajuste para o corante Azul de Metileno foi o modelo Pseudo-primeira Ordem. O estudo cinético para o tratamento de efluentes torna-se importante devido aos dados informados sobre o mecanismo do processo de adsorção como, por exemplo, a quantidade removida em relação ao tempo sendo de grande relevância na projeção de uma ETE (CRINI; BADOT, 2008; VAGHETTI et al., 2009).

Os valores do coeficiente de determinação (R^2) e do erro médio relativo (EMR) demonstram o modelo Pseudo-primeira Ordem foi o que apresentou o melhor ajuste aos dados de cinética de adsorção do corante (Tabela 2). Deste modo, este modelo cinético pode ser utilizado para representar os dados experimentais da adsorção do corante pelas cinzas do presente estudo.

Os parâmetros termodinâmicos demonstraram que a adsorção foi espontânea em todos os processos de adsorção. Na tabela 2 é possível observar o comportamento adsorptivo da cinza no estudo cinético.

Tabela 2. Parâmetros dos modelos cinéticos para adsorção do corante

Modelos Cinéticos	Z3	Z4	Z5
Pseudo-primeira Ordem			
q1 (g gm ⁻¹)	9,623	9,604	5,232
k1 (min ⁻¹)	0,119	0,040	0,023
R ²	0,956	0,958	0,942
EMR (%)	2,243	4,429	9,698
Pseudo-segunda Ordem			
q2(mg g ⁻¹)	8,211	9,168	6,071
k2 (min ⁻¹)	20,576	21,66	7,174
R ²	0,932	0,925	0,941
ERM (%)	7,518	7,502	9,698
Elovich			
a (mg g ⁻¹)	1,359	0,514	0,773
b (mg g ⁻¹ min ⁻¹)	4031,48	2,177	0,424
R ²	0,958	0,932	0,927
ERM (%)	1,223	2,100	5,592

Os resultados demonstram que a remoção aumenta à medida que o tempo de contato aumenta e a agitação se mantém sendo superior para todas as amostras no final do processo. 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 alguns sistemas não apresentem esta configuração tão fortemente, é possível observar que a eficiência do processo de adsorção é menor após 2 horas de tempo de contato e há uma tendência a redução da adsorção.

A Figura 1, 2 e 3 demonstram o comportamento dos dados experimentais obtidos para a cinética de adsorção do corante Azul de metileno ajustados ao modelo cinético de Pseudo-primeira Ordem para as amostras de cinza Z3, Z4 e Z5.

Figura 1. Dados experimentais da adsorção do corante Azul de Metileno ajustados ao modelo cinético Pseudo-primeira Ordem para a amostra de cinza Z3.

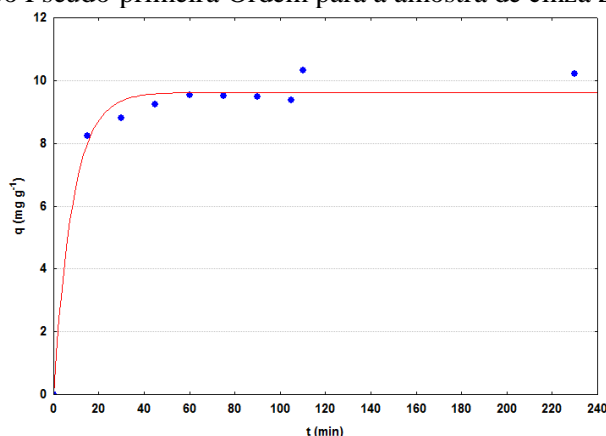


Figura 2. Dados experimentais da adsorção do corante Azul de Metileno ajustados ao modelo cinético Pseudo-primeira Ordem para amostra de cinza Z4.

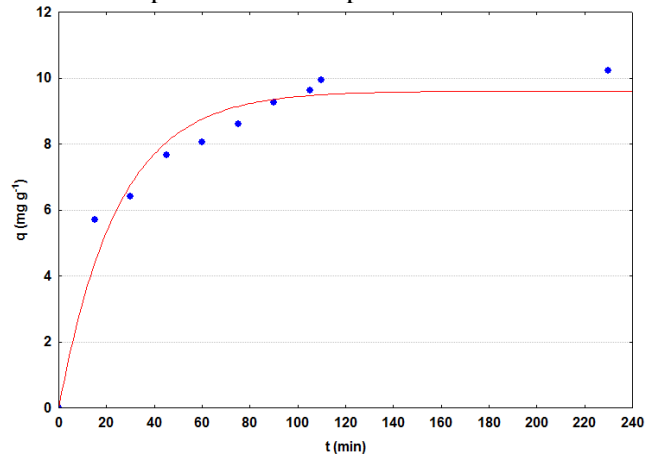


Figura 3. Dados experimentais da adsorção do corante Azul de Metileno ajustados ao modelo cinético Pseudo-primeira Ordem para amostra de cinza Z5.

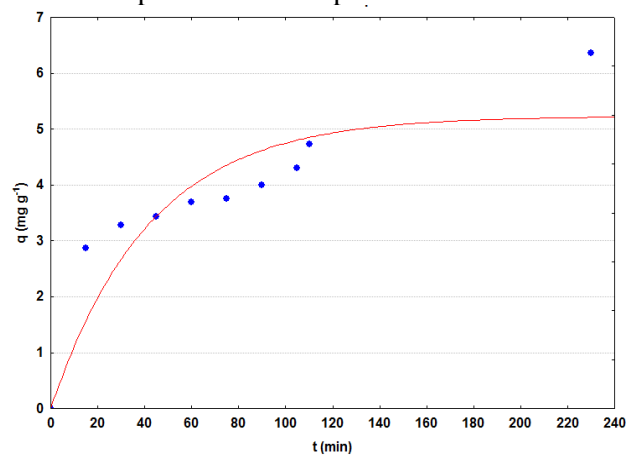


Figura 4. Dados experimentais da adsorção do corante Azul de Metileno ajustados ao modelo cinético Pseudo-segunda Ordem para amostra de cinza Z3

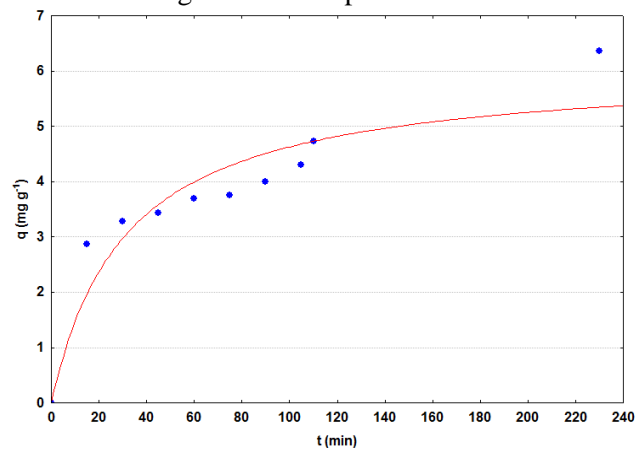


Figura 5. Dados experimentais da adsorção do corante Azul de Metileno ajustados ao modelo cinético Pseudo-segunda Ordem para amostra de cinza Z4.

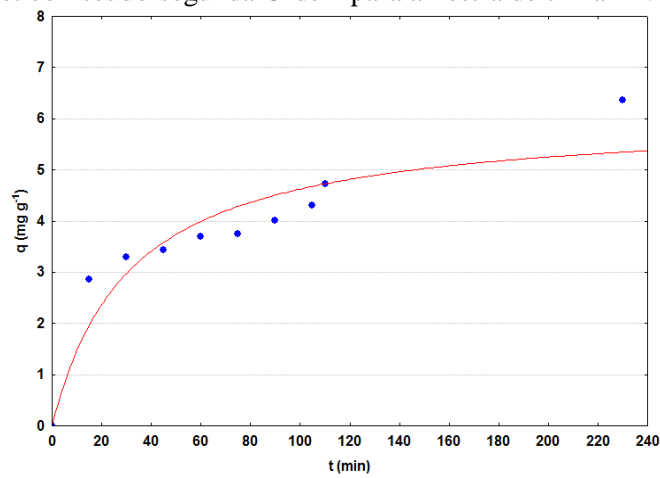


Figura 6. Dados experimentais da adsorção do corante Azul de Metileno ajustados ao modelo cinético Pseudo-segunda Ordem para amostra de cinza Z5.

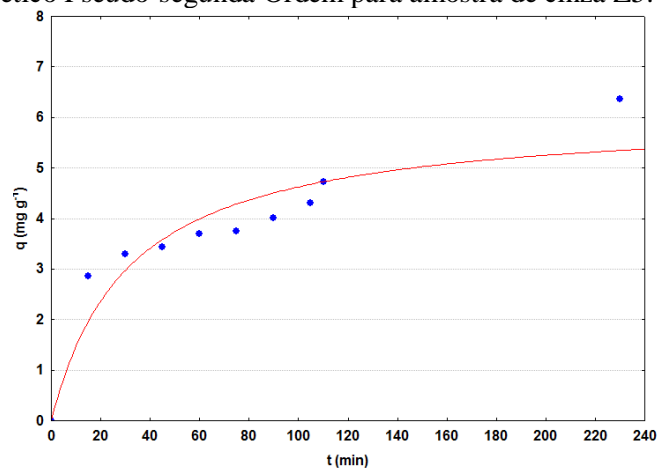


Figura 7. Dados experimentais da adsorção do corante Azul de Metileno ajustados ao modelo cinético Elovich para amostra de cinza Z3.

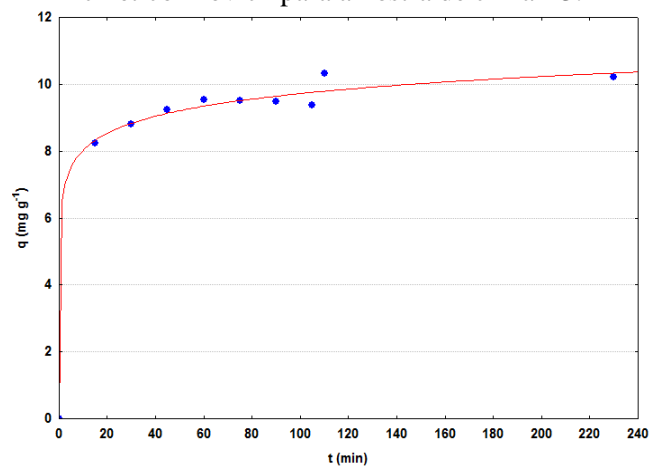


Figura 8. Dados experimentais da adsorção do corante Azul de Metileno ajustados ao modelo cinético Elovich para amostra de cinza Z4.

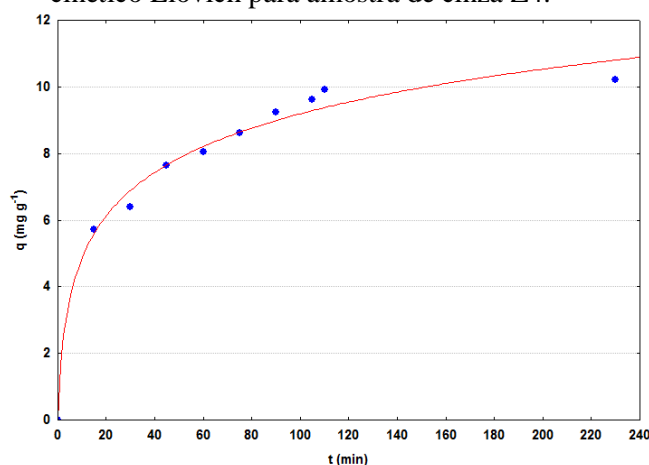
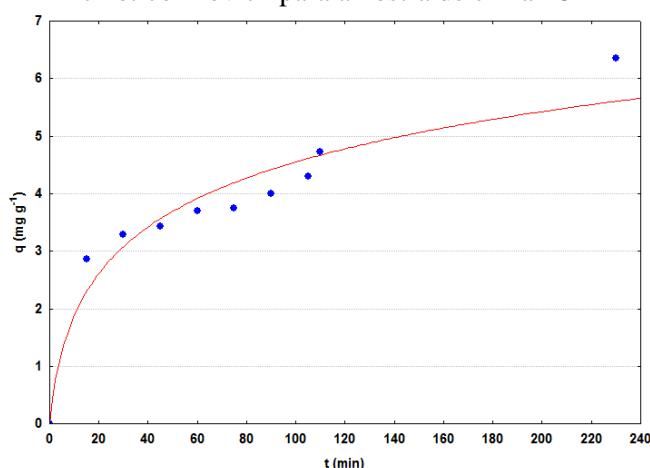


Figura 9. Dados experimentais da adsorção do corante Azul de Metileno ajustados ao modelo cinético Elovich para amostra de cinza Z5



Uma pesquisa realizada por Kakbanpote revelou também que a melhor cinza para ser usada como adsorvente foi aquela obtida pela queima da casca de arroz a 300 °C com menores temperaturas do que as utilizadas por grande parte das indústrias, pois nesta temperatura o resíduo apresentou propriedades de troca iônica.

É importante ressaltar que o aumento do teor de sílica na cinza está diretamente relacionado com a temperatura do processo e que o teor varia com o valor de Perda ao Fogo que é menor em amostras com percentuais elevados de sílica. Para a amostras de cinza é possível observadas variações no teor de sílica constituinte. 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 (POUEY 2006).

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram a eficiência de remoção do corante Azul de Metileno e a potencialidade de aplicação de cinza de casca de arroz na adsorção de contaminantes em efluentes industriais. Este pode ser um importante instrumento de controle da poluição por meio da redução da carga tóxica de efluentes.



REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, S. R. **Pirólise rápida de casca de arroz: estudo de parâmetros e caracterização de produtos.** 2010.
- 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.
- DELLA, V. P.; KUHN, I.; HOTZA, D. **Caracterização de cinza de casca de arroz para uso como matéria-prima na fabricação de refratários de sílica.** Química Nova, v. 24, n. 6, p. 778-782, 2001.
- 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 escolcita – 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. **Influência da segregação no desempenho de cinzas de casca de arroz como pozolanas e material adsorvente.** 2009. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado-Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo.



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.; SAILENDRANATH 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.

PATRICK, J. W.; **Porosity in carbons: Characterization and applications,** John Wiley & Sons: New York, 1995

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 tecnoeconomica 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. LYNNSDALE (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.

REALIZAÇÃO

CORREALIZAÇÃO

INFORMAÇÕES