



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

## ADSORÇÃO DO CORANTE RODAMINA-B DE MEIO AQUOSO POR CINZA DE CARVÃO, ZEÓLITA SINTETIZADA A PARTIR DE CINZA DE CARVÃO E ZEÓLITA NATURAL CLINOPTILOLITA

**Helena Schneider** – helenasch@gmail.com  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Patrícia Hubner** – hubner.patricia1@gmail.com  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Luci Kelin de Menezes Quines** – kelinquines@yahoo.com.br  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Isabel Cristina Tessaro** – isabel@enq.ufrgs.br  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Nilson Romeu Marcilio** – nilson@enq.ufrgs.br  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Resumo:** A Rodamina-B é um corante muito utilizado na indústria. Devido às consequências ambientais do seu descarte, é importante o estudo de meios de tratamento de efluentes contendo este corante. Foram testados três materiais como adsorventes do corante Rodamina-B em meio aquoso: zeólita natural Clinoptilolita (ZC), cinza volante de carvão mineral e zeólita sintetizada a partir da cinza de carvão (ZK). Estes foram caracterizados quanto a área específica pelo método BET e analisados por microscopia eletrônica de varredura (MEV). A ZK ainda foi caracterizada por difração de raios-X (DRX) a fim de identificar as fases cristalográficas nela presentes. Os ensaios de adsorção foram realizados com 1, 2 e 3 g de adsorvente, com 100 mL de solução de 50 mg L<sup>-1</sup> de Rodamina-B em água, durante 5, 10, 15, 20 e 25 minutos. Identificou-se a presença de zeólita Merlinoíta e material amorfo na ZK por DRX e MEV. Tanto ZK, quanto ZC, exibiram área específica de 30 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>; já a cinza apresentou 12 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>. A ZC mostrou-se mais eficiente para a adsorção de Rodamina-B, chegando a 99% de remoção. A ZK e a cinza apresentaram remoção máxima de 59% e 46%, respectivamente. Desta forma, a zeólita natural Clinoptilolita, a cinza volante de carvão e a zeólita sintetizada a partir desta mostraram-se potenciais adsorventes para remoção de Rodamina-B de efluentes.

**Palavras-chave:** adsorção, rodamina-B, cinza de carvão, zeólita de cinza de carvão, zeólita clinoptilolita

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

## RHODAMINE-B ADSORPTION FROM AQUEOUS SOLUTIONS BY COAL FLY ASH, COAL FLY ASH BASED ZEOLITE AND NATURAL ZEOLITE CLINOPTILOLITE

**Abstract:** Rhodamine-B is a dye widely used by industries. Due to environmental problems engendered by its discard, it is important to study means of treating effluents containing this dye. Three materials were tested as adsorbents for Rhodamine-B dye in aqueous solution: natural zeolite Clinoptilolite (ZC), mineral coal fly ash and zeolite synthesized with coal fly ash (ZK). They were characterized by surface area with the BET method and analyzed by scanning electron microscope (SEM). ZK was also characterized by X-ray diffraction (XRD) for identification of its crystallographic phases. The adsorption experiments were performed with 1, 2 and 3 g of adsorbent, with 100 mL of 50 mg L<sup>-1</sup> Rhodamine-B solution in water, for 5, 10, 15, 20 and 25 minutes. It was identified zeolite Merlinoite and amorphous material in ZK by XRD and SEM. ZK, as well as ZC, exhibited a surface area of 30 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>; on the other hand, coal fly ash showed 12 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>. ZC proved to be more efficient for Rhodamine-B adsorption, achieving 99% of removal. ZK and coal fly ash presented maximal removal of 59% and 46%, respectively. Thus, natural zeolite Clinoptilolite, coal fly ash and coal fly ash based zeolite revealed as potential adsorbents for Rhodamine-B removal from effluents.

**Keywords:** adsorption, rhodamine-B, coal fly ash, coal fly ash based zeolite, zeolite clinoptilolite

### 1. INTRODUÇÃO

A Rodamina-B é utilizada como corante na indústria têxtil e de plásticos (HASSANPOUR *et al.*, 2017; LIMA *et al.*, 2017), para o tingimento de ágatas (SILVA *et al.*, 2007), como tinta de impressoras (CAÑIZARES *et al.*, 2007), como reagente analítico e marcador químico (GUPTA *et al.*, 2004; SHAKIR *et al.*, 2010). O efluente proveniente de uma indústria de tingimento de ágatas de Soledade (RS) apresenta concentrações entre 700 e 2.000 mg L<sup>-1</sup> de Rodamina-B, segundo estudo de Santos (2017).

Mesmo em pequenas quantidades, como 1 mg L<sup>-1</sup>, corantes já são capazes de produzir cor na água. Por consequência, a solubilidade de gases e a transparência da água são afetadas, gerando problemas ambientais a corpos aquáticos nos quais este efluente seja descartado (BANAT *et al.*, 1996). Além disso, corantes são estáveis a luz e a agentes oxidantes e resistentes a digestão aeróbica. Desta forma, estes não são eliminados por tratamentos convencionais da água (POOTS *et al.*, 1976). Por isso, vários métodos de tratamento vêm sendo propostos, como descreve Robinson *et al.* (2001); os principais são: processos oxidativos, reagentes de Fenton, ozonização, degradação fotoquímica, filtração com membranas, troca iônica, tratamentos biológicos e adsorção.

A adsorção possui boa eficiência para remoção de poluentes resistentes aos métodos convencionais; esta gera produtos finais de boa qualidade e é economicamente viável (ROBINSON *et al.*, 2001). O carvão ativado é um dos adsorventes mais utilizados comercialmente para a remoção de corantes. Entretanto, seu alto custo impede sua difusão mundial (CRINI, 2006; ROBINSON *et al.*, 2001). Neste âmbito, estudos com adsorventes de baixo custo têm sido realizados, principalmente utilizando resíduos de outras indústrias ou materiais naturais. Alguns dos materiais já testados são: casca de arroz, argila, turfa, serragem, bagaço de cana-de-açúcar, casca de banana e laranja, carvão, cinza de carvão, zeólitas naturais ou sintetizadas a partir de cinza de carvão, casca de arroz, caulim, entre outros (CRINI, 2006; GUPTA & SUHAS, 2009; MCKAY *et al.*, 1998; MOR *et al.*, 2018).

Dentre estes, destacam-se as zeólitas que são minerais naturais ou sintéticos, consistem em aluminossilicatos hidratados e possuem uma estrutura tetraédrica. Tal arranjo forma uma cavidade

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

na qual estão alojados contra-íons (metais alcalinos e/ou alcalino-terrosos). Esta configuração lhes confere características valiosas, como a capacidade de troca iônica e de adsorção (QUEROL *et al.*, 2002). Neste contexto, as zeólitas podem ser produzidas a partir de cinza de carvão, devido à presença de fases reativas contendo Alumínio e Silício neste material (AHMARUZZAMAN, 2010).

A cinza de carvão é um resíduo da queima do carvão utilizado para geração de energia elétrica. Dentre os tipos de cinza gerados, a cinza volante de carvão é obtida em maior quantidade e somente uma parte dela é reaproveitada, principalmente na indústria de cimento, sendo o restante descartado em lagos ou aterros (QUEROL *et al.*, 2002). Em 2016, foram produzidas 37 milhões de toneladas de cinza volante de carvão nos Estados Unidos e em entorno de 60% foram reutilizadas (AMERICAN COAL ASH ASSOCIATION, 2017). Existe, portanto, a necessidade de uma reutilização das cinzas que seja economicamente vantajosa, como a síntese de zeólitas, que é capaz de agregar propriedades ao material.

A síntese da zeólita através da cinza de carvão é feita, majoritariamente, por tratamento hidrotérmico. O Si e o Al presentes na cinza de carvão são dissolvidos em uma solução alcalina (geralmente, de NaOH ou KOH) e então precipitam na forma de material zeolítico (AHMARUZZAMAN, 2010; QUEROL *et al.*, 2002). Este processo é acelerado com o uso de aquecimento, que pode variar entre 125 e 200 °C (QUEROL *et al.*, 2002); os tempos de síntese podem variar de horas a dias. Outros parâmetros importantes à síntese são a concentração da solução alcalina (0,5–5 M) e a proporção entre volume de solução alcalina e massa de cinza de carvão (1–20 mL g<sup>-1</sup>) (QUEROL *et al.*, 2002). Estas condições, assim como a composição da cinza de carvão, influenciam diretamente no tipo de zeólita sintetizada (AHMARUZZAMAN, 2010).

Neste trabalho, portanto, foram utilizados a zeólita natural Clinoptilolita, a cinza de carvão e o material zeolítico produzido a partir desta cinza de carvão como adsorventes para o corante Rodamina-B em solução aquosa. Desta forma, deseja-se aproveitar um resíduo para o tratamento de efluente, minimizando o impacto ambiental de ambos.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A zeólita natural Clinoptilolita (ZC) utilizada foi a Zeocel 0325 (Celta Brasil) com granulometria de 325 mesh. A cinza de carvão utilizada é resultado da queima do carvão da Mina do Leão (Minas do Leão, RS) em combustor piloto de leito fluidizado borbulhante da Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC) (Cachoeirinha, RS). Esses materiais foram caracterizados por microscopia eletrônica de varredura (MEV) em um equipamento EVO-50 (ZEISS) para identificação da morfologia. Também foi analisada a área superficial específica pelo método Braunauer, Emmet e Teller (BET) em equipamento NOVA (Quantachrome Instruments) com a adsorção de nitrogênio na temperatura de ebulição deste.

A síntese da zeólita a partir da cinza de carvão foi realizada por tratamento hidrotérmico. Foi utilizado hidróxido de potássio para a solução alcalina em água destilada com molaridade 5 M. A razão do volume de solução alcalina pela massa de carvão usada foi de 2 mL g<sup>-1</sup>. Esta mistura foi adicionada em reatores cilíndricos de aço inox com carcaça interna de teflon e, então, a síntese foi realizada a 150 °C por 72 h em estufa. Em seguida, o conteúdo foi filtrado à vácuo com papel filtro qualitativo (poros de 14 µm, marca Qualy<sup>®</sup>), sendo o sólido retido lavado com 200 mL de água destilada e, em seguida, seco à 100 °C por 24 h em estufa. O sólido final é o material zeolítico sintetizado, chamado ZK. Este sólido foi caracterizado por difração de raios-X (DRX) em equipamento X'Pert MDP (Philips) com radiação Cu K $\alpha$  e ângulo 2 $\theta$  variando 0,05° por segundo, de 5 a 75°. Sua morfologia foi analisada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) em um equipamento Auriga (ZEISS). Analogamente à ZC e ao carvão, a área superficial específica foi analisada pelo método BET em equipamento NOVA (Quantachrome Instruments).

Os testes de adsorção foram realizados com os três sólidos (ZC, cinza e ZK) em duplicata. Foram utilizadas soluções aquosas de 50 mg L<sup>-1</sup> Rodamina-B (Dinâmica), produzidas a

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



partir de uma solução mãe de 500 mg L<sup>-1</sup> de Rodamina-B em água destilada. A escolha desta concentração possibilita a visualização da adsorção em curtos períodos de tempo de contato.

Certa massa de adsorvente (1, 2 ou 3 g) foi adicionada a 100 mL de solução aquosa de Rodamina-B. Essa mistura foi colocada sob agitação em shaker horizontal (CT-712 RN – Cientec) a 25 °C, 175 rpm, durante 5, 10, 15, 20 e 25 min. Em seguida, a mistura foi filtrada a vácuo em papel de filtro qualitativo (poros de 14 µm, marca Qualy®) para a cinza e a ZK, e quantitativo (faixa azul, marca Qualy®) para a ZC. A solução filtrada teve sua absorvância medida em espectrofotômetro UV-Vis (T80 – PG Instruments) a 553 nm. A concentração da solução foi, então, determinada por meio de uma curva de calibração com concentrações variando entre 10 e 50 mg L<sup>-1</sup>.

A partir destes dados, foi calculada a porcentagem de remoção (R) conforme a Equação (1).

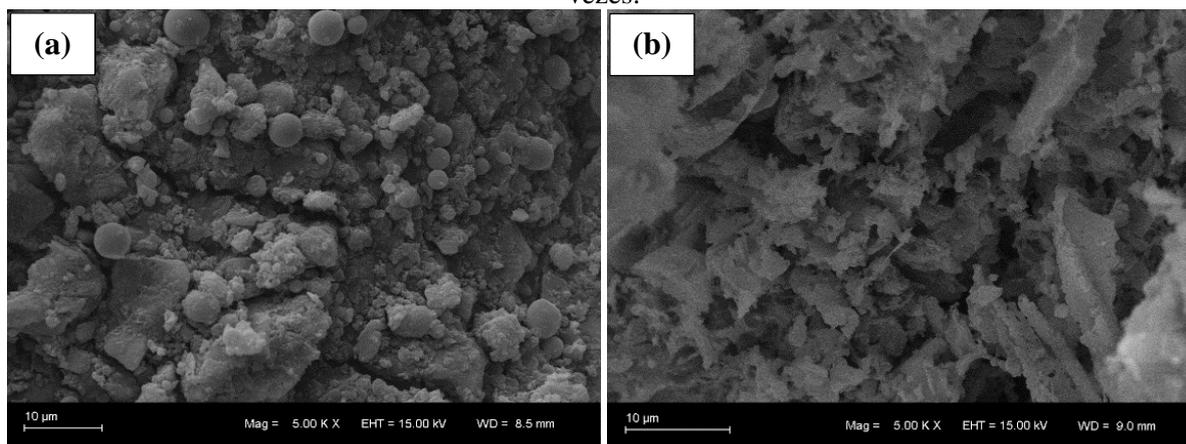
$$R = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \quad (1)$$

Onde  $C_i$  e  $C_f$  são as concentrações iniciais (antes da adsorção) e finais (após a adsorção) da Rodamina-B, respectivamente.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta as micrografias da ZC e da cinza de carvão empregadas. A ZC natural apresenta aglomerados de estrutura não-uniforme formando corpos irregulares (SHABAN *et al.*, 2017). Ela também se mostra com grande rugosidade e cavidades, o que tende a favorecer processos de adsorção (ZANIN, 2013). A cinza de carvão utilizada provém de uma combustão em leito fluidizado e a temperatura usada nesse processo é baixa (~ 800-900 °C). Por isso, restam partículas de carvão que não fundiram completamente e a cinza possui mais material amorfo (CHINDAPRASIRT *et al.*, 2011). Como consequência, é possível identificar na sua micrografia partículas de tamanhos e formatos irregulares. Observa-se que estas partículas são no formato de placas com pontas agudas (QIU *et al.*, 2018).

Figura 1 – Micrografias feitas por MEV da ZC (a) e da cinza de carvão (b) com ampliação de 5.000 vezes.



A síntese de zeólita a partir da cinza de carvão formou a zeólita Merlinoíta ( $K_{10}(H_2O)_{22}[Al_{10}Si_{22}O_{64}]$ ) conforme se identifica no difratograma da Figura 2. Isso pode ser

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



comprovado a partir da micrografia apresentada na Figura 3, na qual é possível observar sua estrutura de prismas pseudotetragonais, com formação de grupos radiais ou agregados esferoidais fibrosos (IZA, 2005). É possível também identificar a presença de material amorfo pelas duas técnicas analíticas (MEV e DRX), o que corresponde, provavelmente, a cinza que não foi transformada em zeólita.

Figura 2 – Difratoograma de raios-X do material zeolítico sintetizado (ZK) com os picos referentes ao padrão da zeólita Merlinoíta identificados (●) (TREACY & HIGGINS, 2001).

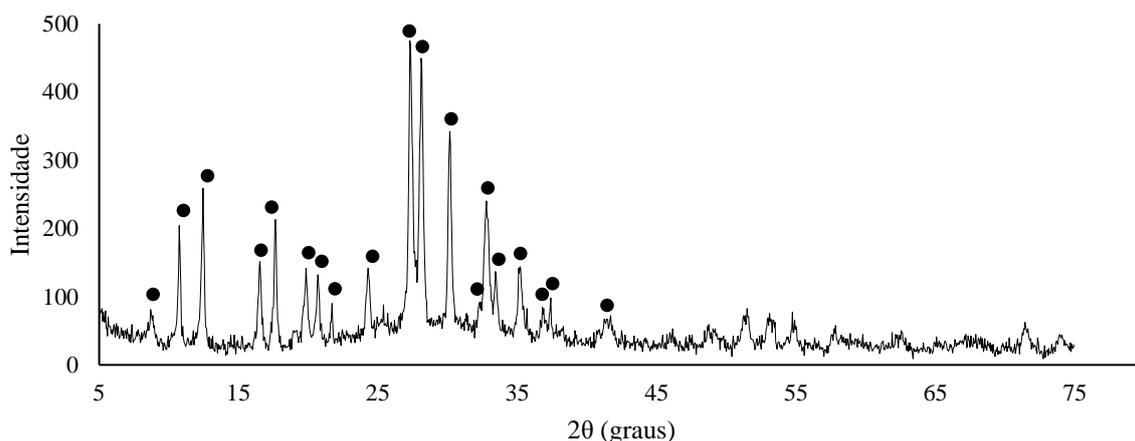
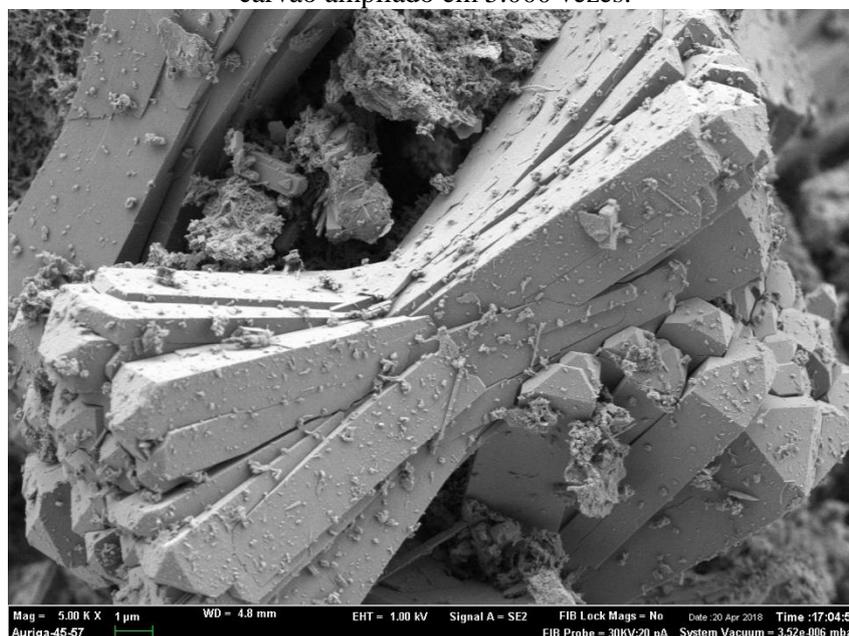


Figura 3 – Micrografia feita por MEV do material zeolítico (ZK) sintetizado a partir da cinza de carvão ampliado em 5.000 vezes.



A Tabela 1 apresenta os resultados de área superficial específica pelo método BET determinados para os três adsorventes testados. A cinza de carvão apresentou uma área superficial de  $12 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ , condizente com valores reportados por Sarback *et al.* (2004) para diversas cinzas volantes de carvão ( $2,5$  e  $19 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ). Observa-se que a transformação da cinza de carvão em material zeolítico aumentou em 2,5 vezes a área superficial do material sintetizado. O material sintetizado atingiu uma



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

área superficial igual à área da zeólita natural. De maneira semelhante, Flores (2016) obteve valores entre 19 e 32 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> para material zeolítico contendo Merlinoíta sintetizado a partir da cinza de carvão da Mina do Leão; valor 1,2 vezes maior que a cinza inicial. A área superficial para a ZC também se encontra dentro da faixa de valores reportados na literatura, entre 11 e 27 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>, para a Clinoptilolita (ATES, 2014; ATES & AKGÜL, 2016; ATES & HARDACRE, 2012; SWENSON *et al.*, 2012)

Tabela 1 – Resultados de área superficial BET para a zeólita Clinoptilolita (ZC), cinza de carvão e material zeolítico sintetizado (ZK).

Adsorvente	Área Superficial Específica (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )
ZC	30
Cinza	12
ZK	30

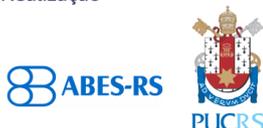
A Figura 4 apresenta os valores de concentração final da solução de Rodamina-B após os ensaios de adsorção e a Figura 5, a remoção de corante após a adsorção com as três massas dos três adsorventes nos tempos de 5, 10, 15, 20 e 25 min. Em solução aquosa, as zeólitas apresentam carga negativa. O corante Rodamina-B, por sua vez, é catiônico e libera cátions que produzem cor na solução. Existe, portanto, uma interação eletrostática favorável para que o cátion do corante seja adsorvido pela zeólita (WANG & ZHU, 2006).

Observa-se que a adsorção de corante ocorre rapidamente; para a ZC, em 5 min já se atinge o equilíbrio. Existe uma elevada adsorção de Rodamina-B nos momentos iniciais, possivelmente, devido ao grande número de sítios de adsorção ainda disponíveis nas zeólitas. Tal comportamento é semelhante ao reportado para remoção de Rodamina-B com zeólita Clinoptilolita por Baran & Acemioğlu (2016) e Farhade & Aziz (2010). Para a ZC, os valores de concentração e remoção mantiveram-se praticamente iguais entre 5 e 25 min. Para a cinza e a ZK, porém, o tempo de adsorção apresentou maior influência. Possivelmente, um maior tempo de adsorção resultaria em uma maior remoção de corante por estes materiais. Além disso, o perfil da adsorção com o tempo é uma curva única e contínua, o que sugere que a saturação do adsorvente é causada pela cobertura deste com uma monocamada de corante (FARHADE & AZIZ, 2010; WANG *et al.*, 2006).

Tanto ZC, quanto ZK, apresentaram área superficial específica de 30 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>; as remoções de corante de cada uma, entretanto, foram bem distintas. A ZC apresentou resultados superiores, atingindo remoções de corante de no mínimo 89% sob todas as condições estudadas. Já a ZK apresentou uma remoção máxima de 59% (3 g, 25 min). Além disso, a ZK possui mais que o dobro da área superficial da cinza e apresentou remoções não muito maiores que as obtidas com este adsorvente. Isso sugere que outros fatores além da área superficial tenham influência na remoção do corante. É possível que a interação química corante-adsorvente seja mais importante neste caso, como já foi sugerido por Wang *et al.* (2006).

Percebe-se que uma maior dosagem de adsorvente foi capaz de remover mais corante da solução. Avaliando o tempo de 25 min, mudando a massa de 1 g para 3 g, passou-se de 15% a 59% de remoção de corante com a ZK e, de 17% a 47% com a cinza. Possivelmente, isto é consequência do aumento de área de adsorvente disponível e, conseqüentemente, de sítios de adsorção disponíveis (MATHESWARAN, 2010). Desta forma, é provável que para se obter uma maior remoção de Rodamina-B com a ZK e com a cinza seria necessário utilizar uma menor concentração de corante ou uma maior quantidade de massa destes adsorventes. Existe, porém, uma dosagem ótima de adsorvente em relação à solução de corante, acima da qual a remoção do corante será constante, uma vez que a concentração deste na superfície do adsorvente e na solução *bulk* entrarão em equilíbrio (MATHESWARAN, 2010).

Realização



Correalização

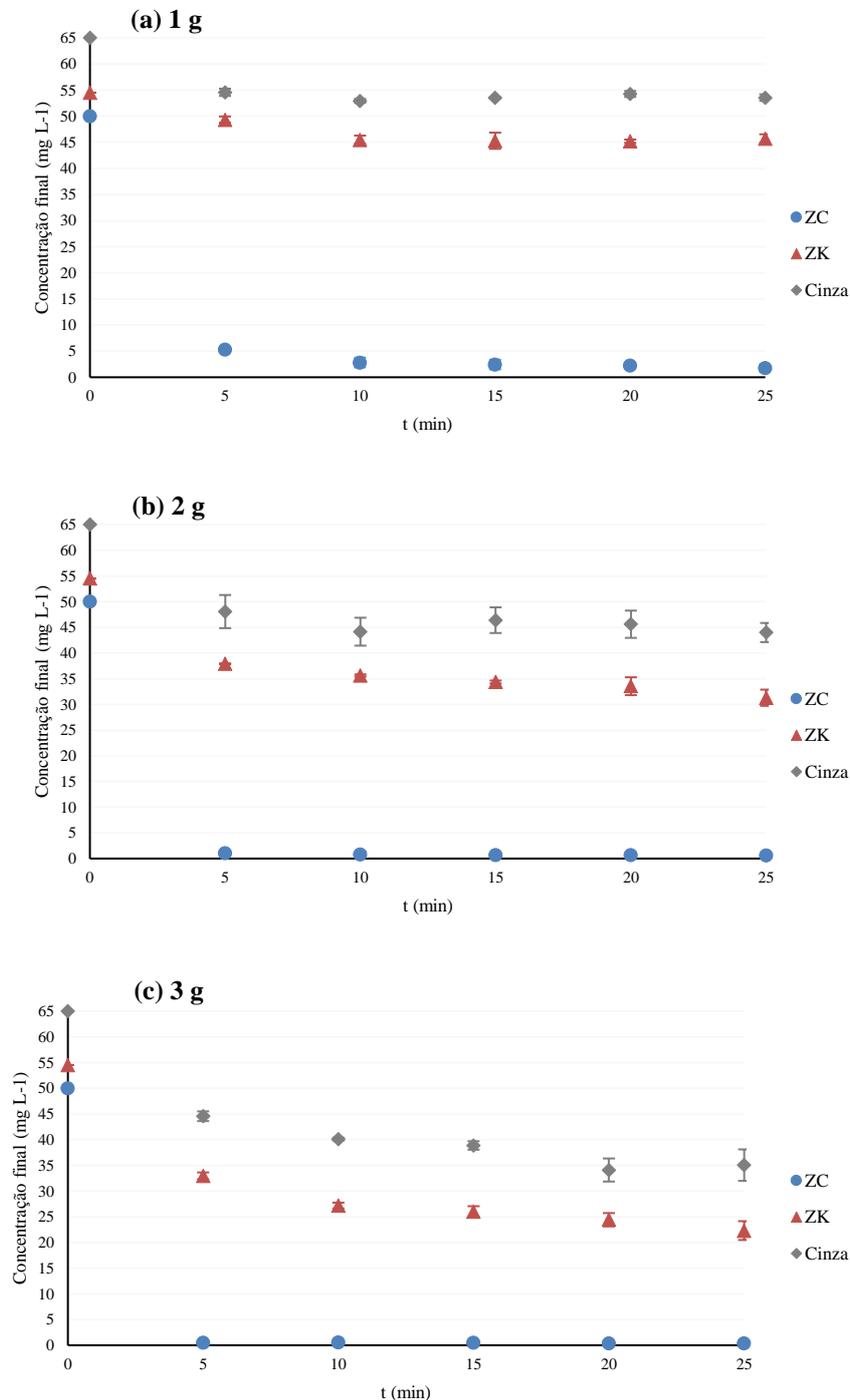


Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



Figura 4 – Concentração final da solução de Rodamina-B após adsorção com (a) 1 g, (b) 2 g e (c) 3 g de ZC, ZK e cinza durante 5, 10, 15, 20 e 25 min.



Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



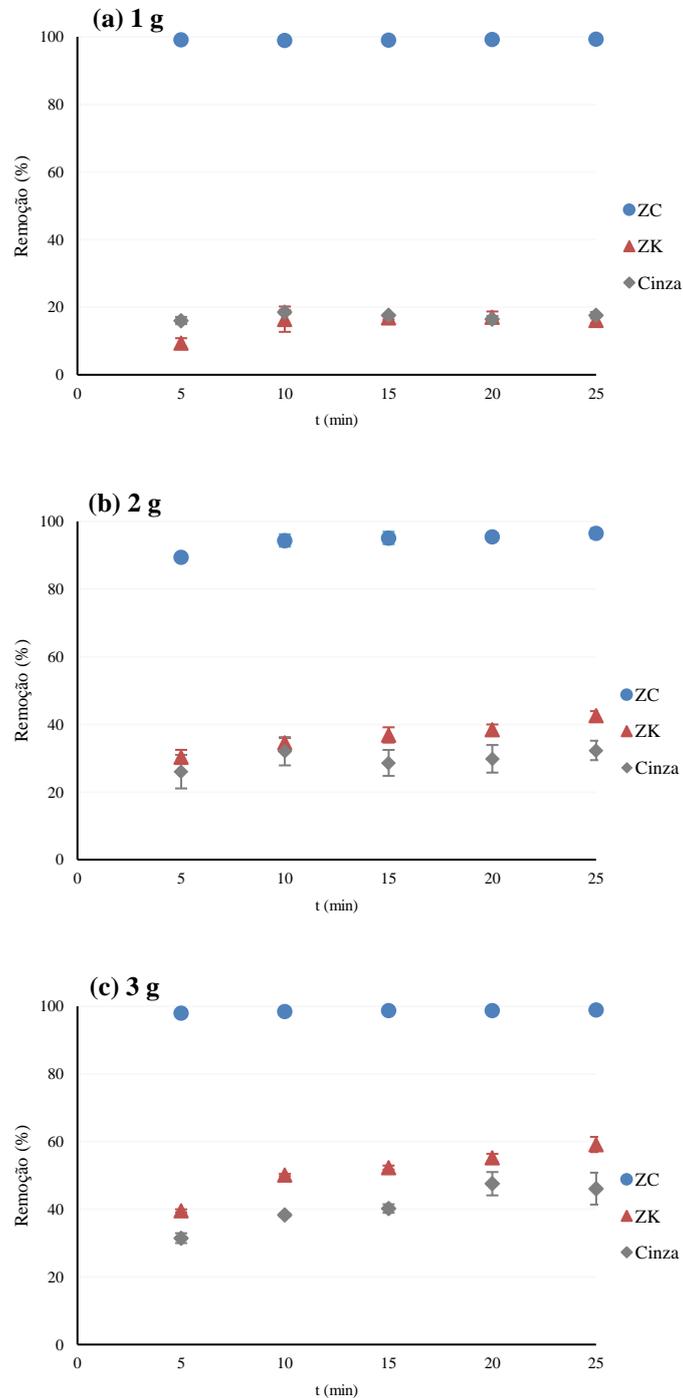
11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

Figura 5 – Remoção da Rodamina-B após adsorção com (a) 1 g, (b) 2 g e (c) 3 g de ZC, ZK e cinza durante 5, 10, 15, 20 e 25 min.



Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

#### 4. CONCLUSÃO

Neste trabalho, foram estudados três sólidos como adsorventes de Rodamina-B em solução aquosa: zeólita natural Clinoptilolita, cinza de carvão volante e material zeolítico sintetizado a partir de cinza de carvão volante. O efeito das diferentes dosagens de adsorvente (1, 2 e 3 g) e dos tempos de contato adsorvente/solução (5, 10, 15, 20 e 25 min) na adsorção de Rodamina-B (solução de 50 mg L<sup>-1</sup>) pelos diferentes adsorventes foi analisado. Este estudo foi feito visando facilitar e simplificar a aplicação de adsorventes de baixo custo para remoção de corantes em um possível futuro processo industrial para tratamento de efluentes.

Quanto à síntese de material zeolítico, a partir de cinza volante de carvão, foi possível identificar a formação de apenas um tipo de zeólita e a presença de material amorfo pelas técnicas de DRX e MEV. Por BET, constatou-se que o material zeolítico sintetizado apresentou área superficial específica 2,5 vezes maior que sua precursora, a cinza de carvão. Além disso, o material zeolítico exibiu área superficial igual à da zeólita natural Clinoptilolita.

Nos ensaios de adsorção, porém, a zeólita Clinoptilolita (ZC) apresentou valores de remoção da Rodamina-B bem superiores aqueles da cinza de carvão e do material zeolítico sintetizado a partir da cinza. O ensaio de adsorção com 1 g de ZC e 5 min de tempo de contato apresentou remoção de 89% de corante. No entanto, quando se aumentou a massa de ZC para 3 g, com o mesmo tempo de contato, obteve-se uma remoção de Rodamina-B de 99%. Isso indica que para essa zeólita quanto maior a dosagem de adsorvente, dentro das condições testadas, maior a remoção de Rodamina-B. O material zeolítico atingiu 59% de remoção do corante na dosagem máxima de 3 g e em 25 min de adsorção; nas mesmas condições, a cinza apresentou 46% de remoção. Também se percebeu que o tempo de contato foi mais influente para os ensaios com material zeolítico e cinza de carvão do que para ensaios com ZC. Embora a ZC mostre um melhor desempenho, existe um interesse na aplicação da própria cinza de carvão ou do material zeolítico derivado desta como adsorvente de corante, uma vez que, assim, seria possível aproveitar um resíduo da combustão de carvão para tratar um efluente.

Conclui-se, portanto, que os três adsorventes foram capazes de remover Rodamina-B de meio aquoso. A zeólita Clinoptilolita apresentou o melhor resultado e a cinza de carvão e o material zeolítico sintetizado exibiram comportamento similar. Apesar das diferenças em performance, todos mostraram-se potenciais alternativas para o tratamento de efluentes com corante.

#### Agradecimentos

À CAPES e ao CNPq.

#### 5. REFERÊNCIAS

- AHMARUZZAMAN, M. A review on the utilization of fly ash. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 36, p. 327–363, 2010.
- American Coal Ash Association (ACAA). **Coal Ash Recycling Reaches Record 56 Percent Amid Shifting Production and Use Patterns**. 2017. Disponível em: <<https://www.aaa-usa.org/Portals/9/Files/PDFs/News-Release-Coal-Ash-Production-and-Use-2016.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2018.
- ATES, A. Role of modification of natural zeolite in removal of manganese from aqueous solutions. **Powder Technology**, v. 264, p. 86–95, 2014.
- ATES, A.; AKGÜL, G. Modification of natural zeolite with NaOH for removal of manganese in drinking water. **Powder Technology**, v. 287, p. 285–291, 2016.
- ATES, A.; HARDACRE, C. The effect of various treatment conditions on natural zeolites: Ion exchange, acidic, thermal and steam treatments. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 372, n. 1, p. 130–140, 2012.

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

- BANAT, I. M.; NIGAM, P.; SINGH, D.; MARCHANT, R. Microbial Decolorization of Textile-Dye-Containing Effluents: A Review. **Bioresource Technology**, v. 58, p. 217–227, 1996.
- BARAN, E.; ACEMIOĞLU, B. Competitive removal of malachite green and rhodamine B using clinoptilolite in a two-dye system. **Clays and Clay Minerals**, v. 64, n. 3, p. 299–313, 2016.
- CAÑIZARES, P.; LOUHICHI, B.; GADRI, A.; NASR, B.; PAZ, R.; RODRIGO, M. A.; SAEZ, C. Electrochemical treatment of the pollutants generated in an ink-manufacturing process. **Journal of Hazardous Materials**, v. 146, n.3, p. 552–557, 2007
- CHINDAPRASIRT, P.; RATTANASAK, U.; JATURAPITAKKUL, C. Utilization of fly ash blends from pulverized coal and fluidized bed combustions in geopolymeric materials. **Cement and Concrete Composites**, v. 33, n. 1, p. 55–60, 2011.
- CRINI, G. Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: A review. **Bioresource Technology**, v. 97, p. 1061–1085, 2006.
- FARHADE, J.; AZIZ, H. Competitive Adsorption of Methylene Blue and Rhodamine B on Natural Zeolite: Thermodynamic and Kinetic Studies. **Chinese Journal of Chemistry**, v. 28, p. 349–356, 2010.
- FLORES, C. G. **Síntese de zeólitas potássicas a partir de cinza de carvão e aplicação no cultivo de trigo**. Porto Alegre, 87 p., 2016. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- GUPTA, V. K.; SUHAS. Application of low-cost adsorbents for dye removal – A review. **Journal of Environmental Management**, v. 90, p. 2313–2342, 2009.
- GUPTA V. K.; SUHAS; IMRAN ALI; SAINI V. K. Removal of Rhodamine B, Fast Green, and Methylene Blue from Wastewater Using Red Mud, an Aluminum Industry Waste. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 43, p. 1740–1747, 2004.
- HASSANPOUR, M.; SAFARDOUST-HOJAGHAN, H.; SALAVATI-NIASARI, M. Degradation of methylene blue and Rhodamine B as water pollutants via green synthesized  $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$  nanocomposite. **Journal of Molecular Liquids**, v. 229, p. 293–299, 2017.
- IZA. **Comission on Natural Zeolites – Merlinoite**. 2005. Disponível em: <<http://www.iza-online.org/natural/Datasheets/Merlinoite/merlinoite.htm>>. Acesso em: 26 abr. 2018.
- LIMA. L. B.; PEREIRA, L. O.; DE MOURA, S. G.; MAGALHÃES, F. Degradation of organic contaminants in effluents—synthetic and from the textile industry—by Fenton, photocatalysis, and  $\text{H}_2\text{O}_2$  photolysis. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n.7, p. 6299–6306, 2017.
- MATHESWARAN, M. Kinetic studies and equilibrium isotherm analyses for the adsorption of Methyl Orange by coal fly ash from aqueous solution. **Desalination and Water Treatment**, v. 29, p. 241–251, 2011.
- MCKAY, G.; PORTER, J. F.; PRASAD, G. R. The Removal of Dye Colours from Aqueous Solutions by Adsorption on Low-Cost Materials. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 114, p. 423–438, 1999.
- MOR, S.; CHHAVI, M. K.; SUSHIL, K. K.; RAVINDRA, K. Assessment of hydrothermally modified fly ash for the treatment of methylene blue dye in the textile industry wastewater. **Environment, Development and Sustainability**, v. 20, p. 625–639, 2018.
- POOTS, V. J. P.; MCKAY, G.; HEALY, J. J. The removal of acid dye from effluent using natural adsorbents – I peat. **Water Research**, v. 10, p. 1061–1066, 1976.
- QIU, R.; CHENG, F.; HUANG, H. Removal of  $\text{Cd}^{2+}$  from aqueous solution using hydrothermally modified circulating fluidized bed fly ash resulting from coal gangue power plant. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 1918–1927, 2018.
- QUEROL, X.; MORENO, N.; UMAÑA, J.C.; ALASTUEY, A.; HERNÁNDEZ, E.; LÓPEZ-SOLER, A.; PLANA, F. Synthesis of zeolites from coal fly ash: an overview. **International Journal of Coal Geology**, v. 50, p. 413–423, 2002.
- ROBINSON, T.; MCMULLAN, G.; MARCHANT, R.; NIGAM, P. Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. **Bioresource Technology**, v. 77, p. 247–255, 2001.

Realização



Correalização



Informações:

[qualidadeambiental.org.br](http://qualidadeambiental.org.br)  
[abes-rs@abes-rs.org.br](mailto:abes-rs@abes-rs.org.br)  
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

- SANTOS, C. R. **Integração dos processos fenton e adsorção para o tratamento de efluentes do tingimento de ágatas contendo o corante Rodamina B.** Porto Alegre, 111 p., 2017. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SARBAK, Z.; STAŃCZYK, A.; KRAMER-WACHOWIAK, M. Characterisation of surface properties of various fly ashes. **Powder Technology**, v. 145, n. 2, p. 82–87, 2004.
- SHABAN, M; ABUKHADRA, M. R.; NASIEF, F. M.; EL-SALAM, H. M. A. Removal of Ammonia from Aqueous Solutions, Ground Water, and Wastewater Using Mechanically Activated Clinoptilolite and Synthetic Zeolite-A: Kinetic and Equilibrium Studies. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 228, 2017.
- SHAKIR, K.; ELKAFRAWY, A. F.; GHONEIMY, H. F.; BEHEIR, S. G. E.; REFAAT, M. Removal of rhodamine B (a basic dye) and thoron (an acidic dye) from dilute aqueous solutions and wastewater simulants by ion flotation. **Water Research**, v. 44, n.5, p. 1449–1461, 2010.
- SILVA, R. A.; PETTER, C. O.; SCHNEIDER, I. A. H. Avaliação da perda da coloração artificial de ágatas. **Revista Escola de Minas**, v. 60, n.3, p. 477–482, 2007.
- SWENSON, P.; TANCHUK, B.; GUPTA, A.; AN, W.; KUZNICKI, S. M. Pervaporative desalination of water using natural zeolite membranes. **Desalination**, v. 285, p. 68–72, 2012.
- TREACY, M. M. J.; HIGGINS, J. B. **Collection of Simulated XRD Powder Patterns for Zeolites.** Princeton: Elsevier, 200. 586 p.
- WANG, S.; LI, H.; XU, L. Application of zeolite MCM-22 for basic dye removal from wastewater. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 295, n. 1, p. 71–78, 2006.
- WANG, S.; ZHU, Z. H. Characterisation and environmental application of an Australian natural zeolite for basic dye removal from aqueous solution. **Journal of Hazardous Materials**, v. B136, p. 946–952, 2006.
- ZANIN, E. **Adsorção de metais residuais do efluente da indústria gráfica em clinoptilolita.** Chapecó, 101 p., 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Comunitária da Região de Chapecó.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375