

REMOÇÃO DOS ÍONS Cr^{3+} UTILIZANDO A CINZA DA CASCA DE ARROZ COMO ADSORVENTE

CR3 + ION REMOVAL USING RICE HUSK ASH AS ADSORBENT

Fábio Pereira *

Patrícia Mendonça Pimentel**

RESUMO

Existe uma grande preocupação com o destino adequado de resíduos industriais e isso motivou o desenvolvimento de tecnologias para o uso desses resíduos. No que se refere aos efluentes industriais, a adsorção tem se destacado como uma tecnologia eficaz para remoção de metais pesados. Os adsorventes não convencionais e de baixo custo foram estudados para substituir o carvão ativado, que é o adsorvente mais utilizado nas indústrias. Neste trabalho, a cinza da casca de arroz (CCA), resíduo da calcinação da casca de arroz foi caracterizado com o objetivo de usá-la como adsorvente de íon de cromo trivalente. As cinzas foram caracterizadas por difração de raios X, fluorescência de raios X e microscopia eletrônica de varredura. A composição química e a morfologia das cinzas foram adequadas para experimentos de adsorção. Os testes de adsorção dos íons Cr^{3+} pelo método do banho finito foram realizados a pH 5,5. A concentração de íons foi determinada usando espectroscopia de absorção atômica. Análise qualitativa da adsorção por espectroscopia de absorção na região visível por UV, também foi realizada. Os resultados revelaram a remoção com uma eficiência de 73% no tempo de equilíbrio de 90 min.

Palavras-chave: Cinza da casca de arroz. Adsorção. Banho finito. Cromo.

ABSTRACT

There is great concern about the proper destination of industrial waste and this has motivated the development of technologies for the use of this waste. In relation to industrial effluents, adsorption has stood out as an effective technology for removing heavy metals. Non-conventional and low-cost adsorbents have been studied to replace activated carbon, which is the most widely used adsorbent in industries. In this work, rice husk ash (RHA), a residue from the calcination of rice husk, was characterized with the objective of using it as a trivalent chromium ion adsorbent. The ashes were characterized by X-ray diffraction, X-ray fluorescence and scanning electron microscopy. The chemical composition and morphology of the ashes were suitable for adsorption experiments. The adsorption tests of Cr^{3+} ions by the finite bath method were performed at pH 5.5. The ion concentration was determined using atomic absorption spectroscopy. Qualitative analysis of adsorption was also performed by absorption spectroscopy in the visible region by UV. The results revealed the removal with an efficiency of 73% at equilibrium time of 90 min.

Key words: Rice husk ash. Adsorption. Batch. Chrome.

Data de submissão: 05/02/2020

Data de aprovação: 05/02/2020

* Discente do curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia – Universidade Federal Rural do Semi-Árido/ Campus Angicos. E-mail: Pereira.21f@gmail.com

** Docente – Universidade Federal Rural do Semi-Árido – Departamento de Ciências Exatas e Tecnologia da Informação. E-mail: pimentelp@ufersa.edu.br;

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o crescimento demográfico desenfreado associado à produção industrial em larga escala, têm sido objeto de grande preocupação internacional. Essa dinâmica tem contribuído significativamente para a contaminação do solo e, sobretudo, das águas. Dentre as contaminações mais prejudiciais, destaca-se aquelas relacionadas aos metais pesados. Os metais pesados têm número atômico e massa elevados e participam em reações químicas do metabolismo celular (SANTOS et al, 2015), são tóxicos, não biodegradáveis e duradouros e, gradualmente, se acumulam nos tecidos vivos de toda cadeia alimentar (SILVA, 2018).

A contaminação da água por metais pesados é foco de grande preocupação por provocar sérios danos ao meio ambiente e à saúde de quem a consome. Mesmo em baixas concentrações, os efeitos toxicológicos e fisiológicos são severos (NASCIMENTO; BARBOSA, 2005). Os metais pesados estão intimamente ligados à manutenção da homeostase celular e podem causar toxicidade se a exposição ocorrer de maneira intensificada. Alumínio, arsênio, mercúrio, cobre e zinco têm capacidade de causar lesões no sistema nervoso central e têm sido relatados como gatilhos no aparecimento de doenças neurodegenerativas como Parkinson e Alzheimer (ZENDRON, 2013).

A espécie trivalente do cromo (Cr^{+3}) é considerada essencial para o organismo humano por participar do metabolismo da glicose (BATISTA, 2012). Entretanto em ambiente aquosos, o cromo pode apresentar-se de duas formas trivalente (Cr^{3+}) e hexavalente (Cr^{6+}). Em compostos hexavalentes (Cr^{6+}) as preocupações são mais acentuadas devido a sua alta solubilidade em água e mobilidade em comparação com o trivalente (Cr^{3+}). Porém, o risco potencial do Cr^{3+} não pode ser negligenciado devido à sua possível conversão em Cr^{6+} (HONGMEI et al., 2020).

Há uma grande variedade de tratamentos que são empregados na indústria para à remoção de contaminantes em meio aquoso, que vão desde de tratamentos biológicos a tratamentos físico-químicos. No entanto, motivado por desvantagens e inconvenientes técnicos, a procura por novas tecnologias alternativas e mais eficientes se tornam constantes. Os métodos que são mais empregados para a descontaminação de água contendo metais pesados, por exemplo, citam-se os processos de trocas iônicas, adsorção, separação por membrana, processos biológicos e eletroquímica (FREITAS; CÂMARA; MARTIS, 2015), mas, a adsorção sólido/líquido, ainda assim, é uma das técnicas mais promissoras e efetivas acerca da remoção de metais.

A adsorção é um processo de separação, tecnologia importante e muito usada na Química. O carvão ativado é o adsorvente mais utilizado comercialmente por apresentar alta área superficial e porosidade (BORGES, 2016). Adsorventes não-convencionais como xisto retornado (PIMENTEL et al., 2006), a bentonita (CASTRO et al., 2020) e material mesoporoso tipo SBA-15 (HONGMEI et al., 2020), entre outros, vem sendo estudados. Os adsorventes podem reter certos tipos de impurezas nos efluentes, como íons metálicos, contaminantes orgânicos e partículas grandes que causam coloração, sabor ou odor indesejável na água. Essas partículas permanecem fixadas ao adsorvente por quimissorção e/ou fissorção ativadas (FERNANDES, 2005).

A procura por adsorventes de baixo custo aliado a estudos de aproveitamento de resíduos, vem aumentando o número de trabalhos na área de adsorção utilizando adsorventes não convencionais. Resíduo como cinza da casca de arroz por apresentar composição basicamente de sílica, se torna um material com potencial para ser utilizado como matéria-prima para a elaboração de diversos materiais, em diversos segmentos da indústria, tais como a construção civil, cerâmica, química e material adsorvente (KIELING, 2016). A CCA 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; HANAFIAH, 2008).

No ano agrícola 2018/2019 o Brasil produziu cerca de 75,83% da produção de arroz do bloco do mercosul (JUNIOR, 2019). O estado do Rio Grande do Sul na safra 2016/2017 produziu 70,8% do total da produção nacional, dos quais, 20% representa resíduo casca que dificilmente retornam a região produtora, necessitando ter uma destinação adequada (MURARO; CAMELO; DENIS, 2018). Resíduo esse, que após o beneficiamento do arroz, normalmente é queimado em engenhos na secagem dos grãos e as cinzas são jogadas ao longo das plantações e/ou fundo de rios (STEFFEN; ANTONIOLLI; MACHADO, 2010). Ao se procurar dá uma destinação mais adequada a cinza da casca de arroz (CCA), pesquisas passaram a ser desenvolvidas buscando utilidade para esse resíduo, por exemplo, empregado em concreto estrutural (ISAIA et al., 2010), argamassas de assentamento (BEZERRA et al., 2011), pigmentos cerâmicos (SILVA et al., 2016), suporte para catalisador (ZANOTELI; FREITAS; SILVA, 2014) e adsorvente (SOUZA, 2019).

Nesse contexto, buscando desenvolver adsorventes alternativos e oferecer destinação final ambientalmente adequada para os resíduos da casca de arroz, este trabalho tem como objetivo adsorver íons Cr^{3+} de soluções aquosas utilizando a cinza da casca de arroz como adsorvente.

2 METODOLOGIA

2.1 Materiais

A cinza da casca de arroz (CCA) utilizada nesse trabalho foi fornecida pela empresa Café Itans, com sede em Caicó, localizado no estado do Rio Grande do Norte. A solução de cromo utilizada foi preparada utilizando o nitrato de cromo (III) nonahidratado ($\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$), (pureza 99%) da marca Vetec.

2.2 Procedimento experimental ou método

O ensaio de adsorção do íon Cr^{3+} (adsorbato) utilizando a cinza da casca de arroz (CCA) como adsorvente foi desenvolvido pelo método de imersão em volume finito de um líquido, conhecido também como banho finito (batch). Inicialmente, foi preparada solução de cromo na concentração 0,028 mol/L, com pH 5,5, conforme Pimentel (2005). O ajuste no pH foi feito adicionando NaOH e HCl. Nos testes de adsorção, foram pesadas 1g de cinza da casca de arroz, colocados dentro de um erlenmeyer junto com 100 mL de solução do adsorbato. Posteriormente, foi levada a um incubadora Shaker, modelo Luca-223. A mistura foi mantida sob agitação constante (150 rpm) e temperatura ambiente (26 °C) durante os tempos de 15, 30, 45, 60, 75, 120 e 150 minutos. Ao final de cada tempo, a mistura foi filtrada para a remoção do sobrenadante, o qual foi armazenado para determinação da concentração dos íons Cr^{3+} por espectroscopia de absorção atômica.

A redução da concentração da solução ao longo do tempo indica que a quantidade de adsorbato (Cr^{3+}) que está sendo adsorvido (PIMENTEL et al., 2006). A eficiência ou percentual de adsorção é dada pela equação abaixo, onde o C_0 é a concentração inicial e o C_e , a concentração final:

$$\text{Eficiência (\%)} = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

Se obtém o equilíbrio quando a quantidade de adsorbato retida sobre o adsorvente entra em equilíbrio com o restante livre na solução. Ao se supor que o componente inerte não é adsorvido, uma análise de massa entre as condições iniciais e finais fornece o ponto de

equilíbrio do sistema, em uma determinada temperatura. Matematicamente tem-se (PIMENTEL, 2006).

$$q = \frac{V(Co - Ce)}{M_s} \quad (2)$$

Sendo, q a relação da quantidade adsorvida por quantidade de adsorvente (mg.g^{-1}), V o volume da solução utilizada (L), M_s a massa do adsorvente (g), Co e Ce as concentrações iniciais e finais.

2.3 Caracterização

A CCA foi caracterizada por: espectroscopia de fluorescência de raios X (FRX) utilizando o equipamento modelo EDX 720 da Shimadzu; difração de raios X (DRX) utilizando o difratômetro modelo XRD-600 da Shimadzu, operando com radiação $\text{CuK}\alpha$, com o ângulo de 2θ variando de 5 a 60° e com velocidade de varredura de $1,2^\circ \text{ deg/min}$; as micrografias MEV foram obtidas por meio do microscópio eletrônico de varredura da marca Tescan, modelo Vegan3. O filtrado foi caracterizado por absorção atômica modelo espectrofotômetro da marca VARIAN (AA240FS), espectroscopia na região do UV-visível utilizando o Evolution 600 UV-VIS, modelo EVO600PC, da marca THERMO.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta a composição química da cinza da casca de arroz determinada por fluorescência de raios X (FRX). Analisando-se a composição química da amostra da CCA, verifica-se que a CCA apresenta elevados teores de SiO_2 (75.93%). Esta amostra de CCA é similar as encontradas em trabalhos (NASCIMENTO et al., 2015; CHAVES et al., 2009; ANGEL et al., 2009). De acordo com o observado, a CCA é composta em sua maioria por óxidos ácidos (SiO_2 , SO_3 , P_2O_5), básicos (Ca , K_2O , MgO) e anfóteros (Al_2O_3). A presença desses óxidos na amostra é que vai garantir que na superfície dos grãos a presença de grupos ativos com habilidade de reter metais pesados, numa interação tipo ácido-base de Lewis.

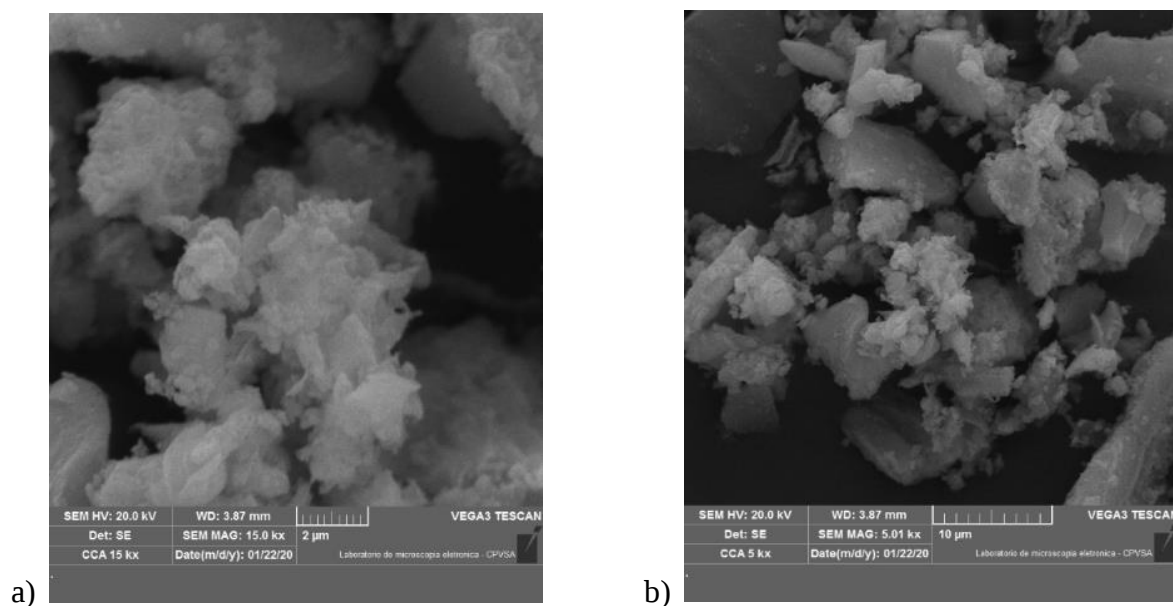
Tabela 1 - Composição química cinza da casca de arroz

CCA	SiO_2	CaO	K_2O	MgO	Al_2O_3	Fe_2O_3	SO_3	P_2O_5	Outros Óxidos	PF
(%)	75,93	9,40	3,15	0,80	1,87	0,43	0,99	1,64	0,44	5,53

Fonte: Autoria própria (2020)

As Figuras 1a e 1b apresentam as micrografias de fragmentos da CCA obtidas no MEV. Nessas imagens, pode-se observar uma morfologia irregular com protuberâncias e muitos poros, o qual é indicativo de área superficial específica elevada. Os minerais presentes na cinza formam aglomerados com tamanho de partículas variados, sendo na sua maioria sílica, conforme constatado na composição mineralógica, e corroborado com outros trabalhos na literatura (ANGEL et al., 2009); (DELLA; KUHN; HOTZA, 2005); (PEREZ et al., 2019).

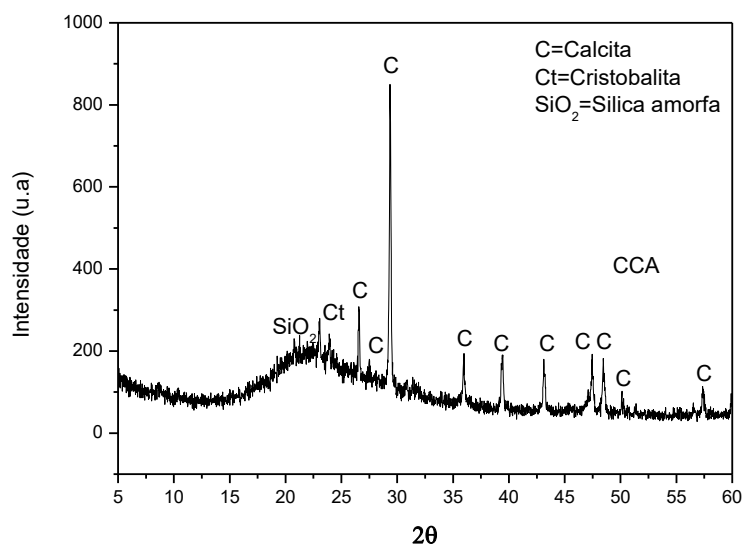
Figura 1 - Imagens MEV da CCA com ampliações de a) 15.000x e b) 5000x



Fonte: Autoria Própria

O difratograma de raios-x da CCA está ilustrado na Figura 2. Com base nos resultados foram identificadas as seguintes fases mineralógicas: calcita (ICDD 005-0586) e cristobalita (ICDD 082-0512). Também foi identificado uma região entre $17,5 < \theta < 25^\circ$ atribuída a sílica amorfa (SiO_2). Os resultados do difratograma corroboram com a composição química da amostra (Tabela 1). Os teores de óxidos de silício e cálcio estão relacionados a presença das reflexões referentes a cristobalita e calcita, respectivamente. A presença do óxido de silício também é justificada pela região amorfa entre $17,5 < \theta < 25^\circ$.

Figura 2 - Difratograma de raios X da amostra de CCA

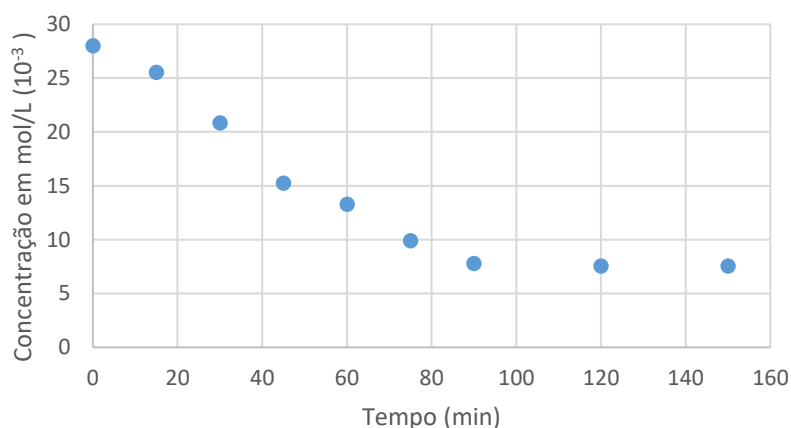


Fonte: Autoria própria (2020)

Os testes de adsorção foram realizados em pH 5,5, uma vez que é um parâmetro que influencia a química de soluções de metais pesados (hidrólise, complexação, reações redox, e precipitação) e afeta fortemente a disponibilidade de especiação e sorção de metais pesados. Desse modo, o efeito na captação de íons de (Cr^{3+}) é máxima para um pH~ 5,5, para pH acima desse valor, o hidróxido de cromo se torna insolúvel e começa a precipitar da solução, impossibilitando estudos de adsorção (PIMENTEL, 2006).

A Figura 3 apresenta um gráfico da concentração de Cr^{3+} em função do tempo de contato para ensaio realizado com concentração inicial de 0,028 mol/L. Pode-se observar que para o intervalo de tempo entre 0 e 90 minutos, há um acentuado decréscimo da concentração da solução de Cr^{3+} em função do tempo. A concentração no tempo zero era 0,028 mol/L, em 90 minutos passa para 0,0078 mol/L e o que ficou retido no adsorvente foi 0,0202 mol/L. Após os primeiros 90 minutos o sistema entra em equilíbrio, explicado considerando-se que um maior número de moléculas que ocasiona choques entre os íons metálicos e os sítios básicos da cinza da casca de arroz já se integraram.

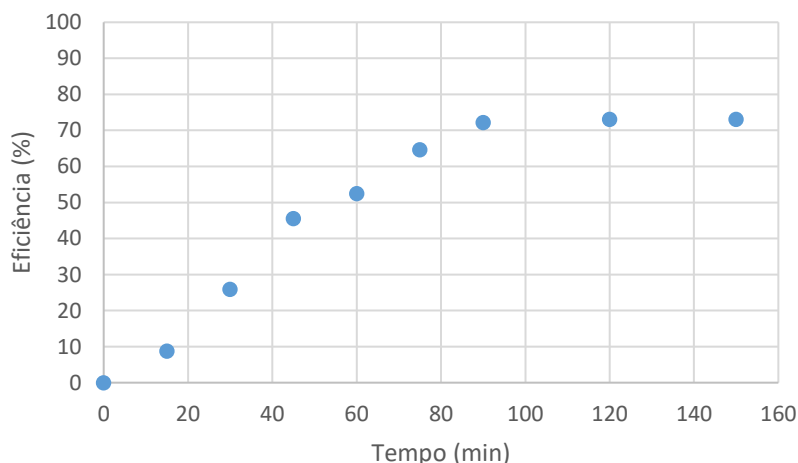
Figura 3 - Concentração de Cr^{3+} em solução, obtida por absorção atômica



Fonte: Autoria própria (2020)

O efeito do tempo sobre o percentual de adsorção está representado na Figura 4. Os valores de adsorção aumentam à medida que o tempo de contato aumenta, alcançando um máximo de remoção em 90 minutos para 1g de CCA.

Figura 4 - Efeito do tempo sobre o processo de adsorção



Fonte: Autoria própria (2020)

Os resultados numéricos também são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Concentração final e porcentagem de remoção em função do tempo para uma concentração inicial de 0,028 mol/L

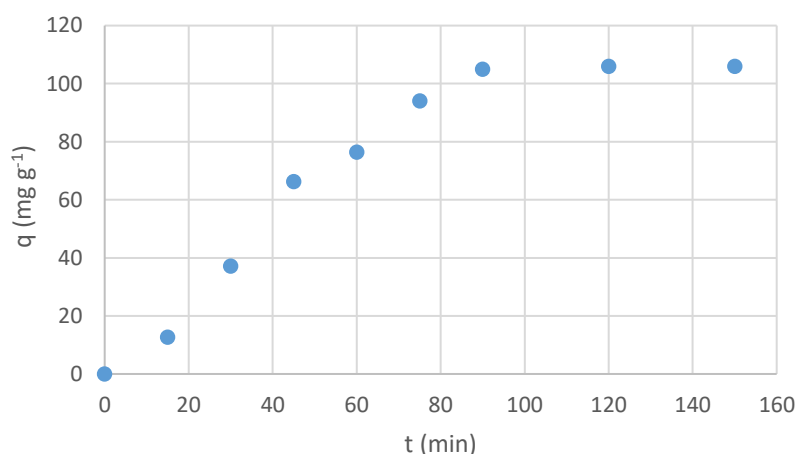
Tempo (minutos)	Concentração (Mol/L)	Eficiência (%)
00	0,02800	0
15	0,02555	8,75
30	0,02085	25,86
45	0,01525	45,54
60	0,01330	52,49
75	0,00991	64,63
90	0,00780	72,14
120	0,00755	73,04
150	0,00755	73,04

Fonte: Autoria própria (2020)

A Figura 5 mostra a quantidade de cromo adsorvido (q) medida em função do tempo. É importante se conhecer o tempo de equilíbrio porque é um parâmetro que deve ser observado na escolha de um adsorvente que será submetido ao tratamento de águas contaminadas com metais pesados (PIMENTEL, 2006). A parcela de metal adsorvido foi estimada a partir dos valores da concentração dos íons de cromo antes e durante o processo de adsorção usando a equação 2 apresentada no item 2.2. Inicialmente, a taxa de remoção é elevada e vai diminuindo ao longo do tempo atingido o equilíbrio em aproximadamente 90 min. Isso acontece porque os sítios de adsorção estão disponíveis nos primeiros minutos, levando a cobertura de uma monocamada de adsorbatos na superfície do adsorvente. Com o passar do tempo, a quantidade adsorvida diminui, uma vez que ocorre a saturação do adsorvente. De acordo com PIMENTEL (2006), em sistemas de adsorção líquido-sólido para íons metálicos, dificilmente ocorre superposição de camadas de adsorbatos, visto que a deposição de camadas adicionais é dificultada pelo poder de solvatação do solvente.

A capacidade máxima de adsorção (q) em mg/g foi de aproximadamente 105 m/g, resultado bastante significativo, principalmente, quando comparados com outros adsorventes não convencionais, como por exemplo xisto retornado (PIMENTEL, 2006), quitosana (MCKAY; BLAIR, 1989), Turfa (KERTMAN; CHIBRIKOVA, 1993) que apresentaram valores de 43,46 mg/g, 92,00 mg/g e 76,00 mg/g, respectivamente.

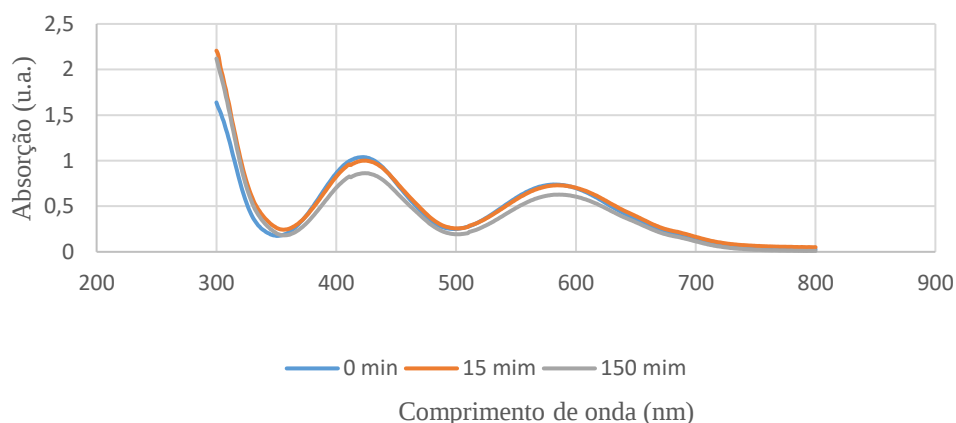
Figura 5 - Influência do tempo de contato sobre a adsorção do Cr^{3+} em CCA



Fonte: Autoria própria (2020)

A Figura 6 nos fornece informações qualitativas da adsorção de íons (Cr^{3+}) pela CCA, através dos espectros eletrônicos de absorção na região do UV-visível. Os espectros apresentam duas bandas, em aproximadamente 430 e 570 nm, características do íon Cr^{3+} em ambiente octaédrico ($[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$). Os espectros foram registrados nos tempos zero, 15 e 150 min, de acordo com a Lei de Lambert-Beer, a absorção é diretamente proporcional a concentração da solução, ou seja, quanto maior for a concentração do íon disponível para receber a fonte de luz incidente na amostra, maior será a intensidade da banda de absorção (CANASSA, 2018). Portanto, pode-se observar uma diminuição da intensidade das bandas de absorção com o aumento do tempo de contato, indicando que a concentração do adsorbato na solução diminuiu, uma vez que ficou retido no adsorvente.

Figura 6 - Espectros de absorção na região do UV-visível dos ensaios realizados nos tempos de 15 e 150 minutos



Fonte: Autoria própria (2020)

4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstram que a cinza da casca de arroz, provenientes do Café Itans de Caicó, apresenta elevado potencial para utilização como adsorvente de íons metálicos em soluções aquosas. Na caracterização físico-química, verifica-se que a composição da CCA garante na superfície dos grãos a presença de grupos ativos provenientes das espécies minerais e dos resíduos orgânicos que atribuem às amostras características de adsorventes. De acordo com o que foi apresentado, pode-se dizer que:

- A eficiência da adsorção, nas condições de temperatura, pH 5,5, e tempos estudados foi 73 % em relação a concentração inicial de 28×10^{-3} mol/L.
- A remoção aumenta, à medida que o tempo de contato aumenta, chegando ao equilíbrio aos 90 minutos.

Portanto é possível afirmar, que a cinza da casca de arroz é um potencial material, a ser utilizado, para o tratamento de efluentes contaminados com metais pesados. Aliado a isso, o uso da CCA como adsorvente possibilita agregar valor a esse resíduo, como também favorece a diminuição dos impactos negativos que esse material poderá ocasionar, uma vez, que este não tenha uma destinação ambiental adequada.

REFERÊNCIAS

ANGEL, M., Daniel, J.; PINEDA Vásquez, T. G.; JUNKES, J. A.; HOTZA, D. (2009). Caracterização de cinza obtida por combustão de casca de arroz em reator de leito fluidizado. **Química nova**, v. 32, n. 5, p. 1110-1114, 2009.

Baptista, F. P. (2012). **Avaliação da exposição ambiental ao cromo na população residente no entorno de curtumes em Rondônia**. 2012. Tese de Doutorado.

BEZERRA, I. M.; SOUZA, J.; CARVALHO, J.; NEVES, G. A. (2011). Aplicação da cinza da casca do arroz em argamassas de assentamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(6), 639-645. BORGES, Willian Miguel da Silva et al. Produção, caracterização e avaliação da capacidade adsorptiva de carvões ativado em forma de briquete. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 21, n. 4, p. 930-942, 2016.

CANASSA, Thalita A.; LAMONATO, Anna Luisa; RIBEIRO, Allan Victor. Utilização da lei de Lambert-Beer para determinação da concentração de soluções. **Journal of Experimental Techniques and Instrumentation**, v. 1, n. 2, 2018.

CASTRO-CASTRO, Johnatan D.; SANABRIA-GONZÁLEZ, Nancy R.; GIRALDO-GÓMEZ, Gloria I. Experimental data of adsorption of Cr (III) from aqueous solution using a bentonite: Optimization by response surface methodology. **Data in brief**, v. 28, p. 105022, 2020.

CHAVES, T. F.; QUEIROZ, Z. F. D.; SOUSA, D. N. R. D.; GIRÃO, J. H. S.; RODRIGUES, E. D. A. (2009). Uso da cinza da casca do arroz (CCA) obtida da geração de energia térmica como adsorvente de Zn (II) em soluções aquosas. *Química nova*, 32(6), 1378-1383.

DA SILVA, W. L. L.; SIMONI, J. de A. Estudo termodinâmico da adsorção de cobre (II) em montmorilonita organicamente modificada. **Cerâmica**, v. 64, n. 371, p. 403-412, 2018.

DE FREITAS, Fernanda Beatriz Aires; DE FREITAS CÂMARA, Myrelle Yasmine; FREIRE, Martins Daniel Freitas. Determinação do PCZ de adsorventes naturais utilizados na remoção de contaminantes em soluções aquosas. **Blucher Chemistry Proceedings**, v. 3, n. 1, p. 610-618, 2015.

DELLA, V. P.; KÜHN, I.; HOTZA, D. Reciclagem de resíduos Agro-industriais: cinza de casca de arroz como fonte alternativa de sílica. **Cerâmica Industrial**, v. 10, n. 2, p. 22-25, 2005.

FABIULA ARENHARDT DENIS, C. D. (25 e 26 de Outubro de 2018). Aproveitamento e valorização da casca de arroz: uma revisão bibliométrica. **VI simpósio da ciência do agronegócio**. Porto Alegre/RS, 2018.

FERNANDES, Roseli (2005). Adsorventes alternativos para remoção de fenol em solução aquosa. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/102154>. Acesso 13 dez. 2019.

ISAIA, G. C.; GASTALDINI, A. L. G.; MEIRA, L., Duart, M.; ZERBINO, R. (2010). Viabilidade do emprego de cinza de casca de arroz natural em concreto estrutural. Parte I: propriedades mecânicas e microestrutura. *Ambiente Construído*, 10(1), 121-137.

JUNIOR, S.R. (Dezembro de 2019). CONAB. Disponível em: [file:///C:/Users/55849/Downloads/ArrozZ-ZAnaliseZMensalZ-ZNovembro-DezembroZ-Z2019%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/55849/Downloads/ArrozZ-ZAnaliseZMensalZ-ZNovembro-DezembroZ-Z2019%20(1).pdf). Acesso: 22 jan. 2020.

KERTMAN, S. V.; KERTMAN, G. M.; CHIBRIKOVA, Zh S. Peat as a heavy-metal sorbent. **Russian Journal of Applied Chemistry**, v. 66, n. 2, p. 382-383, 1993.

KIELING, Amanda Gonçalves; MORAES, Carlos Alberto Mendes; BREHM, Feliciane Andrade. Utilização de cinza de casca de arroz na remoção de cromo hexavalente. **Estudos Tecnológicos**, v. 5, n. 3, p. 351-362, São Leopoldo/RS, 2009.

MCKAY, G.; BLAIR, H. S. (1989). Equilibrium studies for the sorption of metal ions onto chitosan. 1989.v. A28, p. 356-360, 1989.

MURARO, Pêrsio.; CAMELO, Caeverton de Oliveira.; DENIS, Fabiula Arenhardt. Aproveitamento e valorização da casca de arroz: uma revisão bibliométrica. In: VI SIMPÓSIO DA CIÊNCIA DO AGRONEGÓCIO. Porto Alegre/RS, 2018.

NASCIMENTO, G. C.; DOMINGUINI, L.; MELLO, J. M. M.; DAL MAGRO, J.; RIELLA, H. G.; FIORI, M. A. (2015). Caracterização físico-química da cinza de casca de arroz oriunda do processo termelétrico do sul de Santa Catarina-Brasil. *Ciência e Natura*, 37(3), 634-640.

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.

PEREZ, D.; SEVERO, L.; CAMPANELLI, D.; ARMAS, L. Análise da produção de grafeno através da carbonização da cinza de casca do arroz. XIII Congresso Brasileiro de Engenharia

Química em Iniciação Científica. **Minas Gerais**, v.1. n. 6, 2019. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/anlise-da-producao-de-grafeno-atravs-da-carbonizacao-da-cinza-de-casca-do-arroz-30898> Acesso em: 23 jan. 2020.

PIMENTEL, PATRÍCIA MENDONÇA. Remoção de metais pesados em águas produzidas usando xisto retortado como adsorvente. 154 f. tese (doutorado em ciência e engenharia dos materiais), Universidade Federal do rio grande do Norte, 2005.

PIMENTEL, P. M.; SILVA Jr, C. N.; MELO, D. M. A.; MELO, M. A. F.; MALDONADO, G.; HENRIQUE, D. M. (2006). Caracterização e uso de xisto para adsorção de chumbo (II) em solução. *Cerâmica*, 52(323), 194-199.

SANTOS, C., SILVA, R. D. S., YOSHIOKA, E. T. O., BEZERRA, R. M. (2015). Contaminação por metais pesados em peixes e água da bacia do rio Cassiporé, Estado do Amapá, Brasil. *Acta Amazonica*, 45(4), 405-414.

SILVA, R. R.; SCHIMANOSKI, T. Z.; PRIM, S. R.; VIERIA, L. A.; FOLGUERAS, M. V. Análise da viabilidade de síntese de pigmento azul, estrutura willemite, Zn_2SiO_4 , a partir da incorporação de SiO_2 proveniente de cinzas da casca de arroz. Aplicação em revestimentos cerâmicos.

SOUZA, Lília Alves de. "Cromo"; **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/cromo.htm>. Acesso em: 19 dez. 2019.

SOUZA, Hevilly Formiga de et al. Uso de carvão ativado proveniente da casca de arroz (*oryza sativa*) para a remoção de azul de metileno. 2019. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/10407>. Acesso: 20 dez 2019.

STEFFEN, G. P. K.; ANTONIOLLI, Z. I., Steffen, R. B.; MACHADO, R. G. (2010). Casca de arroz e esterco bovino como substratos para a multiplicação de minhocas e produção de mudas de tomate e alface. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, (2), 333-343.

WEI, Xinhui et al. Adsorption behaviors of atrazine and Cr (III) onto different activated carbons in single and co-solute systems. **Powder Technology**, v. 329, p. 207-216, 2018.

Wu, H., Xiao, Y., Guo, Y., Miao, S., Chen, Q., Chen, Z. (2020). Functionalization of SBA-15 mesoporous materials with 2-acetylthiophene for adsorption of Cr (III) ions. *Microporous and Mesoporous Materials*, 292, 109754.

ZANOTELI, Karine; FREITAS, Jair CC; SILVA, Paulo Roberto Nagipe da. Estudo de catalisadores de níquel suportados em cinza de casca de arroz na reforma de metano com dióxido de carbono visando a produção de hidrogênio e gás de síntese. **Química Nova**, v. 37, n. 10, p. 1657-1662, 2014.

ZENDRON, D.R. (2015). Mecanismos de neurotoxicidade e doenças neurológicas relacionadas à intoxicação por metais pesados. *Revista Brasileira de Nutrição Funcional*, 64.