

Casca de arroz modificada com hidróxido de sódio para adsorção de cobre**Rice husk modified with sodium hydroxide for copper adsorption**

DOI:10.34117/bjdv6n3-067

Recebimento dos originais: 31/01/2020

Aceitação para publicação: 05/03/2020

Emanoel Oliveira de Aviz

Graduando em Licenciatura em Ciências Naturais, Universidade Federal do Pará (UFPA), Campus Marajó-Breves (CUMB), Faculdade de Ciências Naturais (FACIN), Laboratório de Ciências Naturais (LACIN), Endereço: Avenida Anajás -s/n sl4, CEP: 68800-000, Breves-Pará-Brasil. Autor principal, E-mail: emanoelju1402@gmail.com

Arlesson Pereira da Silva

Graduando em Licenciatura em Ciências Naturais, Universidade Federal do Pará (UFPA), Campus Marajó-Breves (CUMB), Faculdade de Ciências Naturais (FACIN), Laboratório de Ciências Naturais (LACIN), Endereço: Avenida Anajás -s/n sl4, CEP: 68800-000, Breves-Pará-Brasil. E-mail: arlesson0703@gmail.com

Josiney Farias de Araújo

Mestrando em Ecologia, Laboratório de Ecologia de Produtores (ECOPRO), Universidade Federal do Pará (UFPA), Instituto de Ciências Biológica (ICB), Campus: Belém, E-mail: josineyaraujo@yahoo.com.br

Breno Aragão dos Santos

Mestre em Química, Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus do Pici, Fortaleza-Ceará-Brasil, E-mail: breno.aragaodossantos@yahoo.com.br

Carla Bastos Vidal

Doutora em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) pela Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus do Pici, Fortaleza-Ceará-Brasil, E-mail: carla.vidal@gmail.com

Victória Maria Horácio Jerônimo

Graduada em Licenciatura em Química, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Campus Iguatu (Unidade II - Cajazeiras), Endereço: Rua do Cruzeiro 538, 63514-500, E-mail: victoriahoracio21@gmail.com

Simonny do Carmo Simões Rolo de Deus

Doutora em Química, Universidade Federal do Pará (UFPA), Instituto Tecnológico VALE Desenvolvimento Sustentável, E-mail: deussimonny@gmail.com

Ricardo Jorge Amorim de Deus

Doutor em Química, Universidade Federal do Pará (UFPA), Instituto de Ciências Biológicas (ICB), E-mail: dedeus@ufpa.br

Leandro Marques Correia

Doutor em Engenharia Química (UFC), Universidade Federal do Pará (UFPA), Campus Marajó-Breves (CUMB), Faculdade de Ciências Naturais (FACIN), Laboratório de Ciências Naturais (LACIN), Endereço: Avenida Anajás -s/n sl4, Breves-Pará, CEP: 68800-000, Breves-Pará, Breves-Pará. Autor correspondente, E-mail: lmcleleufc@yahoo.com.br

RESUMO

A casca de arroz é um revestimento de grão de arroz que possui quatro camadas estruturais (epiderme externa, fibra hipoderme, célula parênquima esponjosa e epiderme interna) e sua composição é de matéria orgânica e sílica, também possuindo características, tais como: fibrosidade, natureza abrasiva, volume elevado, alto teor residual. O objetivo do presente trabalho foi estudar a aplicabilidade da casca de arroz modificada com uma solução de $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ de NaOH, para posterior utilização do material obtido como adsorvente para soluções contendo íons Cu^{2+} . A metodologia experimental empregada para os experimentos de adsorção em batelada consiste no estudo de um planejamento fatorial 2^3 e 3 repetições no ponto central. As variáveis de entrada correspondem à concentração de metais (5 mg L^{-1} , 10 mg L^{-1} e 15 mg L^{-1}), massa de adsorvente (50 mg, 100 mg e 150 mg) e tempo de contato da solução de metais (30 min, 45 min e 60 min). Diante dos resultados obtidos, após a otimização das condições de adsorção em batelada, foi verificado que a capacidade de adsorção mais elevada foi obtida com as seguintes condições adsorptivas: 15 mg L^{-1} de Cu^{2+} , 50 mg de massa do adsorvente, tempo de contato entre adsorvente e adsorvato de 60 min, pH 6, temperatura ($30 \text{ }^\circ\text{C}$) e velocidade de agitação de 100 rpm, obtendo-se q igual a $13,06 \text{ mg g}^{-1}$. Também pelos resultados obtidos do gráfico do Diagrama de Pareto, observa-se que as duas variáveis são significativas sobre a resposta (capacidade de adsorção de Cu^{2+}) para um intervalo de confiança de 95%, os quais foram a concentração de Cu^{2+} e a massa do adsorvente, pois o tempo de contato do adsorvente com o adsorvato não ultrapassou o limite de confiança dos 95%. Dessa maneira, a casca de arroz modificada foi eficiente como material adsorvente para avaliar a capacidade de adsorção de Cu^{2+} em soluções aquosas.

Palavras-chave: Adsorção. Casca de arroz modificada. Cobre.

ABSTRACT

The rice husk is a coating of rice grain that has four structural layers (outer epidermis, hypodermis fiber, spongy parenchyma cell and inner epidermis) and its composition is made of organic matter and silica, also having characteristics such as: fiber, nature abrasive, large volume, high residual content. The objective of the present work was to study the applicability of rice husks modified with a solution of 0.1 mol L^{-1} of NaOH, for later use of the material obtained as an adsorbent for solutions containing Cu^{2+} ions. The experimental methodology used for batch adsorption experiments consists of studying a factorial design 2^3 and 3 repetition at the central point. The input variables correspond to the concentration of metals (5 mg L^{-1} , 10 mg L^{-1} and 15 mg L^{-1}), mass of adsorbent (50 mg, 100 mg and 150 mg) and contact time of the metal solution (30 min, 45 min and 60 min). In view of the results obtained, after the optimization of batch adsorption conditions, it was verified that the highest adsorption capacity was obtained with the following adsorptive conditions: 15 mg L^{-1} of Cu^{2+} , 50 mg of the adsorbent mass, contact time between adsorbent and adsorbat of 60 min, pH 6, temperature ($30 \text{ }^\circ\text{C}$) and stirring speed of 100 rpm, obtaining q equal to 13.06 mg g^{-1} . Also from the results obtained from the Pareto Diagram graph, it is observed that the two variables are significant on the response (Cu^{2+} adsorption capacity) for a 95% confidence interval, which were the Cu^{2+} concentration and the mass of the adsorbent, since the contact time of the adsorbent with the adsorbent did not exceed the 95% confidence limit. In this way, the modified rice husk was efficient as an adsorbent material to evaluate the adsorption capacity of Cu^{2+} in aqueous solutions.

Keywords: Adsorption. Modified rice husk. Copper.

1 INTRODUÇÃO

A contaminação em efluentes aquosos tem se intensificado nos últimos anos devido à quantidade excessiva de matéria orgânica e inorgânica, como exemplo os metais pesados encontrados nos efluentes (DO NASCIMENTO *et al.*, 2014).

Devido a essa contaminação por metais pesados, podem-se encontrar elevadas concentrações dos metais, assim afetando aos peixes que vivem em águas fluviais, tornando-se inapropriados para o consumo humano e ocasionando um grande risco ambiental.

Um dos metais encontrados nas águas poluídas é o cobre (ALEXANDER *et al.*, 2017), que pode ser transmitido para o ser humano em excesso por meio da água ou por consumo de animais, pode ocasionar anemia, asma, aumento do nível de colesterol, hipertensão e entre outros, ultrapassando o nível de Cu para o corpo humano (adulto), o qual é entre 100 mg e 150 mg (VAITSMAN *et al.*, 2001).

O cobre pode surgir através da liberação de resíduos industriais, em meio a efluentes de mineração ou através da queima de materiais próximos aos lagos ou rios (SALVADOR, 2009). Segundo a Resolução brasileira n° 357 do CONAMA (BRASIL, 2005) na qual determina a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu posicionamento, bem como a disposição de lançamentos de efluentes aquosos, comprova que o limite máximo de cobre para descarte de efluentes industriais é de 1,0 mg L⁻¹ de Cu.

Vários métodos vêm sendo estudados para remoção de metais pesados de efluentes, como precipitação química (CHARERNTANYARAK, 1999), troca iônica (LACOUR *et al.*, 2001), filtração por membrana (BLÖCHER *et al.*, 2003), tratamento eletroquímico, coagulação e floculação (FU; WANG, 2011), adsorção (DA SILVA *et al.*, 2013) e extração líquido-líquido (KHOUTOUL *et al.*, 2016).

Diante do exposto, a adsorção é o método de remoção de metais pesados que vem sendo estudado, pois se trata de um processo de transferência de massa em que os íons de metais pesados ficam retidos na superfície do adsorvente (KURNIAWAN; BABEL, 2003).

Dessa forma, LEE e ONG (2014) estudaram que o carvão ativado é um dos adsorventes mais utilizados para remoção de metais pesados, devido as suas alta capacidade e eficiência. Contudo o carvão ativado tem um elevado custo financeiro, fazendo com que diversos pesquisadores busquem outros adsorventes alternativos de baixo custo.

Os subprodutos agrícolas merecem destaque para a adsorção de metais, sendo que os materiais encontrados na literatura são: casca de avelã (KOBYA, 2004), casca de arroz (WANG; LIN, 2008), casca de amendoim (NUNES, 2014), casca de semente de soja e serragem (GOEDERT, 2017), devendo-se ao baixo custo do material adsorvente, assim demonstrando elevadas capacidades de

adsorção, principalmente, quando modificados por substâncias ácidas ou básicas (ASADI *et al.*, 2007).

LI *et al.*, 2011 investigaram que a casca de arroz apresenta características como alto teor de sílica, baixa densidade, superfície rígida e de difícil decomposição por bactéria, tornando um risco ambiental, caso descartado de forma inadequada.

De acordo com de SOUZA *et al.*, 2002, a casca de arroz possui em sua composição: sílica, proteínas, lignina, celulose e hemicelulose, sendo essas substâncias essenciais para que ocorra o processo de adsorção utilizando soluções aquosas de metais pesados.

YU *et al.*, 2000 estudaram a serragem da madeira como material adsorvente para adsorção de íons Cu^{2+} em águas residuais, em que o processo utilizado foi a batelada para adsorção, que depende de suas concentrações iniciais, massa da serragem, tempo de contato e pH da solução metálica. Os resultados obtidos demonstraram que a adsorção de Cu^{2+} ocorreu em pH 7 e tempo de equilíbrio de 3h, obtendo-se uma capacidade máxima de adsorção pelo modelo de Langmuir de $1,79 \text{ mg g}^{-1}$.

VELI e ALYÜZ (2007), estudaram a argila natural (Bentonita Cankiri), demonstrando boa capacidade de adsorção para o cobre ($44,84 \text{ mg g}^{-1}$) e zinco ($80,64 \text{ mg g}^{-1}$), nas seguintes condições de adsorção: temperatura ($23 \text{ }^\circ\text{C}$), velocidade de agitação (200 rpm), pH 7 (Cu) e pH 8 (Zn), tempo de contato (10 min) com a concentração inicial de ambos os adsorvatos igual a 100 mg L^{-1} .

De acordo com ONUNDI *et al.*, 2010, investigaram que o carvão ativo produzido a partir da casca do palmito é apropriado para remover íons de metais pesados como o Cu^{2+} de efluentes industriais. A capacidade de adsorção para o íon Cu^{2+} foi de $1,58 \text{ mg g}^{-1}$, em pH 5, tempo de equilíbrio (75 min) e concentração da solução de Cu^{2+} igual a 1 g L^{-1} .

NGAH e HANAFIAH (2008), utilizaram o pó de folhas da borracha (*Heva brasilienses*) como material adsorvente para adsorção de Cu^{2+} em soluções aquosas em batelada. O processo de adsorção foi rápido alcançando o equilíbrio em 60 min, sendo que a adsorção máxima de Cu^{2+} ocorreu em pH 4 e 5. Os dados cinéticos foram analisados usando vários modelos cinéticos, particularmente, pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem, Ritchie-segunda ordem e difusão intrapartícula. Com base nos dados de adsorção obtidos pela isoterma e utilizando o modelo de Langmuir, a capacidade de adsorção máxima de Cu^{2+} foi de $8,92 \text{ mg g}^{-1}$.

1.1 OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo utilizar um resíduo da agroindústria (casca de arroz) modificado a partir de uma solução de hidróxido de sódio ($0,1 \text{ mol L}^{-1} \text{ NaOH}$) para avaliar a sua capacidade de adsorção em soluções aquosas contendo íons Cu^{2+} , mediante a utilização de um planejamento fatorial 2^3 e 3 repetições no ponto central.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 REAGENTES QUÍMICOS

Os reagentes químicos utilizados foram o Ácido nítrico (HNO_3 P.A, 65% grau de pureza, marca Vetec), o Sulfato de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) P.A (99% grau de pureza, marca Vetec), eo Hidróxido de sódio (NaOH P.A, 99% grau de pureza, marca Vetec).

2.2 PREPARAÇÃO E MODIFICAÇÃO DA CASCA DE ARROZ

A casca de arroz foi comprada pela internet. Uma vez obtida, foi processada através da trituração em um moinho de facas no Departamento de Físico-Química e Química Analítica (DFQA) da Universidade Federal do Ceará, especificamente, no Laboratório de Análises de Traço (LAT). Por fim, foi obtido um pó fino, de acordo com a Figura 1 (A).

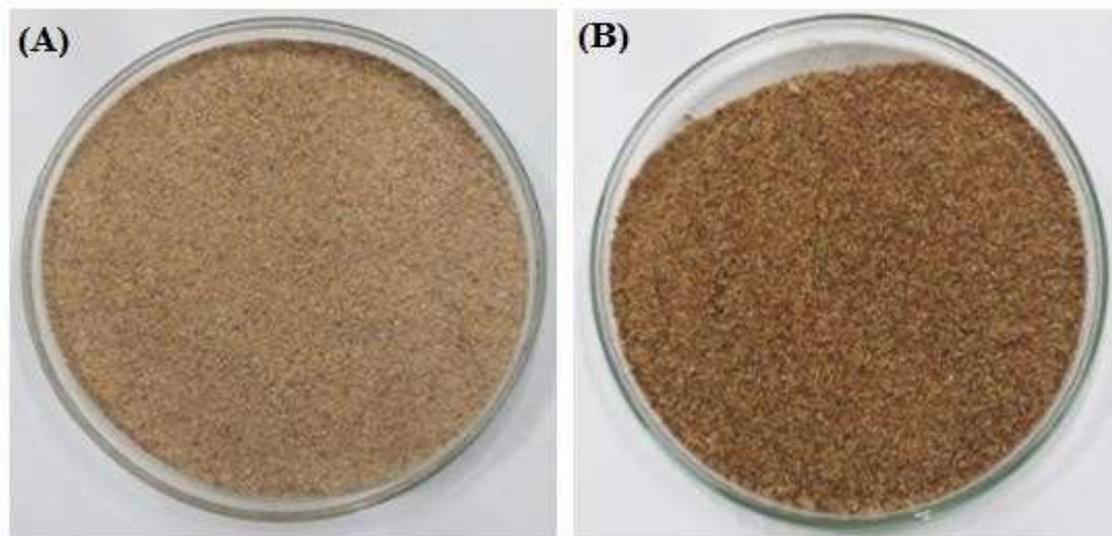


Figura 1 - (A) Casca de arroz natural (CAN) e (B) Casca de arroz modificada (CAM).

Para a modificação da casca de arroz: pesou-se 1 g da casca de arroz, e posteriormente foi colocada em contato com 25 mL de uma solução de NaOH ($0,1 \text{ mol L}^{-1}$) sob agitação de 100 rpm durante 2 horas. Em seguida, filtrou-se utilizando funil simples e papel filtro qualitativo, sendo o material lavado com 25 mL de água destilada (5 vezes) para retirar parte da matéria orgânica. Por fim, o material foi seco em estufa a $110 \text{ }^\circ\text{C}$ por 24 horas. A Figura 1 (B) evidencia o material obtido da casca de arroz modificada, conforme a Figura 2 apresenta o fluxograma para modificação do material.

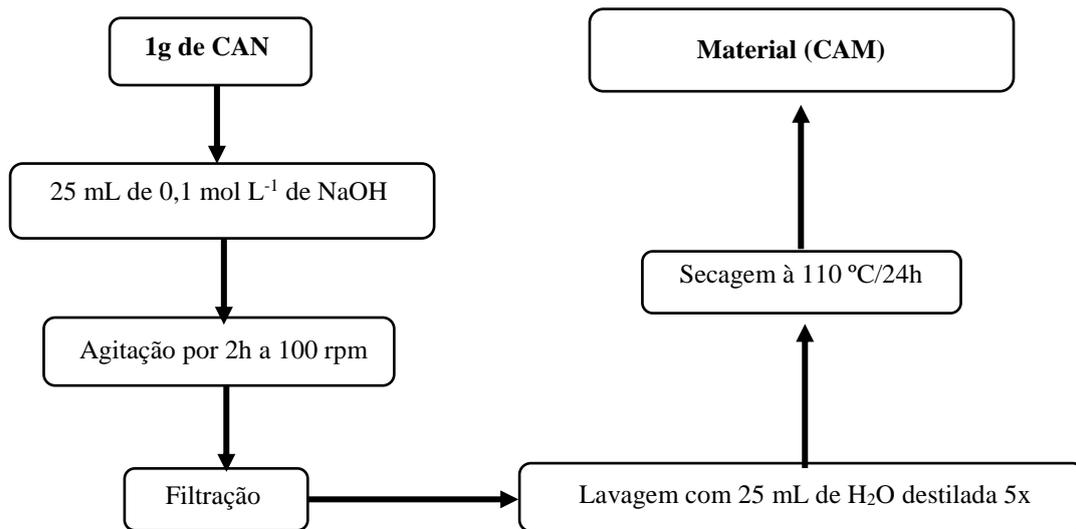


Figura 2 - Modificação da casca de arroz.

2.3 PLANEJAMENTO FATORIAL PARA ADSORÇÃO

O processo de adsorção em batelada para a adsorção de íons Cu^{2+} em casca de arroz modificada foi realizado por meio de um planejamento fatorial 2^3 com 3 repetições no ponto central, resultando em 11 experimentos, os quais o resumo das variáveis codificadas e reais são apresentadas na Tabela 1, tendo como resposta a capacidade de adsorção de Cu^{2+} , que foi representado por q (mg g^{-1}), como sendo a resposta do planejamento fatorial.

Tabela 1 - Matriz do planejamento fatorial para adsorção.

Variáveis	Variáveis codificadas		
	-1	0	+1
Concentração de metal (mg L^{-1})	5	10	15
Massa do adsorvente (mg)	50	100	150
Tempo de contato (min)	30	45	60

As variáveis de entrada correspondem a diferentes concentrações de íons Cu^{2+} (5 mg L^{-1} , 10 mg L^{-1} e 15 mg L^{-1}), massa de adsorvente (50 mg , 100 mg e 150 mg) e tempo de contato da solução de Cu^{2+} com a casca de arroz modificada (30 min , 45 min e 60 min).

Os experimentos de adsorção em batelada foram realizados com 50 mg , 100 mg e 150 mg do material adsorvente, postos em contato com 20 mL da solução de adsorvato (cobre) em diferentes concentrações (5 mg L^{-1} , 10 mg L^{-1} e 15 mg L^{-1}), temperatura ($30 \text{ }^\circ\text{C}$), tempo de contato entre o adsorvente e o adsorvato (30 min , 45 min e 60 min) e velocidade de agitação (100 rpm). Logo depois do equilíbrio de adsorção ser alcançado, a fase líquida foi separada da fase sólida por centrifugação (10000 rpm por 10 min), o material líquido foi analisado, quantificando-se a concentração de Cu^{2+} pela Técnica de absorção atômica com chama de ar-acetileno.

2.4 DETERMINAÇÃO DE Cu^{2+}

A Tabela 2 apresenta os parâmetros instrumentais da Técnica de Absorção Atômica com chama de ar-acetileno para determinação de Cu^{2+} .

Tabela 2 - Parâmetros operacionais da técnica de absorção atômica com chama.

Analito	Cu^{2+}
Faixa de linearidade (mg L^{-1})	0,03 - 10,0
λ_{onda} (nm)	324,7
Intensidade (mA)	10
Largura da fenda (nm)	0,1
Altura do queimador (cm)	10
Tipo de chama (ar/acetileno, L min^{-1})	13,5/2
Valor de R^2 da curva de calibração	0,9995
Limite de detecção (mg L^{-1})	0,023
Limite de quantificação (mg L^{-1})	0,070

A curva de calibração do Cu^{2+} (Figura 3) foi preparada com as seguintes concentrações padrões: $0,3 \text{ mg L}^{-1}$, $0,5 \text{ mg L}^{-1}$, $0,8 \text{ mg L}^{-1}$, 1 mg L^{-1} , 3 mg L^{-1} , 5 mg L^{-1} e 8 mg L^{-1} , as quais foram preparadas a partir da solução estoque de 1000 mg L^{-1} de cobre em meio de ácido nítrico (HNO_3 , 1% v/v). Depois, para cada concentração padrão foi realizada a leitura da medida de absorbância no Equipamento Espectrofotômetro de Absorção Atômica com chama ar-acetileno, modelo FAST SEQUENTIAL 240 FS da Marca Varian.

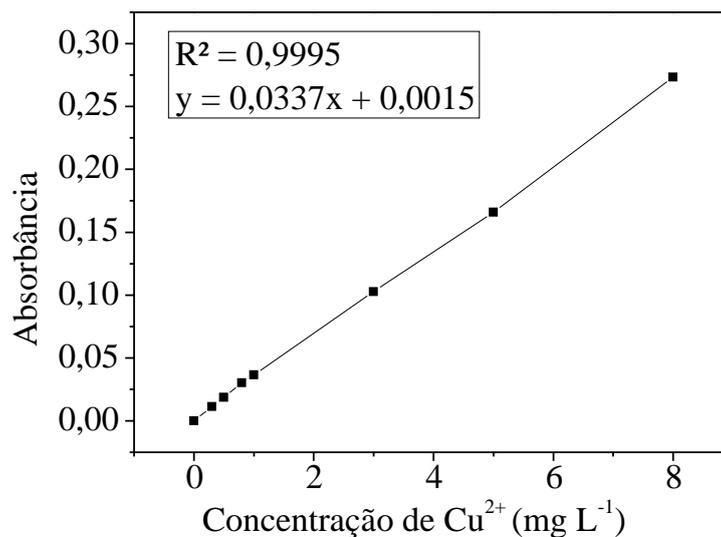


Figura 3 - Curva de calibração para determinação do Cu^{2+} .

O coeficiente de regressão linear R^2 (0,9995) mostra que o gráfico da Figura 3 apresenta um comportamento linear excelente, com os pontos próximos da reta. Quanto mais próximo de 1 estiver R^2 significa que a lei de Lambert-Beer está sendo obedecida para as soluções diluídas.

2.5 CÁLCULOS DA CAPACIDADE DE ADSORÇÃO

A capacidade de adsorção de Cu^{2+} na casca de arroz modificada foi calculada pela Equação 1, sendo que: q é a capacidade de adsorção em mg g^{-1} de adsorvente, C_o é a concentração inicial do cobre em mg L^{-1} em solução aquosa na fase líquida e C_f é a concentração final do Cu^{2+} em equilíbrio em mg g^{-1} na fase líquida, m é massa do adsorvente em mg e V é o volume da solução de Cu^{2+} em litros (L) de solução aquosa.

$$q = \frac{C_o - C_f}{m} \times V \quad (\text{Equação 1})$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 PLANEJAMENTO FATORIAL PARA CASCA DE ARROZ MODIFICADA

A análise do ajuste do modelo foi realizada pela análise de variância (ANOVA), apresentada na Tabela 3. O valor de F calculado foi (15,42) superior ao F tabelado (4,77), portanto a análise de regressão linear dos resultados obtidos foi possível a formulação de um modelo significativo estatisticamente para descrever a variável resposta, que é a capacidade de adsorção de Cu^{2+} .

A Equação 2 mostra o modelo linear para as variáveis estudadas (concentração do adsorvato, massa do adsorvente e tempo de contato), considerando todos os coeficientes de regressão para 95% de confiança.

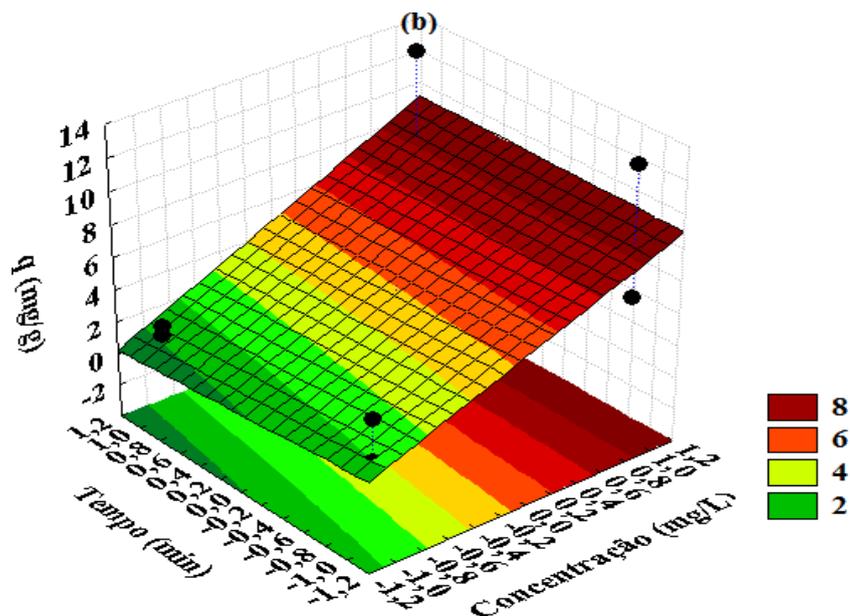
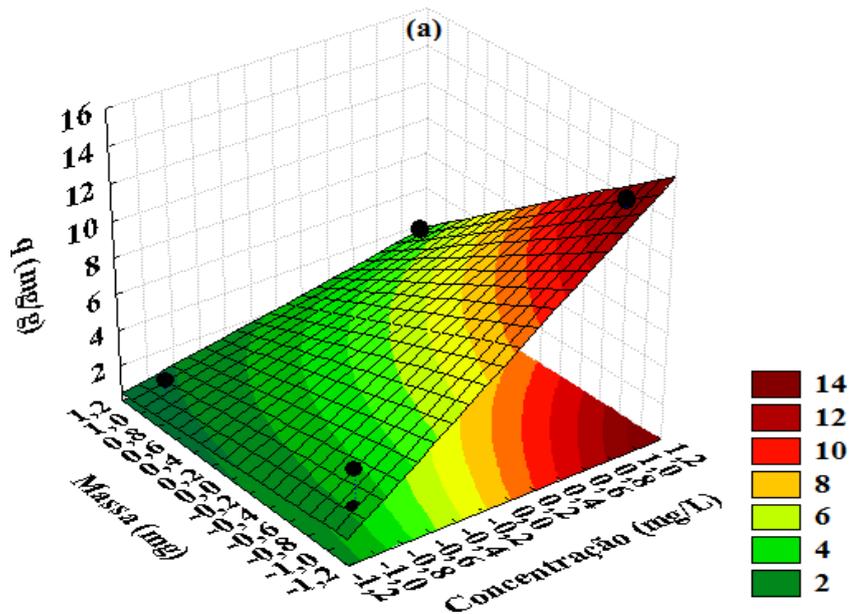
A Equação 2 é válida dentro do alcance experimental estudado, ou seja, o modelo linear obtido pode ser utilizado para fins preditivos.

$$q = 5 + 3,4 * \text{CONCENTRAÇÃO} - 2,42 * \text{MASSA} - 1,65 * \text{CONCENTRAÇÃO} * \text{MASSA} \quad (\text{Equação 2})$$

Tabela 3 - Anova para o modelo linear da adsorção de Cu^{2+} em casca de arroz modificada.

	Soma dos quadrados	Grau de liberdade	Quadrado médio	Fcal
Regressão	162	6	27	15,42
Resíduos	7	4	1,75	
Total	169	10		

As Figuras 4 (a), (b) e (c) apresentam os gráficos de superfície de resposta para variável dependente capacidade de adsorção ($q = \text{mg g}^{-1}$) em função das variáveis independentes: massa do adsorvente (mg), concentração do adsorvato (mg L^{-1}) e tempo de contato da solução do adsorvato com o adsorvente. Observa-se que a maior capacidade de adsorção do íon Cu^{2+} em casca de arroz modificada ocorre quando se utiliza maior concentração de Cu^{2+} , que é igual a 15 mg L^{-1} , maior tempo de contato (60 min) e menor massa do adsorvente (50 mg).



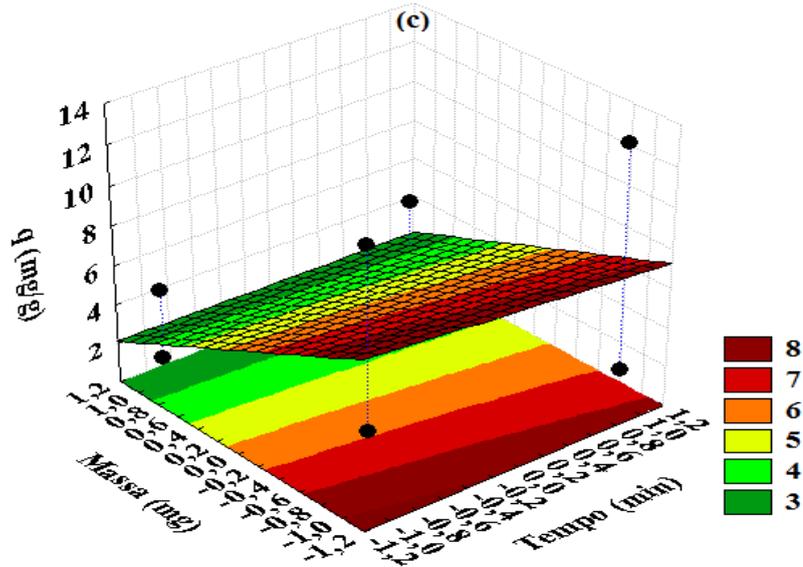


Figura 4 - Gráficos de superfície de resposta ao modelo proposto da adsorção de Cu^{2+} em casca de arroz modificada.

A Figura 5 foi observada a não linearidade dos pontos da reta (x é diferente de y), obtendo um coeficiente de determinação igual (0,9582), isso explica que 95,82% da capacidade de adsorção de Cu^{2+} em casca de arroz modificada poderão ser explicados pelo modelo proposto em função das variáveis estudadas (concentração do adsorbato, massa do adsorvente e tempo) para o planejamento experimental fatorial (2^3 com o ponto central em triplicata), indicando que o modelo se ajusta bem aos dados experimentais.

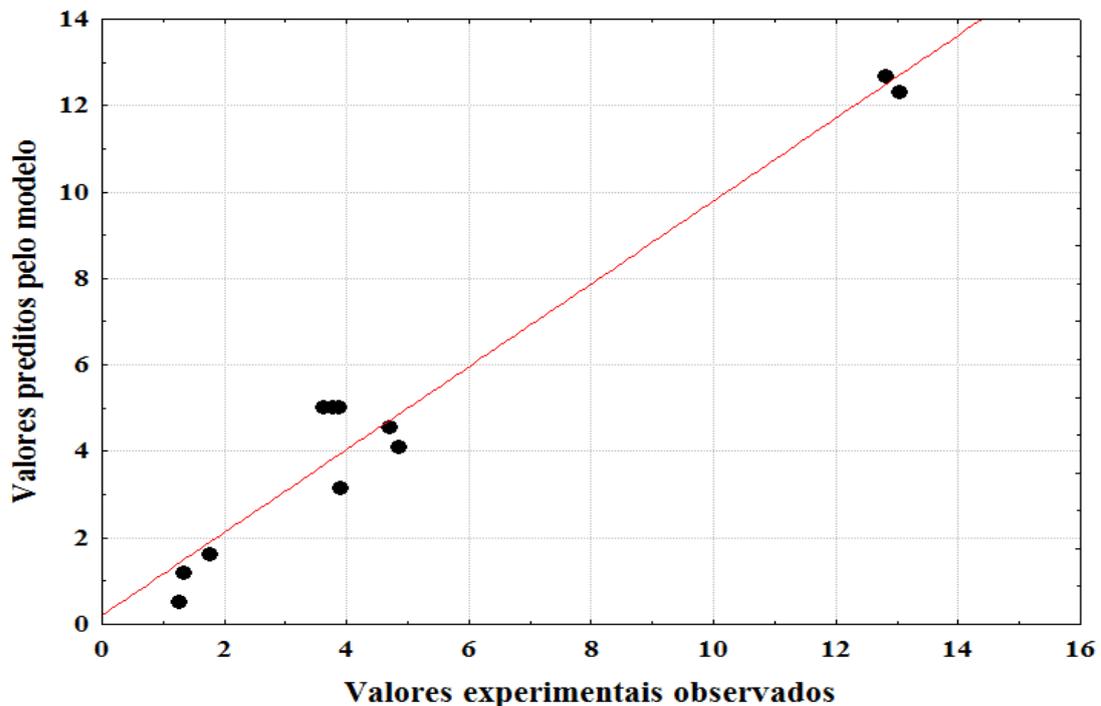


Figura 5 - Correlação dos valores preditos pelo modelo com os valores experimentos observados.

Pelo gráfico de Pareto (Figura 6) foi possível visualizar quais variáveis (massa do adsorvente e concentração do adsorbato) têm efeito mais significativo na resposta (capacidade de adsorção). As variáveis (massa do adsorvente e concentração do adsorbato) são significativas estatisticamente em nível de 95 % de confiança.

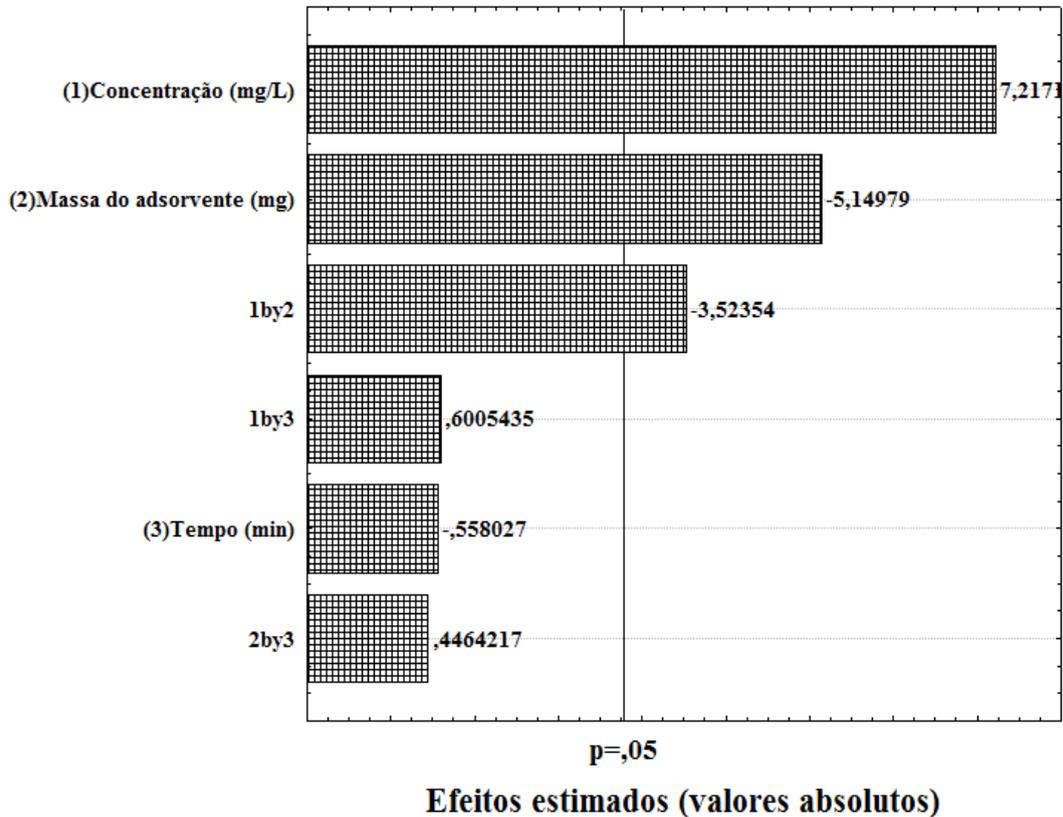


Figura 6 - Gráfico do Diagrama de Pareto.

Nas condições de adsorção estudadas, avaliando a relação das variáveis (massa do adsorvente e concentração do adsorbato) na resposta (capacidade de adsorção), a melhor condição experimental otimizada para os ensaios de adsorção de Cu^{2+} em casca de arroz modificada foi de 15 mg L^{-1} de Cu^{2+} , 50 mg da massa do adsorvente, tempo de contato do adsorvente e adsorbato de 60 min , $\text{pH } 6$, temperatura ambiente ($30 \text{ }^\circ\text{C}$) e agitação magnética de 100 rpm , obtendo-se a capacidade de adsorção igual $13,06 \text{ mg g}^{-1}$ (Tabela 4).

Tabela 4 - Matriz com os resultados do planejamento fatorial para adsorção de Cu^{2+} em casca de arroz modificada.

Experimento	Variáveis codificadas			Variáveis reais			q (mg g^{-1})
	Concentração (mg L^{-1})	massa (mg)	Tempo (min)	Concentração (mg L^{-1})	Massa (mg)	Tempo (min)	
1	-1	-1	-1	5	50	30	3,90
2	1	-1	-1	15	50	30	12,83
3	-1	1	-1	5	150	30	1,34
4	1	1	-1	15	150	30	4,86
5	-1	-1	1	5	50	60	1,78
6	1	-1	1	15	50	60	13,06
7	-1	1	1	5	150	60	1,28
8	1	1	1	15	150	60	4,71
9	0	0	0	10	100	45	3,89
10	0	0	0	10	100	45	3,64
11	0	0	0	10	100	45	3,78

Uma análise importante acerca do planejamento experimental realizado é a soma dos resíduos. De acordo com (MONTGOMERY, 2001) a análise de resíduos é imprescindível para avaliar o ajuste de qualquer modelo. Um modelo que deixe muitos resíduos é um modelo ruim sendo que um modelo ideal não haveria resíduos, portanto os resultados obtidos seriam semelhantes aos previstos.

Para a adsorção de Cu^{2+} em casca de arroz modificada estudada nesse trabalho de pesquisa, a soma do resíduo gerado foi de 1,770264, apresentando um valor baixo de resíduo, de modo que o modelo se classifica como próximo da idealidade.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho demonstrou que a casca de arroz modificada pode ser utilizada como um adsorvente eficaz para a remoção de Cu^{2+} em soluções aquosas. A otimização das condições de adsorção em batelada foi realizada utilizando-se um planejamento fatorial (n = 11 experimentos). Através do planejamento fatorial foi verificado que a capacidade de adsorção mais elevada foi obtida com as seguintes condições de adsorção para o Cu^{2+} : 15 mg L^{-1} de Cu^{2+} , 50 mg da massa do adsorvente, tempo de contato do adsorvente e adsorbato de 60 min, pH 6, temperatura (30 °C) e agitação magnética de 100 rpm, obtendo-se a capacidade de adsorção ($q = 13,06 \text{ mg g}^{-1}$).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a bolsa concedida de iniciação científica à pesquisa regida pelo Edital 06/2017 PRODUTOR-PROPESP. A Universidade Federal do Pará (UFPA), Campus Marajó-Breves (CUMB), Faculdade de Ciências Naturais (FACIN), ao Laboratório de Ciências Naturais (LACIN) pela utilização do espaço físico laboratorial para realização da pesquisa. Ao Professor Dr.

Ronald Ferreira do Nascimento/UFC por ter disponibilizado o Equipamento de Absorção Atômica com Chama para a determinação do Cu^{2+} , especificamente no Laboratório Núcleo de Águas (LANAGUA/UFC). Dessa forma, os autores declaram não ter conflito de interesse com a produção científica publicada.

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, D. et al. Investigation of simultaneous adsorption properties of Cd, Cu, Pb and Zn by pristine rice husks using ICP-AES and LA-ICP-MS analysis. **Microchemical Journal**, v. 135, p. 129-139, 2017.

ASADI, F.; SHARIATMADARI, H.; MIRGHAFARI, N. Modification of rice hull and sawdust sorptive characteristics for remove heavy metals from synthetic solutions and wastewater. **Journal of Hazardous Materials**, Republic of Iran, p. 451-458, 15 june, 2007.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n° 357 de 17 de março de 2005. Trata das condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 17 Mar. 2005.

BLÖCHER, C. et al. Hybrid flotation-membrane filtration process for the removal of heavy metal ions from wastewater. **Water Research**, v. 37, n. 16, p. 4018-4026, 2003.

CONAMA, Resolução. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, Resolução n 357, de 17 de março de 2005. **Ministério do Meio Ambiente, Brasília**, 2005.

CHARERNTANYARAK, Lertchai. Heavy metals removal by chemical coagulation and precipitation. **Water Science and Technology**, v. 39, n. 10-11, p. 135-138, 1999.

DA SILVA, K. M. D. et al. Caracterização físico-química da fibra de coco verde para a adsorção de metais pesados em efluente de indústria de tintas. **Engevista**, v. 15, n. 1, p. 43-50, 2013.

DO NASCIMENTO, R. F. et al. Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais. **Biblioteca de Ciências e Tecnologia**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014.

DE SOUZA, M. F.; MAGALHÃES, W. L. E.; PERSEGIL, M. C. Silica derived from burned rice hulls. **Materials research**, v. 5, n. 4, p. 467-474, 2002.

GOEDERT, BRUNA DOS SANTOS CUNHA. **Biossorção do corante têxtil reativo azul 5G comparando resíduos industriais casca de soja e serragem**. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

FU, F.; WANG, Q. Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. **Journal of Environmental Management**, China, v. 92, p. 407-418, 2011. mar. 2011.

KOBYA, M. Removal of Cr (VI) from aqueous solutions by adsorption onto hazelnut shell activated carbon: kinetic and equilibrium studies. **Bioresource Technology**, v. 91, n. 3, p. 317-321, 2004.

KURNIAWAN, T. A.; BABEL, S. A research study on Cr (VI) removal from contaminated wastewater using low-cost adsorbents and commercial activated carbon. In: **Second Int. Conf. on Energy Technology towards a Clean Environment (RCETE)**. 2003. p. 1110-1117.

KHOUTOUL, M. et al. Liquid-liquid extraction of metal ions, DFT and TD-DFT analysis of some 1, 2, 4-triazole Schiff Bases with high selectivity for Pb (II) and Fe (II). **Journal of Molecular Structure**, v. 1113, p. 99-107, 2016.

LACOUR, S. et al. Removal of heavy metals in industrial wastewaters by ion-exchanger grafted textiles. **Analytica Chimica Acta**, v. 428, n. 1, p. 121-132, 2001.

LEE, Sook-Mun; ONG, Siew-Teng. Oxalic acid modified rice hull as a sorbent for methylene blue removal. **APCBEE Procedia**, v. 9, p. 165-169, 2014.

MONTGOMERY, D. C. *Design and Analyses of Experiments*, Wiley: New York, **2001**.

NGAH, W. S. W.; HANAFIAH, M. A. K. M. Adsorption of copper on rubber (*Hevea brasiliensis*) leaf powder: Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies. **Biochemical Engineering Journal**, v. 39, n. 3, p. 521-530, 2008.

NUNES, A. S. Produção de adsorventes a partir da casca de amendoim visando a aplicação na remoção de corantes orgânicos. **Itapetinga, UESB**, p. 1-10, 2014.

ONUNDI, Y. B. et al. Adsorption of cooper, nickel and leal ions from synthetic semiconductor industrial wastewater by palm shell activated carbon. **International Journal of Environmental Science & Technology**, v. 7, n. 4, p. 751-758, 2010.

SALVADOR, GRAZIELA. **Estudo da adsorção de cobre (II) usando como adsorvente pó da casca de coco verde ativada com hidróxido de sódio**. 2009. Relatório apresentado como requisito parcial da disciplina de Estágio Supervisionado (QMC 5512) sob orientação do Prof. Dr. Valfredo Tadeu de Fávère. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas do Departamento de Química.

VAITSMAN, D. S.; DUTRA, P. B.; AFONSO, J. C. Para que servem os elementos químicos. **Interciência**, 2001.

VELI, Sevil; ALYÜZ, Bilge. Adsorption of copper and zinc from aqueous solutions by using natural clay. **Journal of Hazardous Materials**, v. 149, n. 1, p. 226-233, 2007.

WANG, L. H.; LIN, C. I. Adsorption of chromium (III) ion from aqueous solution using rice hull ash. **Journal of the Chinese Institute of Chemical Engineers**, Taiwan, p. 367-373, July, 2008.

YU, B. et al. The removal of heavy metal from aqueous solutions by sawdust adsorption-removal of copper. **Journal of Hazardous Materials**, v. 80, n. 1-3, p. 33-42, 2000.