

Remoção de nitrato da água utilizando bagaço de caju quimicamente modificado

Nitrate removal from water using cashew bagasse chemically modified

Raimundo Renato de Melo Neto¹, Francisco Klebson Gomes dos Santos^{2,*}, Ricardo Henrique de Lima Leite², Geraldine Angélica Silva da Nóbrega², Rafael Barbosa Rios²

RESUMO: O ânion nitrato (NO_3^-), devido sua alta solubilidade em água, é um contaminante de difícil remoção. Os métodos atualmente empregados para tratamento de água contaminada por nitrato possuem um elevado custo e não são muito eficientes, já que em alguns casos são gerados resíduos mais tóxicos que o próprio nitrato. Tecnologias contemporâneas empregadas para tratamento de efluentes aquosos têm seus mecanismos baseados no fenômeno de adsorção, em que um sólido poroso é capaz de adsorver determinadas substâncias, quando estas estão em contato. Estas tecnologias são economicamente rentáveis quando são empregados rejeitos agrícolas como adsorventes. Baseado no exposto este trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência de remoção de nitrato de água, utilizando bagaço de caju quimicamente modificado. Os estudos foram realizados em batelada. Os ensaios de adsorção evidenciaram que o tratamento do bagaço de caju com NaOH $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ alcançou uma eficiência de remoção de 96%, enquanto que o bagaço sem tratamento obteve remoção de 22%. O mecanismo de adsorção modelou-se a uma cinética de pseudo-segunda ordem e foi mais bem correlacionado com a isoterma de Freundlich.

Palavras-chave: Bagaço de caju, Remoção de nitrato, Adsorção.

ABSTRACT: The nitrate anion (NO_3^-), due to its high solubility in water is difficult to remove a contaminant. The methods currently employed for treating water contaminated with nitrates have a high cost and are not very effective, since in some cases residues are generated more toxic than nitrate. Contemporary technologies employed for the treatment of aqueous effluents have their mechanisms based on adsorption phenomenon in which a porous solid is capable of adsorbing certain substances when they are in contact. These technologies are cost-effective when agricultural wastes are used as adsorbents. In this work the aim was to increase the efficiency of adsorption of cashew bagasse by chemical treatment with sodium hydroxide, to be used in water treatment contaminated by nitrate. The results were conducted batch wise adsorption tests showed that treatment with cashew bagasse 0.1 mol l^{-1} NaOH achieved a removal efficiency of 96%, whereas the untreated bagasse was 22%. The adsorption mechanism kinetics follows the pseudo-second order and was better correlated with the Freundlich isotherm.

Keywords: Cashew bagasse, Nitrate removal, Adsorption.

INTRODUÇÃO

Nas diversas partes do mundo, a água subterrânea é a única fonte de água potável tanto nas comunidades rurais como em áreas urbanas. No entanto, nos últimos anos, o aumento das atividades industriais e agrícolas resultou na geração de poluentes tóxicos, tais como ânions inorgânicos, íons metálicos, produtos químicos, orgânicos e sintéticos; que têm aumentado a preocupação pública sobre a qualidade dos recursos hídricos disponíveis (BHATNAGAR & SILANPÄÄ, 2011).

Um dos principais contaminantes é o nitrato, persistente, e solúvel em água, não degrada facilmente em meio aeróbico e, em teores acima de 10 mg/L NO_3^- (CONAMA), pode causar doenças como

metahemoglobinemia e câncer no tubo gástrico (CABRAL *et al.*, 2009).

As principais fontes de contaminação da água por NO_3^- incluem o escoamento agrícola e urbano, eliminação de resíduos sanitários não tratados e resíduos industriais em forma instável, vazamento de sistemas sépticos, chorume, esterco animal e resíduos nitrogenados do ar oriundos da separação a partir de dispositivos de controle de poluição do ar (BHATNAGAR & SILANPÄÄ, 2011).

Inúmeras técnicas para a remoção de nitrato da água estão sendo pesquisadas. Estas incluem desnitrificação biológica, redução química, osmose reversa, eletrodialise, troca iônica e adsorção (CHATTERJEE & WOO, 2009).

Entre as tecnologias mais utilizadas para tratamento de efluentes, a adsorção oferece flexibilidade

*autor para correspondência

Recebido para publicação em 02/01/2013; aprovado em 10/07/2013

1Bolsista PIBIC do CNPq da UFERSA, mtrenato@hotmail.com

2Professores da UFERSA, klebson@ufersa.edu.br, ricardoleite@ufersa.edu.br, geraldinenobrega@ufersa.edu.br, rafael.rios@ufersa.edu.br

Revista Verde (Mossoró – RN - Brasil), v. 8, n. 4, p. 08 - 16, out-dez, 2013

em design e operação e, em muitos casos, gera alta qualidade no tratamento do efluente. Além disso, devido à natureza reversível da maioria dos processos de adsorção, os adsorventes podem ser regenerados por processos de dessorção para uso múltiplo, e muitos processos são de baixo custo de manutenção, de alta eficiência, e facilidade de operação. Portanto, o processo de adsorção chegou à frente como uma das principais técnicas para remoção de nitrato de água / esgoto (PAN *et al.*, 2012).

Um grande número de materiais tem sido extensivamente investigado como adsorventes no controle de poluição da água. Alguns dos mais importantes incluem sílica gel, alumina ativada, zeólitas, carvão ativado, etc (PAN *et al.*, 2012). Mas nas últimas décadas, vários resíduos agrícolas têm sido explorados como adsorventes de baixo custo. Alguns deles incluem cascas e/ ou sementes de frutas como nozes, amendoim, azeitona, amêndoas, damascos e semente de cerejas; e resíduos resultantes da produção de cereais, tais como arroz, milho, bem como bagaço de cana e de caju. Estes materiais de resíduos agrícolas têm sido usados em sua forma natural ou após alguma modificação física ou química (BAHTNAGAR *et al.*, 2010).

No Brasil são produzidos os mais diversos subprodutos e resíduos agroindustriais em virtude da grande produção agrícola do país. Entretanto, a disposição dos resíduos gerados nestes setores está se transformando em sério problema ambiental. Apesar de uma parte ser utilizada para fins diversos, uma grande quantidade ainda permanece sem utilização.

O aproveitamento industrial do caju é realizado principalmente na região Nordeste do país, visando, basicamente, o beneficiamento da castanha e, em menor escala, o aproveitamento do pedúnculo. Mesmo considerando o aproveitamento do pedúnculo sob a forma de sucos, doces, geléias, néctares, farinhas e fermentados, só 15% da produção do pedúnculo é utilizada. Uma das causas para esse baixo aproveitamento está relacionada ao tempo de deterioração do pedúnculo, que ocasiona excessivas perdas no campo e na indústria (MOREIRA *et al.*, 2009).

Esse trabalho teve como objetivo a avaliação do bagaço de caju, tratado quimicamente com hidróxido de sódio a diferentes concentrações, na remoção de nitrato (NO_3^-) de água. O mecanismo de adsorção foi estudado a partir de curvas de cinética de adsorção. Foram avaliadas algumas isotermas de adsorção para o processo de remoção de nitrato com bagaço de caju quimicamente modificado com hidróxido de sódio.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

Foram utilizados: hidróxido de sódio (micropérolas) P.A. 98% fornecido pela CRQ; nitrato de sódio P.A. 99% fornecido pela Dinâmica; acetato de sódio trihidratado P.A. 99% fornecido pela Vetec; ácido acético

P.A. 99% fornecido pela Vetec. O bagaço de caju foi doado pela UFC – Universidade Federal do Ceará.

Análise do nitrato

As amostras foram lidas em espectrofotômetro da marca Thermo Scientific modelo Evolution 600 UV-VIS. Sendo obtidas as segundas derivadas das curvas de absorvâncias *versus* comprimentos de onda (nm) variando de 200 a 250 nm. As concentrações residuais de nitrato foram determinadas através da curva de calibração com 10 pontos variando de 0 a 25 ppm (APHA).

Preparo do material adsorvente

O bagaço de caju, que já havia sido previamente prensado, ficou sob refrigeração, no intuito de evitar sua degradação. O descongelamento do bagaço ocorreu sob refrigeração com temperatura em torno de 10 °C durante 8 horas; em seguida o bagaço foi desidratado em estufa a 60°C durante 8 horas. Quando seco, o bagaço de caju foi triturado em multiprocessador da marca Arno modelo Ar-T30; o pó foi então submetido a separação granulométrica, em peneiras de padrão ABNT, e as frações foram separadas de 60 a 325 mesh, nas seguintes subdivisões 20-59; 60-99; 100-149 e 150-200 mesh. De acordo com estudo feito por Moreira *et al.*, (2009) a granulometria mais eficiente é de 20-59 mesh; no entanto foram separados esses grãos para o tratamento químico.

O bagaço de caju foi tratado quimicamente com 10 mL de solução de hidróxido de sódio, variando a concentração de 1M a 0,1M para cada grama de bagaço, de acordo com metodologia de Moreira *et al.*, (2009). Foi feito um estudo variando a concentração de NaOH de 0,01 a 1 mol.L⁻¹, para que fosse possível avaliar o efeito da concentração de hidróxido de sódio na eficiência de remoção.

As amostras depois de tratadas foram lavadas com água destilada, e posteriormente com solução tampão com pH 5, que de acordo com Moreira *et al.*, (2009) é a faixa de pH ideal para se obter uma boa eficiência no processo de adsorção. Logo após a lavagem, o adsorvente foi posto para secar a temperatura ambiente, aproximadamente 28°C, durante 24 horas. Em seguida foi armazenado em dissecador até seu uso (PINHO, 2009).

Capacidade de adsorção do adsorvente

O ensaio de adsorção ocorreu em batelada com temperatura (25 °C) e agitação constante. Uma série de frascos (Erlenmeyers de 50 mL) contendo 0,5 g do adsorvente tratado (20-59 mesh) foi colocada em contato com 10 mL de solução aniônica (NO_3^-) com concentração de 25 ppm, em pH 5 sob agitação, durante 50 minutos, pois de acordo com Lima *et al.*, (2012) é o tempo necessário para que ocorra o equilíbrio de adsorção. Em seguida, as amostras foram centrifugadas durante 30 minutos a 3000 rpm e diluídas com razão de 1/10 devido a elevada quantidade de compostos capazes de interferir na análise espectrofotométrica. Em seguida, as concentrações

residuais dos íons foram determinadas por espectrofotometria.

A capacidade de adsorção do adsorvente, Q_e (mg de nitrato/g do adsorvente) foi determinada usando-se a Equação 1:

$$Q_e = \frac{(C_0 - C_e) \cdot V}{m} \quad (1)$$

onde, C_0 é concentração do soluto na solução inicial (mg/L); C_e é concentração do soluto no equilíbrio (mg/L); V é volume da solução (L) e m é a massa do adsorvente (g).

Cinéticas de adsorção

Para obtenção das cinéticas de adsorção do nitrato em bagaço de caju foram realizados experimentos em batelada à 25°C. Nos ensaios de adsorção foram utilizados erlenmeyers de 50 mL nos quais foram colocados 0,5 g de bagaço de caju tratado (0,1 M de NaOH) em contato com solução de nitrato à 25 ppm e então submetido a agitação. Em intervalos de tempo pré-fixados (1, 2, 3, 4, 5, 10, e 50 min) cada amostra foi centrifugada a 3000 rpm durante 30 minutos. Logo após serem centrifugadas, as amostras foram diluídas com razão de diluição 1/10. A concentração de nitrato residual foi determinada por espectrofotometria.

Isotermas de adsorção

Para obtenção das isotermas de equilíbrio de adsorção do nitrato em bagaço de caju foram realizados experimentos em batelada a 25 °C. Nos ensaios de adsorção foram utilizados erlenmeyers de 50 mL nos quais foram colocados 0,5 g de bagaço de caju tratado (0,1 mol.L⁻¹) de NaOH em contato com solução de nitrato a 25 ppm e então submetido a agitação durante 50 minutos. Posteriormente cada amostra foi centrifugada a 3000 rpm durante 30 minutos. Logo após serem centrifugadas, as amostras foram diluídas com razão de diluição 1/10. A concentração de nitrato residual foi determinada por espectrofotometria. Os dados experimentais foram modelados de acordo com as isotermas de Langmuir, Freundlich e SIPS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efeito do tratamento no bagaço de caju

Durante os procedimentos experimentais algumas mudanças foram visualizadas durante o tratamento do bagaço, as quais são exibidas na Figura 1.

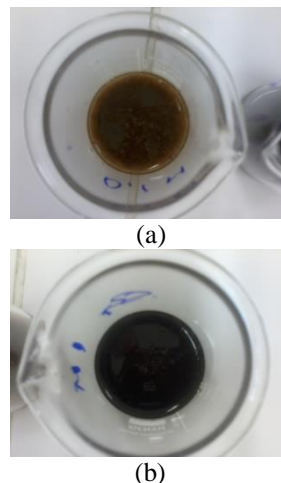


Figura 1. Bagaço de Caju durante tratamento químico (a) com NaOH 0,1 mol.L⁻¹ (b) com NaOH 1 mol.L⁻¹.

Analisando a Figura 1 percebe-se o aumento da concentração de hidróxido se sódio torna mais escuro o licor que surgia ao decorrer do ataque. De acordo com Santos, (2011), este fato é explicado pela deslignificação que ocorre através da ação do NaOH sobre as ligações éter da molécula de lignina. A quebra dessas ligações libera grupos hidroxilas fenólicos, que favorecem a dissolução da mesma no meio alcalino. A lignina neste processamento é fortemente hidrolisada e possui uma massa molar baixa. Um licor negro de natureza alcalina, contendo a fração não celulósica da madeira, é obtido após o tratamento. O licor contém entre 15-18% de sólidos dissolvidos, sendo compostos majoritariamente de lignina, carboidratos degradados, extrativos e agentes químicos inorgânicos sem reagir. Porém, esta composição varia em função do tipo da biomassa tratada (SANTOS, 2011).

Análise termogravimétrica

A Figura 2 mostra as curvas de termogravimetria para bagaço de caju tratado a diferentes concentrações, de 0 a 1,0 mol.L⁻¹.

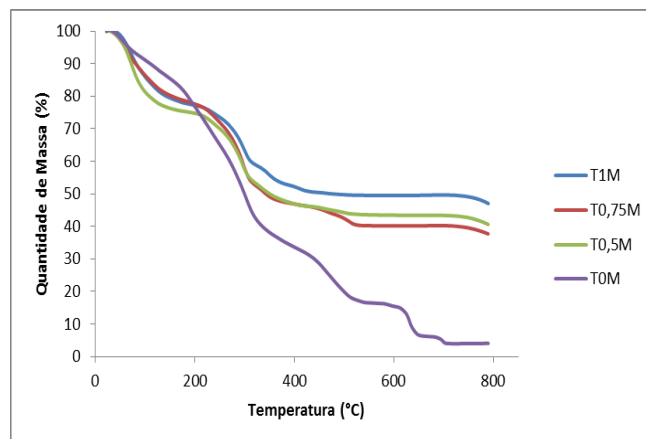
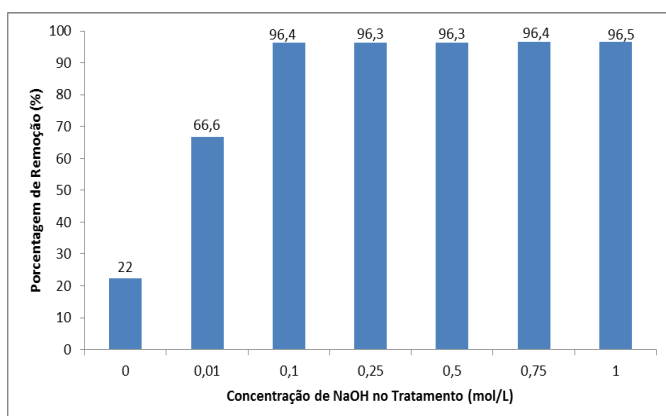


Figura 2. Curvas de termogravimetria para bagaço de caju tratado a diferentes concentrações.

Analisando a Figura 2, observam-se curvas distintas para o bagaço sem tratamento (curva TGA T0M) e para o bagaço tratado (curvas TGA T1M, T0,75M, T0,5M). O bagaço de caju sem tratamento tem a primeira perda de massa entre 100°C e 150°C, o que é atribuído a perda simultânea de compostos voláteis e vaporização da água. O segundo evento, 150-350°C, está relacionada com a decomposição da lignina a moderadas temperaturas, enquanto que o evento seguinte é uma progressiva perda de massa e, finalmente, a estabilização do sólido a cerca de 800°C (LIMA *et al.*, 2012).

Já o bagaço de caju tratado tem dois eventos de perda de massa: o primeiro evento, assim como no bagaço



sem tratamento, é a cerca de 100°C atribuída à perda de água; a segunda perda de massa entre 200-300°C é observada e pode estar relacionada com a decomposição dos resíduos do tratamento sem interação com a superfície sólida, devido à alta concentração do hidróxido de sódio utilizado, com estabilização da massa à cerca de 450°C (LIMA *et al.*, 2012).

Influência do tratamento na adsorção

O bagaço de caju tratado e não tratado foi colocado em contato com solução de nitrato de sódio, para que fosse possível observar o quanto influenciou o ataque químico na adsorção de nitrato.

A Figura 3 mostra o efeito da concentração de hidróxido de sódio no tratamento químico do bagaço para remoção de nitrato.

Figura 3. Efeito da concentração de hidróxido de sódio no tratamento químico do bagaço para remoção de nitrato.

Analisando a Figura 3 percebe-se que a eficiência de tratamento do efluente aumenta quando se trata o adsorvente com NaOH, conforme Moreira *et al.*, (2009). Percebe-se também que os tratamentos com concentrações de 0,1 a 1 mol.L⁻¹, apresentaram praticamente a mesma eficiência de remoção, cerca de 96%; já o bagaço tratado com concentração de 0,01 mol.L⁻¹ apresenta uma menor eficiência de remoção, ou seja, o tratamento com 0,1 mol.L⁻¹ foi suficiente para remover a lignina, aumentando a região de microporos e consequentemente o aumento da adsorção de nitrato.

Cinética de adsorção

Para investigar o mecanismo de adsorção quanto à ordem dos processos e determinação das constantes de velocidade dos mesmos, modelos cinéticos de primeira e segunda ordens e difusão intra-partícula, foram empregados utilizando-se as respectivas equações de velocidade.

$$\log(Q_e - Q_t) = \log Q_t - \frac{K_1}{2,303} t \quad (2)$$

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{K_2 \cdot Q_e^2} + \frac{1}{Q_e^2} t \quad (3)$$

$$Q_t = K_i t^{0,5} + C \quad (4)$$

A Equação 2 conhecida como modelo pseudo-primeira ordem, tem os seguintes parâmetros, K_1 é a constante de velocidade de adsorção pseudo 1ª ordem (L min⁻¹), t é o tempo de adsorção (min), Q_e e Q_t são as quantidades de adsorbato adsorvidas no equilíbrio e no tempo t (mg.g⁻¹), e 2,303 é uma constante originado ao linearizar a Equação 1. Este modelo apresenta bons resultados apenas nos instantes iniciais, devido às restrições feitas para a obtenção do modelo (ROUQUEROL *et al.*, 1999).

A Equação 3 é o modelo de pseudo-segunda ordem que contém os parâmetros: K_2 é a constante da velocidade de adsorção de pseudo 2ª ordem (g mg/min); Q_e é a quantidade de adsorbato adsorvida no equilíbrio

(mg/ g); Q_t a quantidade adsorvida no instante t (LIMA *et al.*, 2012).

A Equação 4 é o modelo de difusão intrapartícula, onde K_i é a constante de difusão intrapartícula ($\text{mg g}^{-1} \text{min}^{-1/2}$) e C (mg.g^{-1}) é a constante de espessura da camada limite. A dependência matemática é obtida considerando um processo de difusão em geometria cilíndrica ou esférica, e difusão convectiva na solução.

A Figura 4 mostra o gráfico plotado a partir do parâmetro (Q_e) versus tempo, para que fosse possível avaliar qual o tempo de equilíbrio de adsorção.

Figura 4. Cinética de adsorção do bagaço de caju tratado com NaOH 0,1 mol. L⁻¹

Analisando a Figura 4 é possível perceber que o equilíbrio de adsorção é atingido em cerca de 10 minutos.

As Figuras 5, 6 e 7 mostram os ajustes dos dados experimentais para os modelos cinéticos de pseudo primeira ordem, pseudo segunda ordem, e difusão intrapartícula, respectivamente.

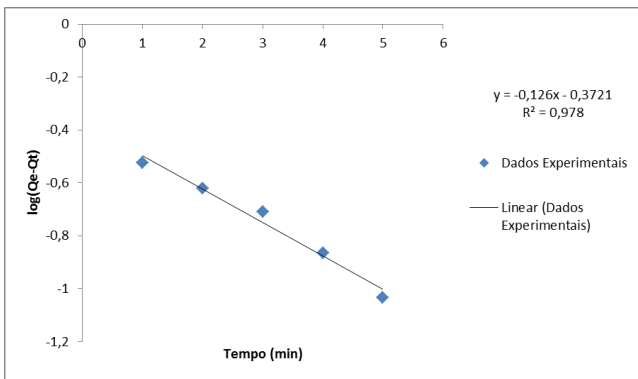


Figura 5. Ajuste do modelo de pseudo-primeira ordem.

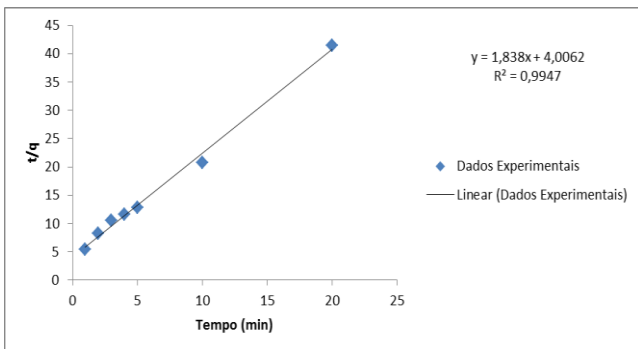


Figura 6. Ajuste linear do modelo de pseudo-segunda ordem.

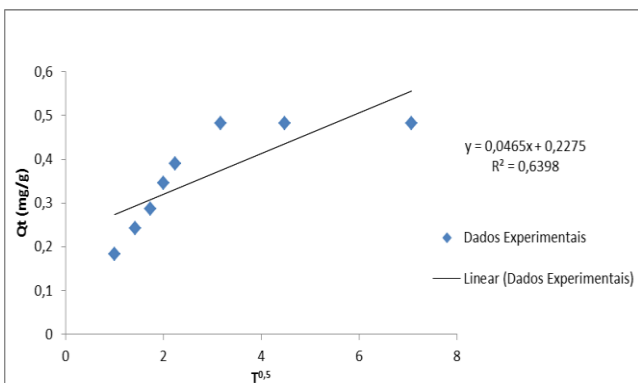
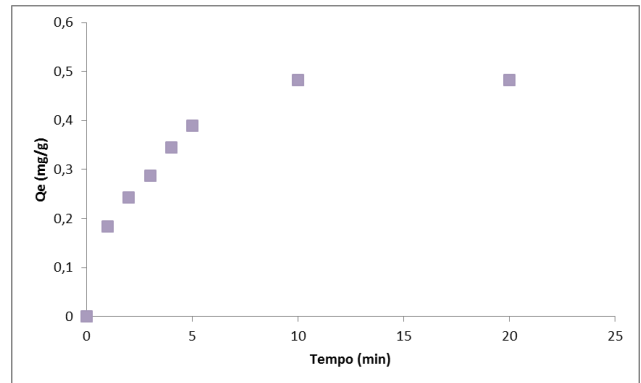


Figura 7. Ajuste do modelo de difusão intrapartícula.



Os parâmetros K_1 , K_2 , K_f , Q_t e R^2 segundo os modelos de pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem e difusão intrapartícula são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros Cinéticos de Adsorção.

Parâmetros Cinéticos								
Pseudo-Primeira Ordem			Pseudo-Segunda Ordem			Difusão Intra-Partícula		
K_1	Q_t	R^2	K_2	Q_e	R^2	K_f	R^2	
0,290	0,42	0,9	0,843	0,54	0,99	0,04	0,63	
178	45	78	16	41	47	65	98	

Analisando a Tabela 1, observa-se que os resultados mostraram que os valores experimentais (Q_e) apresentam concordância com os valores teóricos calculados (Q_t) para os modelos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem. Entretanto, a correlação linear de ambos os modelos (R^2) indica que os resultados de pseudo-segunda ordem estão mais bem correlacionados

que os de pseudo-primeira ordem. Assim, estes resultados sugerem que o processo de adsorção dos íons nitrato pelo bagaço de caju, segue o modelo de pseudo-segunda ordem, assim como também foi observado por (MOREIRA *et al.*, 2009).

De acordo com Moreira *et al.*, (2009) o comportamento de cinética de pseudo-segunda ordem para os dados experimentais indica que o tipo principal de mecanismo que controla a adsorção dos metais sobre o bagaço de caju é a reação química, que ocorre entre estes metais e os grupos funcionais presentes na superfície do bagaço de caju. O modelo de pseudo-segunda ordem considera que a etapa limitante do processo de adsorção envolve forças de valência através do compartilhamento ou da troca de elétrons entre o adsorvente e o adsorbato, onde K_2 esta relacionado com a velocidade em que o adsorvente é capaz de remover o nitrato, e Q_e é a quantidade adsorvida no equilíbrio.

Isotermas de adsorção

As Figuras 8, 9 e 10 mostram os gráficos plotados, utilizando o software Origin 8, entre quantidade adsorvida no equilíbrio (Q_e) e concentração no equilíbrio (C_e). A partir de então foram ajustadas três isotermas de adsorção: Langmuir, Freundlich, e SIPS.

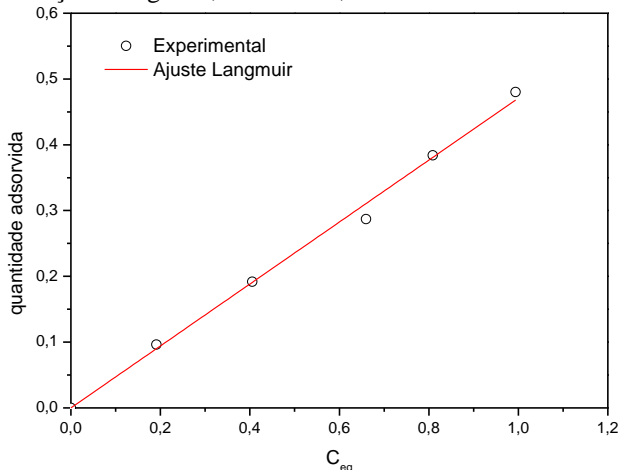


Figura 8. Modelagem dos dados experimentais nas isotermas de adsorção, ajuste dos dados experimentais na isoterma de Langmuir.

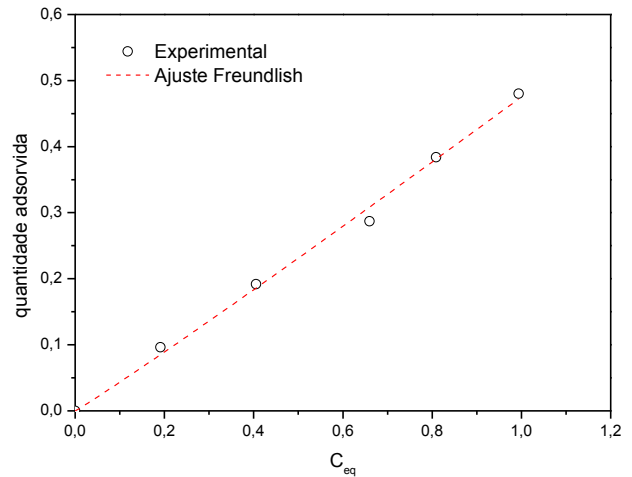


Figura 9. Modelagem dos dados experimentais nas isotermas de adsorção, ajuste dos dados experimentais na isoterma de Freundlich.

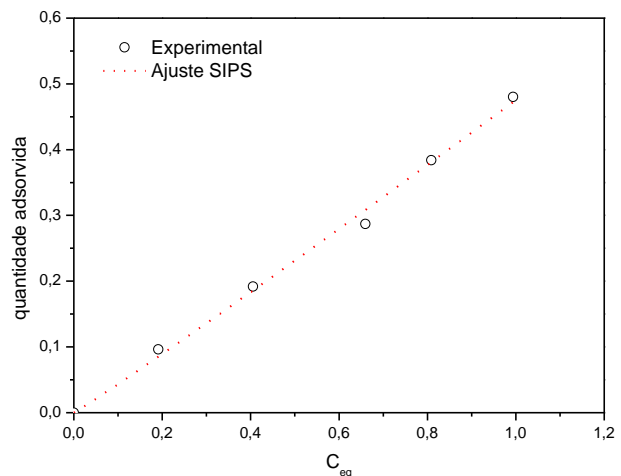


Figura 10. Modelagem dos dados experimentais na isoterma de SIPS.

A Tabela 2 foi obtida a partir dos ajustes dos pontos experimentais nas isotermas de adsorção, usando o software Origin 8. Foram determinados os parâmetros Q_{max} e K da isoterma de Langmuir, os parâmetros K e n da Isoterma de Freundlich, e os parâmetros K e n do ajuste de SIPS.

Tabela 2. Parâmetros das Isotermas de Adsorção.

Parâmetros das Isotermas de Adsorção								
Langmuir			Freundlich			SIPS		
Q_{ma}	K	R^2	Q_{ma}	K	R^2	K_f	R^2	
x			x					
199	2,36x	0,99	199	2,36x	0,99	0,04	0,63	

8,8	10 ⁻⁴	414	8,8	10 ⁻⁴	414	65	98
-----	------------------	-----	-----	------------------	-----	----	----

Analisando a Tabela 2, percebe-se através dos coeficientes de correlação (R^2), que a isoterma de Freundlich foi a que obteve o maior coeficiente de correlação. Mas as isotermas de Langmuir e SIPS também obtiveram coeficientes de correlação elevados assim como o de Freundlich.

Como as três isotermas correlacionaram bem o mecanismo de adsorção estudado, não se pode afirmar ao certo qual isoterma melhor representa adsorção de nitrato pelo bagaço de caju.

O fato das três isotermas apresentarem coeficiente de correlação muito próximo, pode ser explicado da seguinte forma, como estamos tratando de água potável, as análises deveriam ser efetuadas de acordo com os padrões de potabilidade exigidos pelo CONAMA, em que o nitrato tem sua concentração máxima em 10 ppm (mg.L^{-1}), então as concentrações iniciais (C_0) para determinação da concentração no equilíbrio (C_e) variaram de 5 à 25 ppm (mg.L^{-1}), concentrações muito baixas quando comparadas com as concentrações de outros efluente analisadas na literatura. Assim as isotermas tenderam a obedecer à lei de Henry que nos fornece um comportamento linear para a isoterma de adsorção, pois descreve uma situação na qual a fase adsorvida está tão diluída que não há competição na superfície dos sítios nem interações significativas entre as moléculas adsorvidas (ROUQUEROL, 1999).

CONCLUSÕES

Este trabalho demonstrou que o bagaço de caju, rejeito agrícola abundante no nordeste brasileiro, pode ser empregado para tratamento de efluentes aquosos contaminados por nitrato.

O tratamento químico com NaOH na concentração de 0,1 mol/L, quando comparado a concentrações mais elevadas do tratamento, demonstrou ser suficiente para tratar a lignina (composto orgânico presente na superfície do bagaço), e aumentar a eficiência de adsorção, fato que é explicado pela análise termogravimétrica, em que é perceptível uma maior perda de massa pelo bagaço de caju sem tratamento, do que quando o bagaço foi submetido ao tratamento químico. Os testes em batelada também comprovam este fato, no gráfico 3 é possível observar que quanto maior a concentração usada no tratamento, maior a eficiência de remoção, chegando ao valor de cerca de 96% com a concentração de tratamento do bagaço variando de 0,1 mol.L^{-1} a 1 mol.L^{-1} , esta remoção diminuiu para cerca de 66%, quando o tratamento usado foi de 0,01 mol.L^{-1} , e cerca de 22% quando o bagaço não foi submetido ao tratamento.

O teste de cinética evidenciou que o fenômeno de adsorção de nitrato pelo bagaço de caju é relativamente rápido, cerca de 10 minutos, o modelo cinético de

adsorção que mais se ajustou ao fenômeno ocorrido com o bagaço de caju, foi o de Pseudo-Segunda Ordem, o que caracteriza que houve uma forte interação entre o adsorvente e o adsorbato, fornecendo indícios de que a adsorção foi do tipo química.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

BHATNAGAR, A. SILANPÄÄ, M. Coconut-based biosorbents for water treatment – A review of the recent literature. **Advances in Colloid and Interface Science**. Portugal, v. 160, p. 1-15, 2010.

BHATNAGAR, A.; KUMAR, E.; SILANPÄÄ, M. Nitrate removal from water by nano alumina: characterization and sorption studies. **Chemical Engineering Journal**. Portugal, v. 163, p. 317–323, 2010.

BHATNAGAR, A.; SILLANPÄÄ, M. Applications of chitin- and chitosan-derivatives chitosan composite. **Application Clay Science**. v. 48, p. 607–611. 2010.

BHATNAGAR, A.; SILLANPÄÄ, M. Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment – A review. **Journal of Chemical Engineering**. Portugal, v. 157, p. 277-296, 2010.

BHATNAGAR, A.; SILLANPÄÄ, M. A review of emerging adsorbents for nitrate removal from water. **Chemical Engineering Journal**. Portugal, v. 168, p. 493-454, jan. 2011.

BRANDÃO, Poliana Cardoso. **Avaliação do uso de bagaço de cana como adsorvente para remoção de contaminantes, derivados do petróleo e efluentes**. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2001.

BRASIL. **Resolução CONAMA**. nº 357, 17 de março de 2005. Publicada no DOU nº 53, de 18 de março de 2005, Seção I, p. 58-63.

CABRAL, N. M. T.; RIGHETTO, A, M.; QUEIROZ, M. A.; Comportamento do nitrato em poços do aquífero Dunas/Barreira nas explorações Dunas e Planalto, Natal, RN, Brasil. **Química Nova**. Brasil, v. 21, p. 171-187, 2009.

- CLIFFORD, Y.; LIU, A. Removal of nitrate from aqueous solution by using red mud. **Purification Technology**. v.51, p. 374–378. 1993
- CHATTERJEE, S.; WOO, S. H. The removal of nitrate from aqueous solutions by chitosan hydrogel beads. **Journal of Hazardous Materials**. Coréia do Norte, v. 164, p. 1012-1018, 2009.
- DEMIRAL, H.; GUNDUZO, G. Removal of nitrate from aqueous solutions by activated carbon prepared from sugar beet bagasse. **Bioresources Technology**. v. 101, p. 1675–1680. 2010.
- APHA. **Standart methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. 2005
- GOUVEIA, E. R *et al.*; Validação de metodologias para caracterização química do bagaço de cana de açúcar. **Química Nova**. Brasil, v. 32, p. 1500-1503, 2009.
- GUAN, H.; BESTLAND, E.; ZHU, C.; ZHU, H.; ALBERTSDOTTIR, D.; HUTSON, J.; SIMMONS, C.T.; GINIC-MARKOVIC, M.; TAO, X.; ELLIS, A.V. Variation in performance of surfactant loading and resulting nitrate removal among four selected natural zeolites. **Journal Hazardous Materials**. v. 183, p. 616–621. 2010.
- ISLAM, M.; MISHRA, P.C.; PATEL, R. Physicochemical characterization of hydroxyapatite and its application towards removal of nitrate from water. **Journal of Environmental**. v. 31, p. 806–812. 2009.
- ISLAM, M.; PATEL, R. Nitrate sorption by thermally activated Mg/Al chloride hydrotalcite-like compound. **Journal Hazard. Mater**. v. 169, p. 524–531. 2010.
- LIMA, A. C. A. *et al.*; Modified coconut shell fivers: A green and economical sorbent for the removal of anions from aqueous solutions. **Chemical Engineering Journal**. Brasil, v. 185, p. 274-284, 2012.
- MAZEIKIENE, A.; VALENTUKEVICI, M.; RIMEIKA, M.; MATUZEVICIUS, A.B.; DAUKNYS, R. Removal of nitrates and ammonium ions from water using natural sorbent zeolite (clinoptilolite). **Journal Environ. Eng. Landscape Manag**. v. 16, p. 38–44. 2008.
- MOREIRA, S. A; SOUSA, F. W; OLIVEIRA, A. G; NASCIMENTO, R. F; BRITO, S. E. Remoção de metais de solução aquosa usando bagaço de caju. **Química Nova**. Brasil. v. 32, p. 1717-1722, 2009.
- NAMASIVAYAM, C.; HOLL, W.H. Quaternized biomass as an anion exchanger for nitrate from contaminated water. **Chemical Engineering Journal**. v. 99, p. 153–160. 2004.
- OZCAN, A.; AHIN, M. S.; OZCAN, A.S. Adsorption of nitrate ions onto sepiolite and onto various materials. **Journal Hazardous Materials**. v. 112, p. 155–162. 2004.
- PAN, J. Y.; BYUN, H. J.; CHOI, W. H.; KANG, H. Cement paste column for simultaneous removal of fluoride, phosphate, and nitrate in acidic wastewater. **Chemosphere**. Coréia do Norte. v. 7, p.1429–1437, 2012.
- PINHO, L. X. **Aproveitamento do resíduo do pendúnculo de caju (*Anacardium occidentale L.*) para alimentação humana**. 99 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.
- REDDY, K. J.; LIN, J. Nitrate removal from groundwater using catalytic reduction. **Journal of Water Treatment**. Estados Unidos, v. 34, p. 995-1001, 2000.
- RODRIGUES, T. H.. **Estudo de pré-tratamento alcalino em micro-ondas da fibra do caju**. 2010. 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.
- ROUQUEROL, J. Characterization of the porosity of activated charcoals by adsorption from solution. **Studies in Surface and Catalysis**. v. 62, p. 399-408, 1999.
- SANTOS, M. F. R. dos. **Elaboração do technology roadmap para biorrefinaria de produtos da lignina no Brasil**. 2011. 309 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- SCHOEMAN, J. J.; STEYN, A. Nitrate removal with reverse osmosis in a rural area in South Africa. **Journal of Desalination**. AfricadoSul. v. 155, p. 15-26, 2003.
- SHAFEY, E. I.; Sorption of Cd(II) and Se(II) from aqueous solution using modified rice husk. **Journal of Chemical Engineering**. Egito, v. 155, p. 234-247, jan. 2007.
- SOUTO, M. A. M; OKADA, M. M; OKADA, I. A; DOVIDAUSKAS, S. A determinação de nitrato em água por espectrofotometria UV: usos e precauções. **Instituto Adolfo Lutz**. Brasil, v. 6, p. 7-14. 2006.
- STANCARI, R. C. A. S.; MIYAZAKI, S. K. Avaliação de metodologias para determinação de nitrato em água para

consumo humano. **Química Nova**. Brasil, v. 12 p. 154-168.

VIEIRA, A. P; SANTANA, S. A. A; BEZERRA, C. W. B; SILVA, H. A. S; CHAVES, J. A. P; MELO, J. C; FILHO, E. C. S; AIROLDI, C. Copper sorption from aqueous solutions and sugar cane spirits by chemically modified babassu coconut (*Orbignyaspiciosa*) mesocarp. **Chemical Engineering Journal**. Brasil, v. 161, p. 99-105, 2010.

VIEIRA, A. P. BEZERRA, C. W. B; SILVA, H. A. S; CHAVES. Kinetics and thermodynamics of textile dye adsorption from aqueous solutions using babassu coconut mesocarp. **Journal of Hazardous Materials**. Brasil, v. 166, p. 1272-1278, 2006.

WARD, M.H.; DEKOK, T.M.; LEVALLOIS, P.; BRENDER, J.; GULIS, G.; NORLAN, B.T.; VANDERSLICE. Workgroup report: drinking-water nitrate and health recent findings and research needs. **Environmental Health Perspectives**. v. 113, p. 1607–1614. 2005.

WANG, Y.; GAO, B.-Y.; YUE, W.-W.; YUE, Q.-Y. Yue. Preparation and utilization of wheat straw anionic sorbent for the removal of nitrate from aqueous solution. **Journal Environmental Science**. v. 19, p. 1305–1310. 2007.