



II-105 - ADSORÇÃO DE FLUOR PRESENTE EM SOLUÇÕES AQUOSAS USANDO CARVÃO ATIVADO

Rodrigo Maia Valença

Graduando do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Alagoas.

Felipe Rosa do nascimento

Graduando do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Alagoas.

Selêude Wanderley da Nóbrega

Professora Associada do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas.

Christiano Cantarelli Rodrigues⁽¹⁾

Professor Associado do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas.

Endereço⁽¹⁾: Campus A. C. Simões, Av. Lourival de Melo Mota S/N - Tabuleiro do Martins - Maceió - AL - CEP: 57072-900 - Tel: (82) 3214 - 1306 - e-mail: ccr@ctec.ufal.br.

RESUMO

Águas naturais podem apresentar elevadas concentrações de substâncias inorgânicas nelas dissolvidas, em função do contato direto com o solo e com a decomposição de material rochoso. Desse modo, a literatura tem mostrado que a presença de fluoreto em águas subterrâneas tem excedido os valores admissíveis em muitas localidades. Elevadas concentrações de flúor em águas subterrâneas ocorrem com frequência no Brasil e no mundo. O Flúor é amplamente utilizado em produtos de higiene bucal por fortalecer o esmalte dentário e prevenir a formação de cáries, e também está presente em vários alimentos de uma típica dieta brasileira. A exposição prolongada a concentrações elevadas de flúor pode ser responsável por causar a fluorose dental e, em casos mais graves, a fluorose óssea. Neste contexto, objetivo geral deste trabalho foi estudar o uso da adsorção como uma alternativa para a desfluoretação de águas de abastecimento ou residuárias. Com esse intuito foram realizados testes de adsorção através de banho finito e de coluna de leito fixo para conhecer e entender a cinética de adsorção do processo. A influência do pH no processo adsorptivo foi analisada para melhor entender a interação entre o adsorvato e adsorvente utilizados. O carvão ativado usado é de produção própria, à base de casca de Castanha-do-Pará, e ativado fisicamente com CO₂. Os resultados obtidos indicam que o pH 3 da solução tratada foi o que proporcionou uma melhor remoção por adsorção com o carvão usado, com eficiência de remoção em torno de 60%. Os resultados indicam também, que a adsorção em banho finito foi a mais adequada e a cinética de adsorção foi bem representada pelo modelo cinético de primeira-ordem e segunda-ordem.

PALAVRAS-CHAVE: Adsorção, flúor, carvão ativado.

INTRODUÇÃO

Muito antes dos debates acirrados sobre cigarro, DDT, amianto ou o buraco na camada de ozônio, a única controvérsia relacionada à saúde que a maioria dos cidadãos dos Estados Unidos já tinham ouvido falar era a da fluoretação da água [1].

O flúor é um importante poluente industrial que tem causado danos generalizados em trabalhadores a ele expostos e em comunidades sujeitas à contaminação. Durante a Guerra Fria, o flúor foi responsável por mais ações judiciais contra a indústria norte-americana do que todos os outros poluentes atmosféricos juntos. Embora o desenvolvimento de tecnologia de controle de poluição moderna tenha resultado em reduções nas emissões de fluoretos, milhões de pessoas em todo o mundo ainda continuam com a sua saúde em risco em função da exposição ao flúor [3].

Por ser uma substância que atua na proteção contra as cáries, o flúor é mundialmente indicado para uso em produtos de higiene bucal [2]. No Brasil, a fluoretação é obrigatória em todos os sistemas públicos de abastecimento de água [4]. O uso de flúor para a redução da incidência de cárie dentária foi implementado a partir da observação de que em países cuja população mais sofre com fluorose através da ingestão de água

fluoretada naturalmente (através das rochas e dos solos que abrigam as fontes de água), como a Índia, por exemplo, a quantidade de cárie é mínima [2].

O papel dos fluoretos, combatendo uma doença e provocando outras, tem sua raiz no poder de atração que os íons de flúor exercem sobre os tecidos do corpo que contêm cálcio. De fato, mais de 99% dos fluoretos ingeridos, não excretados em seguida, vão para os ossos e os dentes [1].

O excesso de flúor no organismo desorganiza a estrutura do colágeno, comprometendo assim os tecidos conectivos dos tendões, ligamentos, parede das artérias etc., fazendo com que esses percam flexibilidade e resistência. Pode ainda causar a hipermineralização óssea, que torna os ossos mais vulneráveis a fraturas, provoca deformações como a escoliose, cifose etc., e restringe os movimentos das juntas [5]. A comunidade científica ainda debate sobre a relação entre o excesso da ingestão de fluoreto e o osteossarcoma, a forma mais comum de câncer ósseo [1].

À luz dos malefícios que podem ser causados por esse poluente e das quantidades de fluoreto presentes em diversos tipos de alimentos de uma dieta típica [6] da maioria das pessoas, faz do excesso de flúor em águas de abastecimento um problema de saúde pública [7].

O tratamento de efluentes fluoretados pode ser realizado através de diversos métodos, tais como osmose reversa [8], adsorção [9], troca iônica [10] etc. Contudo, a solução deste problema é um desafio tecnológico, refletindo nos aspectos técnicos e econômicos [11]. Assim, a adsorção se destaca como uma alternativa de solução bastante viável para esse caso. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi contribuir com o desenvolvimento de métodos de controle da emissão de compostos inorgânicos em fase líquida, utilizando a técnica da adsorção em leito fixo com carvão ativado, um adsorvente que apresenta ótimo desempenho de forma geral, é de fácil acesso e baixo custo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Efluente sintético:

A solução com flúor foi produzida a partir da dissolução do fluoreto de sódio (NaF) em água, com uma concentração inicial de 5mg/L, que foi usada em todos os ensaios. A concentração do flúor foi determinada pelo método SPADNS, largamente utilizado para este fim como descrito em [1].

Adsorvente:

Os adsorventes usados foram produzidos a partir da casca da “Castanha do Brasil” e endocarpo do coco, sendo ambos ativados fisicamente com dióxido de carbono (CO₂). Estes carvões foram caracterizados para determinação da granulometria, pH_{PZC} e área superficial específica. As técnicas usadas na caracterização estão amplamente divulgadas na literatura [2-3].

Ensaios de Adsorção em Banho Finito:

Os ensaios cinéticos em sistema de banho finito foram realizados em um reator com 1L da solução de flúor com concentração de 5,0mg/L sob agitação e em contato com uma massa do carvão de 5,0g. A partir do início do contato do carvão com a solução iniciava-se a contagem do tempo do ensaio, e em tempos pré-definidos eram retiradas amostras para determinar a concentração do flúor. As amostras retiradas eram filtradas e em seguida sua concentração era determinada. Os valores das concentrações determinadas nos ensaios foram usados para determinar a capacidade de adsorção dos carvões em função do tempo através da Equação 1.

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t)}{C_c} \quad \text{equação (1)}$$

Na qual q_t é a capacidade de adsorção em função do tempo (mg/g), C_0 é a concentração inicial do flúor (mg/L), C_t a concentração em função do tempo (mg/L) e C_c a concentração do carvão (g/L).

Os dados experimentais obtidos nos ensaios cinéticos foram comparados com modelos cinéticos de pseudo-

primeira ordem e pseudo-segunda ordem largamente utilizados na literatura [4] representados pelas Equações 2 e 3 respectivamente:

$$q_t = q_e \cdot (1 - e^{-k_1 \cdot t}) \quad \text{equação (2)}$$

$$q_t = \frac{k_2 \cdot q_e^2 \cdot t}{1 + k_2 \cdot q_e \cdot t} \quad \text{equação (3)}$$

nas quais q_t é a capacidade de adsorção em função do tempo (mg/g), q_e é a capacidade de adsorção no equilíbrio (mg/g), k_1 e k_2 as constantes de primeira ordem e segunda ordem respectivamente e t o tempo de adsorção (min).

Ensaio de Adsorção em Leito Fixo:

Os ensaios em coluna de leito fixo foram realizados em uma coluna de acrílico com uma vazão da alimentação constante de 10mL/min e alturas do leito de adsorção com 15cm e 30cm. Uma bomba peristáltica foi utilizada para alimentar a coluna a partir do reservatório da solução. A coleta das amostras foi feita em intervalos regulares de tempo. A concentração inicial usada foi de 5,0mg/L. Os dados obtidos foram utilizados para a construção das curvas de ruptura, que representam o desenvolvimento do processo de adsorção. Em geral, as curvas de ruptura típicas do processo de adsorção apresentam o formato de "S", que podem ser ajustados usando uma equação do tipo sigmoidal. A Equação 4 foi usada para ajustar os dados experimentais obtidos:

$$\frac{C}{C_0} = \frac{t}{t + A \cdot e^{-B \cdot t}} \quad \text{equação (4)}$$

na qual C_t é a concentração do flúor na saída da coluna (mg/L), C_0 é a concentração do flúor na entrada da coluna (mg/L), t é o tempo de adsorção (min) e A e B são parâmetros de ajuste da Equação 4.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O trabalho teve início com a realização de testes para escolher o adsorvente que mais se adequava ao tratamento proposto. Foram realizados testes de adsorção com diversos carvões ativados produzidos a partir do endocarpo do coco e casca de Castanha-do-Brasil. Destes testes, foi selecionado uma amostra de carvão ativado produzido a partir da casca de Castanha-do-Brasil denominado CP-5. Este carvão foi usado em todos os demais testes realizados neste estudo.

O carvão ativado CP-5 tem origem vegetal, produzido a partir da casca da Castanha-do-Brasil, e ativado fisicamente com dióxido de carbono. Sua produção consistiu em carbonizar o precursor do carvão em um forno com atmosfera inerte de nitrogênio (N_2) na temperatura de 700°C e uma taxa de aquecimento de 8°C/min. O material foi mantido no forno a temperatura constante de 700°C por 2h. Em seguida, o carvão passou para a etapa de ativação, onde a alimentação de N_2 foi substituída por dióxido de carbono (CO_2) e o material permaneceu no forno por mais 2h na mesma temperatura. Após este período, o forno foi desligado e o carvão foi retirado após o forno resfriar até a temperatura ambiente.

A ativação física tem a finalidade de melhorar as características adsorptivas do carvão, através da limpeza dos poros do mesmo, de modo a aumentar sua área superficial específica, bem como sua porosidade. A amostra de carvão escolhida foi caracterizada, com a determinação de algumas propriedades como diâmetro da partícula, pH_{PZC} e área superficial específica de BET.

O carvão foi moído e, em seguida, passou por uma classificação granulométrica, usando peneiras para separar amostras com diâmetro de partícula o mais homogêneo possível. Inicialmente o objetivo era separar uma única faixa granulométrica do carvão para que essa fosse usada em todos os ensaios. Contudo, a pouca disponibilidade do carvão CP-5 nos obrigou a trabalhar em duas faixas granulométricas, sendo a faixa mais fina usada nos ensaios em batelada e a faixa mais grossa usada nos ensaios em leito fixo. A Tabela 1 apresenta os resultados da caracterização do carvão CP-5.

Tabela 1: Caracterização do carvão CP-5.

Diâmetro da partícula fina (mm)	$0,149 < d_p < 0,350$
Diâmetro da partícula grossa (mm)	$0,350 < d_p < 0,600$
pH _{PZC}	10,3
Área Superficial Específica (m ² /g)	250

O tamanho das partículas de adsorvente é um fator de interferência direta na eficiência da remoção do poluente, pois a adsorção é um fenômeno essencialmente de contato entre o fluido e a superfície do adsorvente. Por isso, uma menor granulometria do adsorvente disponibiliza uma maior superfície para contato adsorvato-adsorvente, possibilitando uma maior eficiência do processo de adsorção.

A determinação da área superficial específica do carvão ativado foi realizada com base nas isotermas de adsorção de nitrogênio (N₂) a 77K, obtidas em um equipamento ASAP 2020 - Physisorption Analyzer da Micromeritics. A Figura 1 mostra a isoterma de adsorção de nitrogênio (N₂) sobre a amostra de carvão ativado usada. A isoterma apresenta uma curvatura suave, este comportamento está relacionado à distribuição do tamanho dos microporos. A curvatura será mais acentuada caso a distribuição de microporos seja mais estreita e menos acentuada caso a distribuição de microporos seja larga, o que acontece na amostra analisada. O carvão analisado apresenta uma quantidade de N₂ adsorvida não muito elevada, indicando que sua porosidade e área superficial específica não serão elevadas. Esse tipo de comportamento é bastante característico para carvões ativados produzidos a partir do precursor usado, assim como constatado na literatura [12].

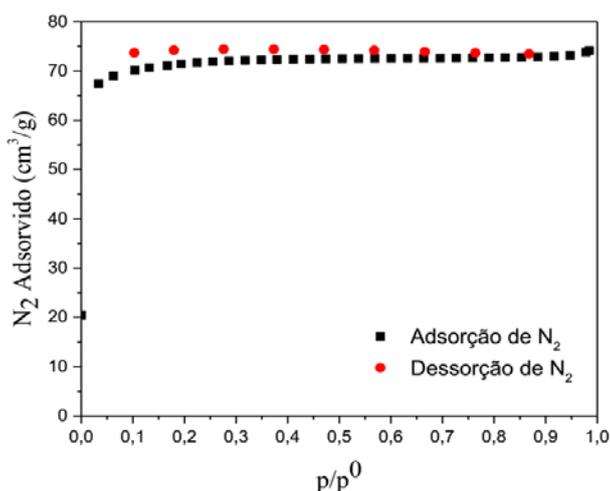


Figura 1 - Isoterma de adsorção do N₂ sobre o carvão CP-5

A área superficial específica (A_{BET}) foi calculada a partir do método proposto por Brunauer, Emmett e Teller, conhecido como método de BET. Este método tem como base o uso de dados experimentais de isotermas de adsorção do N₂ no sólido a ser avaliado.

O resultado apresentado na Tabela 1 mostra que o carvão ativado CP-5 apresenta uma área de 250m²/g. Este valor está de acordo com o esperado a partir da experiência no uso dos métodos de carbonização e ativação do carvão que foram aplicados. Valores típicos para a área superficial de carvões ativados são entre 600 e 2000m²/g, sendo mais comuns valores na faixa de 800 a 1200 m²/g. Desse modo, consideramos o carvão CP-5 com uma baixa disponibilidade de área superficial. A alta área superficial em um sólido adsorvente é uma característica importante, pois como a adsorção é um fenômeno de superfície, esta característica pode levar o adsorvente a ter um melhor desempenho quando usado.

A Tabela 1 mostra também que o valor de pH_{PZC} obtido de 10,30 indica que a superfície do carvão tem uma característica básica. Este resultado é bastante comum para carvões ativados com CO_2 , e esta característica em algumas situações pode ter uma importante influência na adsorção.

Após a caracterização do adsorvente foram realizados ensaios de adsorção. Os resultados obtidos nesses ensaios são apresentados a seguir. Todos os resultados apresentados foram obtidos a partir de testes com efluentes sintéticos, produzidos através da dissolução de fluoreto de sódio (NaF) em água destilada, de tal modo que a concentração do fluoreto na solução desejada fosse atingida.

O primeiro fator a ser estudado foi a influência do pH da solução na adsorção do fluoreto. Esse estudo se deu entre a faixa de pH de 1,0 e 12,0 (Figura 2). Os experimentos que foram realizados com esse propósito ocorreram em béqueres de 80 ml com 40 ml de efluente sintético à temperatura ambiente ($28 \pm 3^\circ C$). Esse conjunto foi levado a uma bandeja de agitação horizontal e, após 24 horas as amostras foram filtradas e submetidas à análise do flúor residual pelo método SPDNS. Para que a influência do pH pudesse ser estudada os efluentes usados tiveram seus pH's alterados com a adição de NaOH ou HNO_3 , a depender do pH desejado.

O pH é um fator de grande influência na interação entre adsorvato e adsorvente. Muitos pesquisadores afirmam que o fenômeno da adsorção depende do pH da fase aquosa e do estado iônico, em especial o pH dos grupos funcionais presentes na superfície do adsorvente [13]. Desse modo, a adsorção depende da protonação ou da desprotonação desses grupos funcionais [14]. Assim, podemos afirmar que, a forma iônica do fluoreto e a carga elétrica da superfície do adsorvente dependem do pH da solução aquosa.

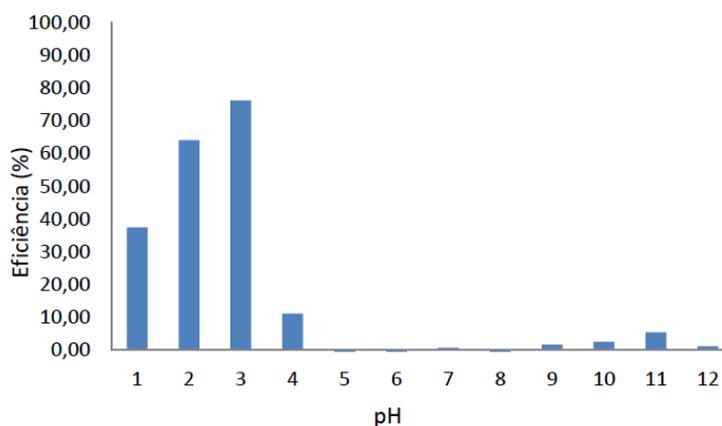


Figura 2 - Influência do pH na adsorção de fluoreto no carvão CP-5.

A Figura 2 mostra que a adsorção foi favorecida na faixa de pH mais baixo, onde as cargas da superfície do carvão estariam positivas. Esta situação facilitaria a atração entre o íon negativamente carregado do fluoreto e a superfície do carvão. Nesse caso a adsorção pode ser atribuída à troca iônica entre a superfície do carvão (H^+) e o íon fluoreto (F^-) [13]. A baixa capacidade de adsorção a partir do pH 5 pode ter ocorrido pelo aumento de íons hidroxila livres, o que favoreceria a formação de complexos aquosos [13].

Após análise dos resultados da Figura 2, o pH 3 foi selecionado como pH ótimo para a adsorção de fluoreto. A partir do conhecimento do pH ótimo para a adsorção do fluoreto com o carvão CP-5 foram realizados ensaios sempre no pH 3. Inicialmente foram realizados ensaios em batelada para o conhecimento da cinética do processo de adsorção. Esses ensaios foram realizados em reatores de mistura com volume de 1L de efluente sintético e 5g de carvão. Estes sistemas foram mantidos em agitação por 8 horas e tiveram alíquotas retiradas em tempos pré-determinados.

Os dados coletados no teste cinético foram ajustados pelas equações 2 e 3 que representam o modelo de pseudo-primeira ordem e o modelo de pseudo-segunda ordem, respectivamente.

A Figura 3 mostra os resultados da cinética de adsorção. Observa-se nesta figura que a remoção do fluoreto aumentou com o tempo de adsorção até atingir um valor de equilíbrio. Esse equilíbrio foi atingido pouco antes do ensaio completar uma hora, e o processo alcançou uma eficiência de remoção de fluoreto da ordem de 63%.

A rápida remoção do adsorvato e o alcance do equilíbrio em um curto período de tempo é um indicativo que o adsorvente tem potencial para ser usado na remoção de fluoreto e possibilita que o tratamento de efluentes contaminados com fluoretos seja mais econômico. A forma simples e contínua da curva cinética até a saturação sugere uma cobertura por monocamada do fluoreto nas superfícies do carvão, indicando um melhor aproveitamento da área disponível do carvão para a adsorção [15].

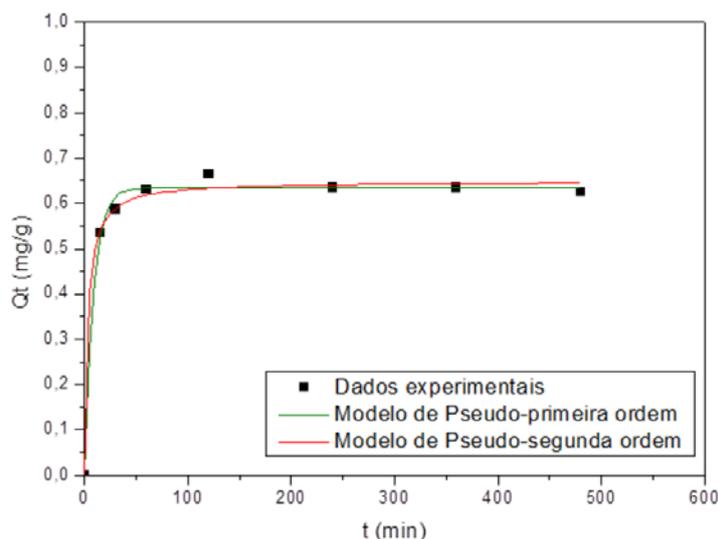


Figura 3 – Cinética de adsorção e ajuste dos modelos de pseudo-primeira e segunda ordem

A Figura 3 mostra também que os resultados experimentais se ajustaram muito bem tanto a equação de pseudo-primeira ordem quanto à de pseudo-segunda ordem, com coeficiente de correlação R^2 na ordem de 0,99 para ambos os casos. Estes resultados indicam que durante a interação entre adsorvato e adsorvente ocorrerem os fenômenos de quimissorção e de fisissorção, característicos para resultados que se ajustam a estes modelos [16].

Foram realizados também ensaios utilizando um sistema de leito fixo, onde o efluente sintético, com pH 3, passou por colunas de 15 e de 30cm de comprimento e 6 mm de diâmetro, preenchidas com 2,6 e 5,50g de carvão respectivamente.

Ao analisar os resultados dos ensaios em leito fixo (Figura 4) observa-se que os mesmos seguem uma tendência de uma curva sigmoidal, assim como se é esperado para ensaios desta natureza. Observa-se que no ensaio com leito de 2,6g de carvão, o leito atingiu rapidamente o ponto de ruptura, que representa o rápido crescimento da concentração de saída. Este comportamento impossibilitou coletar amostras antes do tempo de ruptura. Esse comportamento leva a um baixo desempenho do leito na adsorção.

Ensaio realizado com uma massa de leito adsorvente maior, possibilitou a obtenção de uma curva de ruptura melhor definida. Foi usado um leito com 5,5g de carvão ativado e mesmo com o considerável aumento na massa do leito, o mesmo alcançou o ponto de ruptura em aproximadamente 10 minutos. Estes resultados, a princípio, tornam pouco viável o uso de aplicações em leito fixo do carvão CP-5 para a remoção do fluoreto. Os dados experimentais dos ensaios realizados com o leito de 5,5g de carvão, foram ajustados através de um modelo matemático do tipo sigmoidal [17], representado pela Equação 4. Os dados ajustados mostrados na Figura 4 apresenta um coeficiente de correlação R^2 superior a 0,98. Estes resultados indicam que os dados experimentais obtidos podem ser representados de forma adequada pelo modelo matemático da Equação 4.

Os resultados obtidos nos ensaios de adsorção, indicam que o carvão ativado usado tem potencialidade para remover o fluoreto de soluções aquosas, sendo o método de banho finito o mais adequado para as condições avaliadas.

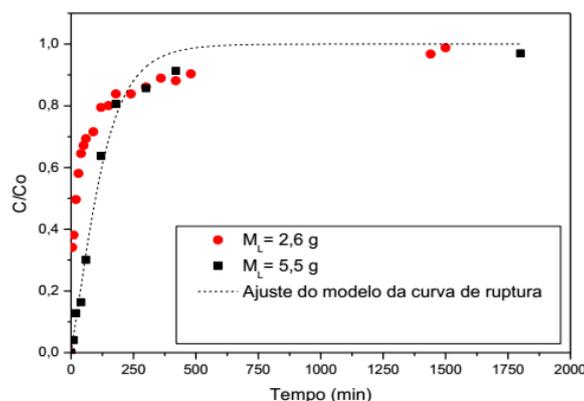


Figura 4 – Curvas de ruptura dos ensaios em leito fixo e ajuste ao modelo sigmoidal.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados apresentados, pode-se concluir que:

Carvões ativados provenientes do endocarpo do coco mostraram grande dificuldade em adsorver o fluoreto, sendo o carvão CP-5 oriundo da casca da "Castanha do Brasil" o que apresentou melhor desempenho.

O pH que mais favorece a adsorção do fluoreto nas condições estudadas usando o carvão CP-5 é o pH 3.

Os modelos cinéticos de primeira e de segunda-ordem mostraram-se adequados para representar a cinética de adsorção nos ensaios em banho finito.

Os ensaios em coluna de leito fixo não apresentaram resultados promissores nas condições estudadas.

Durante o estudo foi possível observar uma eficiência na remoção do fluoreto acima de 60%, indicando a potencialidade do carvão CP-5 como adsorvente para a remoção do mesmo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. “Controvérsias Sobre O Flúor” – disponível em: <http://www2.uol.com.br/sciam/reportagens/controversias_sobre_o_fluor.html>, acessado em: 15/02/2015 às 10:30:56.
2. “The most damaging environmental pollutant of th Cold War” – disponível em: <<http://fluoridealert.org/issues/pollution/>>, acessado em: 15/02/2015 às 10:37:58.
3. “Excesso de flúor na água é perigo para a população” – disponível em: <<https://portalverde.wordpress.com/2013/03/03/excesso-de-fluor-na-agua-e-perigo-para-apopulacao/>>, acessado em: 15/02/2015 às 10:32:00.
4. LEX: Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos, LEI No 6.050, DE 24 DE MAIO DE 1974.
5. “Conheça o Flúor e suas Consequências” – disponível em: <<https://sites.google.com/site/venenofluor/conheca-o-fluor-e-suas-consequencias>>, acessado em: 15/02/2015 às 10:23:55.
6. CASARIN, R. C. V.; FERNANDES, D. R. M.; LIMA-ARSATI, Y. B. O.; CURY, J. A.: Concentração de fluoreto em arroz, feijão e alimentos infantis industrializados. Rev. Saúde Pública, 41(4):549-56, 2007.
7. SANTOS, M. G. C.; SANTOS, R. C.: Fluoretação das Águas de Abastecimento Público no Combate à Cárie Dentária. Revista Brasileira de Ciências da Saúde - Volume 15, Número 1, Páginas 75-80, 2011.
8. MONTEIRO, D. T.: desfluoretação de águas subterrâneas a partir do uso da moringa oleifera – VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica – Uberlândia, Minas Gerais, Brasil. 27 a 30 de julho de 2009.



9. YADAV, A.K.; KAUSHIK; C.P.; HARITASH, A.K.; KANSAL, A.; RANI, N.: Defluoridation of groundwater using brick powder as an adsorbent. *J. Hazard. Mater.* 128,289–293, 2006.
10. SCAPINI, L.: Avaliação do Desempenho da Osmose Reversa e da Troca Iônica Para Tratamento de Efluente de Curtume (Aimoré Couros Ltda – Encantado) Visando a Reutilização da Água. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação Sistemas e Processos Industriais, Universidade de Santa Cruz do Sul. Santa Cruz do Sul – RS, 2007.
11. ALVARINHO, S. B.; MARTINELLI, J. R.: Utilização de alumina para a remoção de fluoretos em águas e efluentes. *Cerâmica* v.46 n.298, São Paulo – abr./maio/jun. 2000.
12. NJOKU, V.O.; HAMEED, B.H.: Preparation and characterization of activated carbon from corncob by chemical activation with H₃PO₄ for 2,4-dichlorophenoxyacetic acid adsorption. *Chemical Engineering Journal* 173, p. 391 – 399, 2011.
13. MOHAN, S.V.; KARTHIKEYAN, J.: Removal of lignin and tannin aqueous solution by adsorption onto activated charcoal. *Environ. Poll.* 97, 183–197, 1997.
14. ILHAMI, T.; GULAY, B.; EMINE, Y.; GOKBEN, B.: Equilibrium and kinetic studies on biosorption of Hg(II), Cd(II) and Pb(II) ions onto micro algae *Chlamydomonas reinhardtii*. *J. Environ. Manag.* 77, 85–92, 2005.
15. BERTOLINI, T. C. R.; FUNGARO, D. A.: Estudos de Equilíbrio e Modelagem Cinética da Adsorção do Corante Cristal Violeta sobre Zeólitas de Cinzas Leve e Pesada de Carvão – 3rd International Workshop | *Advances in Cleaner Production – São Paulo, Brasil, 2011.*
16. PUTRA, E.K.; PRANOWO,R.; SUNARSO, J.; INDRASWATI, N.; ISMADJI, S.: Performance of activated carbon and bentonite for adsorption of amoxicillin from wastewater: Mechanisms, isotherms and kinetics. *Water Research*, v.43, 2009, p.2419-2430.
17. CANTARELLI, C. R.: Contribuição Ao Estudo do Tratamento do Gás Amoníaco Por Adsorção em Leito Fixo de Carvão Ativado. Tese de Doutorado, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos – São Paulo, 2002.