



7, 8 e 9  
Março 2018  
ÉVORA  
Évora Hotel

GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS:  
**NOVOS  
DESAFIOS**

## AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ADSORÇÃO DE FLÚOR EM CARVÃO ATIVADO PRODUZIDO A PARTIR DA BORRA DE CAFÉ

Gabriel Gade Martins, MESQUITA<sup>1</sup>; Andreia Cristina Fonseca, ALVES<sup>2</sup>; Paulo Sérgio, SCALIZE<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Goiás, Goiânia – Brasil,  
gabriel.gade@gmail.com

<sup>2</sup>Engenheira Ambiental e Sanitarista, Mestranda em Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Goiás,  
Goiânia – Brasil, andreiacristina@ufg.br

<sup>3</sup>Engenheiro Civil e Biomédico, Doutor em Hidráulica e Saneamento, Professor Associado, Universidade Federal de Goiás,  
Goiânia – Brasil, pscalize@ufg.br

### Resumo

A Produção de carvão ativado utilizando-se rejeito da agroindústria, como é o caso da borra de café, é uma forma de agregar valor ao resíduo e possibilita sua aplicação no tratamento de águas com elevada concentração de flúor. Desta forma, o objetivo do presente estudo é avaliar a capacidade de adsorção do flúor presente na água, utilizando-se carvão ativado produzido a partir da borra de café. A borra foi impregnada com cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ) em diferentes proporções e submetida à temperatura de 600°C durante 2 horas sob atmosfera de gás nitrogênio. A proporção de impregnação do carvão ativado que apresentou melhor desempenho foi de 1:2 (agente ativante: borra de café) com capacidade de adsorção igual a 8,9 mg  $\text{F}^-/\text{g}$ , superando a capacidade de carvões produzidos a partir de outras matérias primas, como osso bovino e fungos. Portanto, constatou-se que o carvão ativado a partir da borra de café por meio da metodologia empregada neste estudo possui capacidade de remoção do flúor presente na água. Porém, o aperfeiçoamento de algumas etapas do processo de produção do carvão se faz necessário, primando-se, dessa forma, pela sustentabilidade da aplicação dessa tecnologia alternativa.

**Palavras-chave:** borra de café, carvão ativado, adsorção, flúor.

**Tema:** Serviços de abastecimento, drenagem e tratamento de águas.



7, 8 e 9  
Março 2018  
ÉVORA  
Évora Hotel

GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS:  
**NOVOS  
DESAFIOS**

## 1. INTRODUÇÃO

O café chegou ao Brasil no ano de 1727 e, desde então, se destaca no cenário econômico e agrícola do país. Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Café (ABIC), no ano de 2015, o Brasil ocupava a posição de maior produtor e exportador mundial de café, e a segunda colocação como consumidor, apresentando um crescimento de 55,3% ao comparar-se o consumo de sacas de café entre os anos de 2000 e 2015.

Por conseguinte, a produção de resíduos decorrente dos processos desenvolvidos nas indústrias de café também é um aspecto que deve ser considerado relevante. Castro (2009) destaca a borra de café como subproduto no preparo do café solúvel, o qual se enquadra como Classe II, segundo a NBR 10.004 (BRASIL, 1987), pois apresenta características não inertes, possuindo ou não biodegradabilidade e combustibilidade. Segundo a autora, a disposição desse resíduo pode causar degradação ambiental quando lançado diretamente no ambiente, porém quando o mesmo é utilizado para alimentar as caldeiras da própria indústria de café, o processo de queima libera um material particulado prejudicial à qualidade do ar.

Neste cenário, Kalderis et al. (2008) apresentam uma proposta, a qual consiste na produção de carvão ativado utilizando rejeitos da agroindústria como uma forma alternativa de agregar valor a esses resíduos e promover uma destinação ambientalmente adequada. De acordo com Castro (2009), a borra de café pode ser utilizada como matéria prima (percursor) na produção de carvão ativado, pois apresenta alto teor de carbono e baixo teor de matéria inorgânica (cinzas), devendo outras características como custo e disponibilidade serem apreciadas, pois a escolha do precursor representa parte expressiva das despesas no processo de ativação do carvão. A autora aponta ainda uma demanda crescente pelo carvão ativado no mercado brasileiro.

A borra de café pode ser ativada por dois processos diferentes, ativação física ou ativação química. Na ativação química, de acordo com Badosz (2006), o precursor é impregnado previamente com um agente químico ativante, sendo geralmente empregado cloreto de zinco, ácido fosfórico ou hidróxidos alcalinos e posteriormente, submetido a elevadas temperaturas, entre 600° a 800°C de acordo com Gergova et al. (1993), sob atmosfera inerte. A autora afirma que o tratamento térmico ao qual o precursor é sujeito está diretamente relacionado com o agente ativante. Por fim, o material resultante é lavado com solução ácida e água destilada visando a remoção dos ativantes químicos e seus produtos de decomposição (BOUDRAHEM; SOUALAH; AISSANI-BENISSAD, 2011; BRUM et al., 2008; GONÇALVES et al., 2013).

Desta forma, o processo de ativação química ocorre apenas em uma etapa que compreende a carbonização e ativação do material e pode apresentar vantagem econômica se comprado à ativação física devido ao processo ocorrer somente em uma etapa e com temperaturas mais amenas. Porém, o efluente produzido na lavagem do material contém contaminantes e, portanto, deve receber uma destinação ambientalmente adequada.

Ambos os processos de ativação do carvão tem por finalidade gerar um produto com características específicas, Gergova et al. (1993) ressaltam a estrutura porosa e os complexos de oxigênio na superfície do carbono como as mais importantes e Rodríguez-



7, 8 e 9  
Março 2018  
ÉVORA  
Évora Hotel

GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS:  
**NOVOS  
DESAFIOS**

Reinoso (1998) explica que o processo de adsorção ocorre principalmente nos microporos, classe de carvões ativados que possuem poros com diâmetro inferior a 2 nm, conforme estabelecido pela International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC, 1982, apud RIBEIRO, 2011). Outra característica apreciável para o carvão ativado é a área superficial que esta diretamente relacionada à capacidade de adsorção (CASTRO, 2009).

Todas as características apresentadas pelo carvão ativado possibilitam seu emprego, segundo Gergova et al. (1993), tradicionalmente, como suporte de catalizador e adsorvente. Kalderis et al. (2008) descrevem alguns exemplos das possíveis aplicações para o carvão ativado na filtragem de gases, tratamento de água para abastecimento e tratamento de efluente, sendo os dois últimos caracterizados por Namane et al. (2005) como processos eficientes, econômicos e amplamente empregados.

De acordo com Schneider (2008), a natureza do processo de adsorção se baseia na força de atração entre um sólido e as moléculas de um fluído, resultando na fixação do adsorvato. No caso do tratamento de água é o poluente ou contaminante que se deseja remover do meio aquoso para a superfície do adsorvente, podendo ser, por exemplo, carvão ativado.

Nesse contexto, analisando-se as propriedades do carvão ativado, estudos como os desenvolvidos por Ogata et al. (2011), Ribeiro (2011), Getachew, Hussen, Rao (2015) e Marin et al. (2015) buscam aplicar o processo de adsorção para remoção do flúor em excesso na água.

O flúor é mais eletronegativo que todos os outros elementos químicos e chega na forma do íon fluoreto ( $F^-$ ) nas águas subterrâneas por meio do processo natural de intemperismo das rochas, caracterizado pelo conjunto de reações de hidrólise, dissociação e dissolução, causando em alguns casos problemas de saúde pública (RIBEIRO, 2011). Fraga (1992) traz em seu estudo o exemplo dos sistemas aquíferos Botucatu e Serra Geral da bacia do Paraná, os quais apresentam inquestionável problema de conotação econômica, uma vez que o excesso de flúor na água tem comprometido a exploração desse recurso.

O consumo de flúor, em altas concentrações, pode ocasionar a fluorose dentária, tal problema atinge principalmente crianças com até 8 anos de idade, cuja formação dos dentes homólogos esta em processo, causando uma pigmentação marrom com manchas brancas e hipomineralização superficial (AGOSTINI, 2011). Alguns problemas mais sérios são descritos por Ribeiro (2011), como a degeneração das fibras musculares, sede excessiva, dor de cabeça, erupções cutâneas na pele, depressão, problemas gastrointestinais e a fluorose esquelética que se assemelha à artrite com o depósito do fluoreto nas articulações, podendo ocasionar posteriormente a osteoporose.

Nesse sentido, o processo de desfluoretação das águas se faz necessário quando a concentração de flúor esta acima dos padrões legais de potabilidade estabelecidos pela Portaria N° 635/Bsb (BRASIL, 1975) do Ministério da Saúde, a qual determina a concentração máxima de 1,5 mg/L de flúor na água de consumo humano ou, no âmbito tratamento de efluentes, quando a quantidade flúor excede o valor de 10 mg/L, estabelecido pela Resolução N° 430 (BRASIL, 2011) do Conselho Nacional do Meio Ambiente.



7, 8 e 9  
Março 2018  
ÉVORA  
Évora Hotel

GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS:  
**NOVOS  
DESAFIOS**

Com base no exposto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a remoção de íons fluoreto de soluções aquosas por meio do processo de adsorção empregando-se carvão ativado produzido a partir da borra de café.

## **2. METODOLOGIA**

### **2.1. Caracterização da borra de café**

O resíduo de borra de café foi coletado no Laboratório de Análises de Água (LANA) da Escola de Engenharia Civil e Ambiental (EECA) da Universidade Federal de Goiás (UFG).

Visando-se determinar algumas propriedades da borra de café, foram realizados ensaios de umidade e cinzas. Ambas as análises foram realizadas em triplicata e são descritas por Boligon (2015) adaptadas das metodologias propostas pelo Instituto Adolfo Lutz (1985).

#### **2.1.1. Umidade**

Primeiramente, calcinou-se a cápsula de porcelana a uma temperatura de 550°C por 2 horas em forno mufla da marca Fornitec - modelo F2-DM, para eliminação da umidade e quaisquer outros resquícios de matéria orgânica. Após a calcinação, a capsula foi armazenada em dessecadora até atingir a temperatura ambiente ( $\pm 25^\circ\text{C}$ ). Posteriormente, pesou-se a capsula em balança analítica da marca OHAUS - modelo AR2140.

Coletou-se a borra imediatamente após o preparo da bebida de café, pesando-se 5 g da amostra na capsula de porcelana previamente tarada, de forma a evitar a perda de umidade para o meio.

A amostra foi submetida à temperatura de 105°C pelo período de 24 horas em uma estufa da marca Nova Ética, modelo 400 - 5ND. Ao final do tempo de secagem a amostra foi resfriada em dessecadora até a temperatura ambiente e, por fim, pesada.

O teor de umidade foi calculado a partir da seguinte equação:

$$\text{Umidade (\%)} = \frac{P_1}{P_0} * 100 \quad (1)$$

Onde,

$P_0$  = Peso da cápsula calcinada somado ao peso da borra úmida (g); e

$P_1$  = Peso da cápsula somado ao peso da bora seca (g).

#### **2.1.2. Cinzas**

Inicialmente, aqueceu-se a cápsula de porcelana à temperatura de 550°C por 2 horas em forno mufla da marca Fornitec - modelo F2-DM, resfriando-a em dessecadora até a temperatura ambiente ( $\pm 25^\circ\text{C}$ ) e, posteriormente, pesando-a em uma balança analítica.

O tratamento da borra de café se desenvolveu em duas etapas. A primeira consistiu na carbonização de 5 g da borra com auxílio do bico de Bunsen até o ponto em que a amostra não emitisse mais fumaça. Na segunda etapa, a amostra carbonizada foi incinerada durante 24 horas a 550°C em forno mufla. Em seguida, as cinzas são armazenadas na dessecadora e resfriadas até a temperatura ambiente ( $\pm 25^\circ\text{C}$ ) sendo, por fim, pesadas.

O teor de umidade foi calculado a partir da seguinte equação:

$$\text{Cinzas (\%)} = \frac{P_r}{P_o} * 100 \quad (2)$$

Onde,

$P_o$  = Peso da cápsula calcinada somado ao peso da borra úmida (g); e

$P_r$  = Peso da cápsula somado ao peso das cinzas (g).

## 2.2. Preparação da borra de café

A borra de café coletada foi previamente lavada com água destilada, como sugerido por Ayucitra et al. (2017), até que o efluente da lavagem fosse praticamente incolor. O objetivo da lavagem é a remoção de impurezas solúveis em água.

Posteriormente, ainda segundo os autores supracitados, a borra lavada é seca em estufa durante 3 horas a uma temperatura de 105°C. Esse procedimento de preparo da borra é semelhante ao descrito por Jutakridsada et al. (2016).

## 2.3. Impregnação da borra de café com agente ativante

A escolha do agente ativante para impregnação da borra possui respaldo na pesquisa desenvolvida por Yokoyama et al. (2008), a qual destaca a eficiência do carvão ativado com cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ) na remoção de íons fluoreto.

A solução de  $\text{CaCl}_2$  foi preparada a 0,1 mol/L, adicionando-se 14,702 g de cloreto de cálcio p.a. ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) em 1000 mL de água ultrapura.

Visando-se avaliar a influência da relação entre a quantidade de agente ativante e borra de café, optou-se pelo preparo de três proporções 1:1, 1:2 e 1:4 (agente:borra). Aplicou-se a metodologia empregada por Ogata et al. (2011) onde as misturas foram agitadas durante 24 horas à temperatura ambiente, sendo filtradas ao final da agitação com membranas de 47 mm de abertura (diâmetro de abertura adaptado) e, por fim, secas em estufa à temperatura de 105°C durante 5 horas.

## 2.4. Ativação da borra de café

O processo de ativação utilizado neste estudo é caracterizado como químico, pois as etapas de carbonização e ativação ocorrem simultaneamente e a borra de café passa por uma impregnação com agente ativante.



As amostras de borra de café foram divididas de acordo com a sua respectiva proporção de impregnação. Posteriormente, as amostras foram colocadas em um reator de aço inox austenítico (Figura 1a), o qual possui entrada e saída para gás, sendo o fluxo ascendente, permitindo o estabelecimento de uma atmosfera inerte. O reator foi instalado em um forno mufla da marca JUNG, modelo LF-1612, equipado com controlador e rampa de temperatura (Figura 1b).



(a)



(b)

**Figura 1.** Reator de aço inox desmontado (a) e sistema de ativação com fluxo de gás ligado ao reator posicionado no forno mufla (b).

Optou-se pelo método de ativação atentando-se aos resultados obtidos por Ogata et al. (2011), o qual destaca maior potencial de adsorção de íons de flúor nos carvões ativados à temperatura de 600°C durante 2 horas sob fluxo fixo de gás nitrogênio ( $N_2$ ). De forma complementar, verificando-se o procedimento aplicado por Castro (2009), adotou-se uma rampa de temperatura de 10°C por minuto até a temperatura desejada e quanto ao fluxo de gás  $N_2$  a vazão estipulada é de 100 mL/minuto, a mesma empregada por Laksaci et al. (2017).

## 2.5. Tratamento do carvão ativado

O processo de tratamento das amostras de carvão ativado, visando desobstruir os poros do mesmo, foi adequado baseando-se no método adotado por Ogata et al. (2011). Sendo assim, cada amostra foi adicionada à 100 mL de solução de ácido clorídrico (HCl) com concentração de 6 mol/L e, posteriormente, a mistura foi agitada durante 20 minutos, conforme sugerido por Boligon (2015).

Após a agitação, as amostras foram filtradas usando-se membranas de fibra de vidro com 47 mm de abertura e lavadas com água ultrapura. De acordo com Boligon (2015), a lavagem deve ser realizada até o efluente atingir o pH próximo a 4,0, porém, visando-se uma maior neutralização do carvão ativado, a lavagem se sucedeu até que o efluente atingisse o pH entre 5,0 e 5,5. Por fim, submeteram-se as amostras de carvão a secagem em estufa a 105°C por 5 horas.

## 2.6. Teste de adsorção dos íons de flúor

Considerando-se o procedimento instituído pelo *Standard Methods* (APHA; AWWA; WEF, 1998), preparou-se uma solução estoque padrão de Fluoreto de Sódio (NaF) com concentração de 1000 mg F<sup>-</sup>/L diluindo-se 2,21 g de NaF em 1000 mL de água ultrapura, posteriormente, armazenando a solução em frasco de polietileno. A partir da diluição da solução estoque, preparou-se uma solução de fluoreto de sódio com concentração de 50,8 mg F<sup>-</sup>/L.

As amostras foram preparadas para o ensaio de adsorção adicionando-se 25 mg de carvão ativado em 25 mL de solução de fluoreto de sódio com concentração de 50,8 mg F<sup>-</sup>/L, estabelecendo, dessa forma, uma relação mássica de 1:20 entre a quantidade de carvão e a quantidade de fluoreto na solução. As amostras foram colocadas em uma incubadora refrigerada com agitação da marca TECNAL, modelo TE-421, e agitadas de forma mecânica a 100 rpm sob a temperatura de 25°C por até 25 horas, semelhante ao realizado por Ogata et al. (2011).

Visando-se conhecer o comportamento do processo de adsorção dos íons de flúor, definiram-se os tempos 0, 1 e 25 horas para a leitura das amostras. O tempo 0 caracteriza a solução de partida, o tempo de 1 hora explicita o comportamento inicial do processo de adsorção e o tempo de 25 horas demonstra um resultado mais estável do processo.

Ao final dos tempos estabelecidos, as amostras foram filtradas com membranas de 0,47 mm de abertura para a retirada do carvão ativado suspenso na superfície da solução. Posteriormente, com auxílio da sonda IntelliCAL Fluoride da marca HACH, modelo ISEF121, acoplada a um medidor multiparâmetros da marca HACH, modelo HQ30d, realizou-se a leitura das concentrações de fluoreto na solução.

A quantidade de fluoreto adsorvida pelo carvão ativado foi calculada a partir da seguinte equação:

$$\text{Adsorção} \left( \frac{\text{mg F}^-}{\text{g}} \right) = \frac{(C_0 - C_f) * V}{CA} \quad (3)$$

Onde,

C<sub>0</sub> = Concentração inicial de fluoreto na solução (mg/L);

C<sub>f</sub> = Concentração final de fluoreto na solução (mg/L);

V = Volume da solução (L); e

CA = Peso do carvão ativado (g).



7, 8 e 9  
Março 2018  
ÉVORA  
Évora Hotel

GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS:  
NOVOS  
DESAFIOS

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As análises de caracterização da borra de café permitiram identificar as proporções dos principais componentes da mesma. O ensaio de umidade indicou a presença de 67,6% de água na borra e o ensaio de cinzas apontou um percentual de 4,2% em relação ao peso da amostra, indicando 28,2% de matéria orgânica na composição da borra de café. Essa umidade pode impactar financeiramente na utilização da borra, visto que esta diretamente relacionada ao processo de secagem, conforme relatado por Boligon (2015) que encontrou 57% de umidade em seu estudo.

Quanto ao percentual de cinzas, Pujol et al. (2013) encontraram um valor inferior a 1,0% e Lago, Antoniassi e Freitas (2001) entre 0,43 e 0,91%. Portanto, nota-se que o valor encontrado nesta pesquisa está acima dos demais, podendo resultar em rendimentos mais baixos durante o processo de ativação de acordo com Boligon (2015).

De acordo com Pujol et al. (2013), os principais constituintes minerais das cinzas da borra de café são cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), sódio (Na) e ferro (Fe). Laviola et al. (2007) atribuem a variação da concentração desses elementos minerais ao procedimento de adubação do cafeeiro. Boligon (2015) complementa destacando a espécie e variedade do cafeeiro e as condições de plantio e colheita como fatores de influência na composição química final do produto.

O processo de preparação da borra de café com objetivo de se obter um efluente de lavagem praticamente incolor, demandou um volume médio de 106,3 mL de água por grama de borra úmida.

A ativação da amostra de borra de café, utilizando-se o reator de aço inox, apresentou um rendimento médio de 24,6%, indicando a efetuação do processo de carbonização. Rendimentos similares foram encontrados por Ogata et al. (2011) e Wang et al. (2016), 31,8% e 22%, respectivamente.

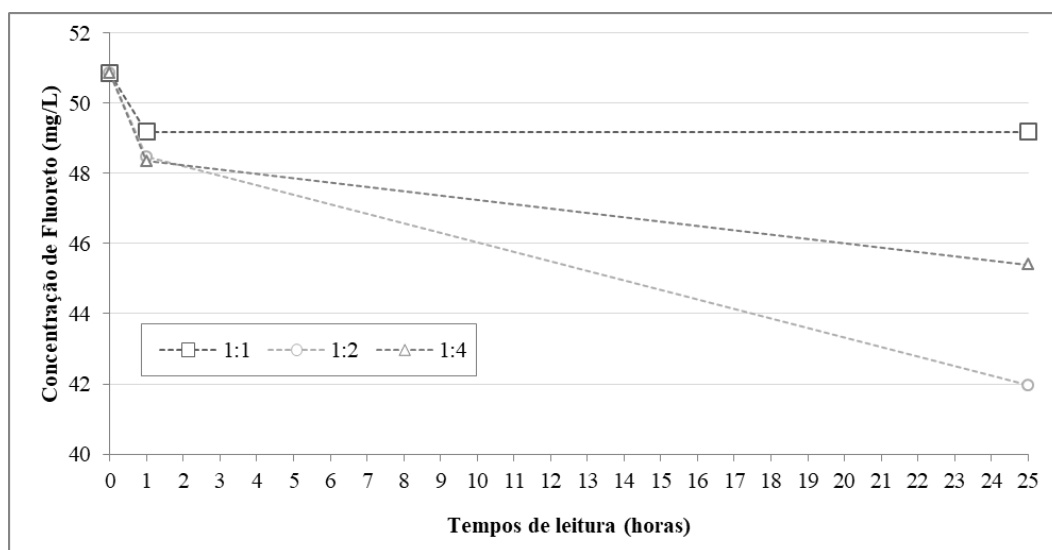
O processo de tratamento do carvão ativado com ácido clorídrico (HCl), segundo Ogata et al. (2011), é responsável pela formação da elevada área específica e do menor diâmetro médio dos poros do carvão. Porém, o volume médio de água de lavagem necessário para estabilização do pH da amostra entre 5,0 e 5,5 foi de 4,63 L/g. Esse resultado é atribuído à concentração da solução de ácido clorídrico (6 mol/L) utilizada, a qual pode ser considerada elevada quando comparada às concentrações aplicadas por Ayucitra et al. (2017) e Boligon (2015). Ponderando-se o contexto brasileiro e mundial no que se refere a recursos hídricos, a otimização dessa etapa do processo apresenta um viés econômico e ecológico.

De acordo com os resultados obtidos no ensaio de adsorção (Figura 2), pode-se observar que durante a primeira hora de teste a adsorção de fluoreto para os três tipos de carvão ativado (1:1, 1:2 e 1:4) foi menor que 2,0 mg/L. Ao final das 25 horas de ensaio, nota-se que a o carvão ativado na proporção 1:1 possivelmente atingiu o estado de saturação durante a primeira hora do experimento, já o carvão 1:2 apresentou melhor eficiência no processo de desfluoretação. De forma geral, o processo de adsorção ocorre principalmente durante as primeiras horas de contato do carvão ativado com a solução. Os quadros deverão ser



inseridos tão próximo quanto possível (e nunca antes) da sua primeira citação no corpo do texto, sem que resulte em espaços em branco a meio do artigo.

O processo de adsorção do fluoreto, de acordo com Ogata et al. (2011), ocorre por quimissorção, portanto, está relacionada à troca, na proporção 1:1, de íons de flúor por íons cloreto na superfície da estrutura do carvão. Os íons cloreto são originados por meio do tratamento do carvão com ácido clorídrico (HCl).



**Figura 2.** Gráfico de desfluoretação por meio do processo de adsorção ao longo do tempo por carvões com diferentes proporções de impregnação (1:1, 1:2 e 1:4).

Analisando-se a Tabela 1, nota-se o potencial do carvão ativado a partir da borra de café com proporção 1:2 de impregnação ao remover 8,9 mg F<sup>-</sup>/g. Tal fato torna-se evidente ao comprar-se o carvão ativado desta pesquisa com o carvão de origem animal e outros tipos. Cabe destacar que os valores expressos na tabela são relacionados à capacidade máxima de adsorção do carvão, com exceção do carvão utilizado nesta pesquisa, o qual ainda não se conhece essa propriedade.

**Tabela 1.** Capacidade máxima de adsorção de acordo com cada tipo de carvão ativado.

Origem do Carvão	Capacidade máxima de Adsorção (mg F <sup>-</sup> /g)	Referência
Borra de café	8,9*	Presente estudo
Borra de café	74,0	(OGATA et al., 2011)
Osso bovino	3,44** 2,96***	(RIBEIRO, 2011)
Osso bovino	2,03	(MARIN et al., 2015)
Fungo ( <i>Pleurotus ostreatus</i> 1804)	1,272	(RAMANAIAH; VENKATA MOHAN; SARMA, 2007)
Hidroxiapatita	0,489	(GAO et al., 2009)



7, 8 e 9  
Março 2018  
ÉVORA  
Évora Hotel

GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS:  
**NOVOS  
DESAFIOS**

sintética		
-----------	--	--

\*Valor não referente a capacidade máxima.

\*\*Valor referente ao carvão comercial lavado antes do teste de adsorção.

\*\*\*Valor referente ao carvão comercial "in natura"

Entretanto, mesmo o resultado sendo favorável quando comparado a outros tipos de carvão, Ogata et al. (2011), aplicando uma metodologia semelhante à utilizada neste estudo, obtiveram um carvão originado também da borra de café com capacidade de adsorção de fluoreto quase 10 vezes mais elevada do que a alcançada nesta pesquisa, conforme pode ser observado na Tabela 1. Porém, após 24 horas do início do teste adsorção, o autor descreve que o carvão ativado havia adsorvido apenas 30 mg F<sup>-</sup>/g. Desta forma, a realização de ensaios de adsorção mais prolongados pode apresentar resultados de maior capacidade de adsorção do carvão utilizado neste estudo.

#### 4. CONCLUSÃO

Analisando-se os resultados obtidos por esta pesquisa, percebe-se a necessidade de se aperfeiçoar algumas etapas, por exemplo: o tratamento do carvão ativado, após o processo de ativação, demandou um elevado volume de água para neutralização do carvão, o que pode comprometer a viabilidade econômica do processo.

De forma geral, constatou-se que o carvão ativado com cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub>) a partir da borra de café possui a capacidade de remover flúor da água por meio do processo de adsorção, principalmente quando comparado a carvões ativados de outras origens, como é o caso do carvão de osso bovino, fungos e hidroxiapatita sintética.

#### 5. RECOMENDAÇÕES

Como recomendação para aperfeiçoar o processo de adsorção do carvão ativado a partir da borra de café, sugere-se o desenvolvimento de estudos que diversifiquem parâmetros como pH, temperatura, proporção de impregnação, concentração da solução de tratamento do carvão, dentre outros. Além disso, sugere-se também a realização de análises de caracterização do carvão ativado, como potencial zeta para determinação do ponto de carga zero do material para definição do pH ideal de adsorção, análise de área superficial, de microporosidade, bem como quantificação e identificação dos grupos funcionais presentes na superfície do carvão.

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINI, M. (2011). Fluorose dentária: uma revisão da literatura. Campos Gerais - MG: Universidade Federal de Minas Gerais.

APHA; AWWA; WEF. (1998). American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20ª Edição. Washington, DC.



7, 8 e 9  
Março 2018  
ÉVORA  
Évora Hotel

GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS:  
NOVOS  
DESAFIOS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ (2017). Disponível em: <<http://www.abic.com.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=301>>. Acesso em: 12 jun. 2017.

AYUCITRA, A. et al. (2017). Preparation and Characterisation of Biosorbent from Local Robusta Spent Coffee Grounds for Heavy Metal Adsorption. v. 56, n. 2010, p. 1441–1446.

BANDOSZ, T. J. (2006). Activated Carbon Surfaces in Environmental Remediation. [s.l.: s.n.]. v. 7.

BOLIGON, J. (2015). Produção e caracterização de carvão ativado a partir da borra de café solúvel.

BOUDRAHEM, F.; SOUALAH, A.; AISSANI-BENISSAD, F. (2011). Pb(II) and Cd(II) removal from aqueous solutions using activated carbon developed from coffee residue activated with phosphoric acid and zinc chloride. Journal of Chemical and Engineering Data, v. 56, n. 5, p. 1946–1955.

BRASIL. (1987). ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10.004 de setembro de 1987. Dispõe sobre a classificação dos resíduos sólidos.

BRASIL. (1975). MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria Nº 635/Bsb de 26 de dezembro de 1975. Aprova normas e padrões sobre fluoretação da água dos sistemas públicos de abastecimento, destinada ao consumo humano.

BRASIL. (2011). MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamentos de efluentes; complementa e altera a Resolução CONAMA no 357, de 17 de março de 2005.

BRUM, S. S. et al. (2008). Preparação e caracterização de carvão ativado produzido a partir de resíduos do beneficiamento do café. Química Nova, v. 31, n. 5, p. 1048–1052.

CASTRO, C. S. DE. (2009). Preparação de carvão ativado a partir de borra de café: uso como adsorvente e como suporte catalítico para a remoção de poluentes orgânicos em meio aquoso. [s.l.] Universidade Federal de Lavras.

FRAGA, C. G. (1992) Origem de fluoreto em águas subterrâneas dos sistemas aquíferos Botucatu e Serra Geral da Bacia do Paraná. Tese de doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia. Universidade de São Paulo. São Paulo.

GAO, S. et al. (2009). Size-dependent defluoridation properties of synthetic hydroxyapatite. Journal of Fluorine Chemistry, v. 130, n. 6, p. 550–556.

GERGOVA, K. et al. (1993). Evolution of the active surface of carbons produced from various raw materials by steam pyrolysis/activation. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, v. 58, n. 4, p. 321–330.

GETACHEW, T.; HUSSEN, A.; RAO, V. M. (2015). Defluoridation of water by activated carbon prepared from banana (*Musa paradisiaca*) peel and coffee (*Coffea arabica*) husk. International Journal of Environmental Science and Technology, v. 12, n. 6, p. 1857–1866.



7, 8 e 9  
Março 2018  
ÉVORA  
Évora Hotel

GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS:  
NOVOS  
DESAFIOS

GONÇALVES, M. et al. (2013). Activated carbon prepared from coffee pulp: Potential adsorbent of organic contaminants in aqueous solution. *Water Science and Technology*, v. 68, n. 5, p. 1085–1090.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. (1985). Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 3. ed. São Paulo: IMESP.

JUTAKRIDSADA, P. et al. (2016). Adsorption characteristics of activated carbon prepared from spent ground coffee. *Clean Technologies and Environmental Policy*, v. 18, n. 3, p. 639–645.

KALDERIS, D. et al. (2008). Production of activated carbon from bagasse and rice husk by a single-stage chemical activation method at low retention times. *Bioresource Technology*, v. 99, n. 15, p. 6809–6816.

LAGO, R. C. A.; ANTONIASSI, R.; FREITAS, S. C. (2001). Centesimal composition and amino acids of raw, roasted and spent ground of soluble coffee. II Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Vitória. Anais.

LAKSACI, H. et al. (2017). Synthesis and characterization of microporous activated carbon from coffee grounds using potassium hydroxides. *Journal of Cleaner Production*, v. 147, p. 254–262.

LAVIOLA, B. G. et al. (2007) Dinâmica de cálcio e magnésio em folhas e frutos de coffeea arabica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 2, p. 319–329.

MARIN, P. et al. (2015). Avaliação da capacidade de adsorção de flúor em carvão ativado de origem animal. XXXVII ENEAMP - Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados. Anais...São Carlos – SP.

NAMANE, A. et al. (2005). Determination of the adsorption capacity of activated carbon made from coffee grounds by chemical activation with  $\text{ZnCl}_2$  and  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . *Journal of Hazardous Materials*, v. 119, n. 1–3, p. 189–194.

OGATA, F. et al. (2011). Removal of Fluoride Ions from Water by Adsorption onto Carbonaceous Materials Produced from Coffee Grounds. *Journal of Oleo Science*, v. 60, n. 12, p. 619–625.

PUJOL, D. et al. (2013). The chemical composition of exhausted coffee waste. *Industrial Crops and Products*, v. 50, p. 423–429.

RAMANAIAH, S. V.; VENKATA MOHAN, S.; SARMA, P. N. (2007). Adsorptive removal of fluoride from aqueous phase using waste fungus (*Pleurotus ostreatus* 1804) biosorbent: Kinetics evaluation. *Ecological Engineering*, v. 31, n. 1, p. 47–56.

RIBEIRO, M. V. (2011). Uso de carvão de osso bovino na defluoretação de água para uso em abastecimento público. [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

RODRÍGUEZ-REINOSO, F. (1998). The role of carbon materials in heterogeneous catalysis. *Carbon*, v. 36, n. 3, p. 159–175.

SCHNEIDER, E. L. (2008). Adsorção de compostos fenólicos sobre carvão ativado. [s.l.] Universidade Estadual do Oeste do Paraná.



7, 8 e 9  
Março 2018  
ÉVORA  
Évora Hotel

GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS:  
**NOVOS  
DESAFIOS**

WANG, C. H. et al. (2016). High-capacitance KOH-activated nitrogen-containing porous carbon material from waste coffee grounds in supercapacitor. *Advanced Powder Technology*, v. 27, n. 4, p. 1387–1395.

YOKOYAMA, R. et al. (2008).  $\text{NO}_3^-$ -N Adsorption Property of Ca-Containing Charcoal. *Journal of Japan Society on Water Environment*, v. 31, n. 1, p. 47–52.