



Acta Scientiarum. Technology

ISSN: 1806-2563

eduem@uem.br

Universidade Estadual de Maringá

Brasil

Kunigk, Leo; Reis dos Santos, Maria Célia; Jurkiewicz, Cynthia
Remoção de íons de cobre de aguardente utilizando carvão ativo e resinas de troca iônica
Acta Scientiarum. Technology, vol. 33, núm. 1, 2011, pp. 101-106
Universidade Estadual de Maringá
Maringá, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303226530007>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Remoção de íons de cobre de aguardente utilizando carvão ativo e resinas de troca iônica

Leo Kunigk^{1*}, Maria Célia Reis dos Santos² e Cynthia Jurkiewicz¹

¹Centro Universitário, Instituto Mauá de Tecnologia, Praça Mauá, 1, 09580-900, São Caetano do Sul, São Paulo, Brasil.

²Faculdade de Tecnologia Termomecânica, São Bernardo do Campo, São Paulo, Brasil. *Autor para correspondência.
E-mail: kunigk@maua.br

RESUMO. A aguardente é a bebida fermento-destilada mais importante no Brasil. Caso a concentração de cobre (Cu^{2+}), presente na aguardente, fosse inferior a $2,0 \text{ mg L}^{-1}$, ela poderia ser exportada para diversos países europeus apesar da Legislação Brasileira permitir um teor de cobre em aguardente igual ou inferior a $5,0 \text{ mg L}^{-1}$. Este trabalho mostrou que a aguardente contaminada com esses íons em concentrações de 4,0; 7,0 e $9,0 \text{ mg L}^{-1}$ pode ser recuperada utilizando tanto carvão ativo como resinas de troca iônica, podendo reutilizar estes materiais adsorventes. Quando a concentração de Cu^{2+} é igual a $9,0 \text{ mg L}^{-1}$, o carvão ativado pode ser reutilizado até três vezes e as resinas de troca iônica podem ser reutilizadas até sete vezes.

Palavras-chave: aguardente de cana de açúcar, íons metálicos, carvão ativo, resinas de troca iônica.

ABSTRACT. Copper ions remotion from sugarcane spirit by activated carbon and ion exchange resins. Sugarcane spirit (aguardente) is the most important fermented/distilled beverage in Brazil. If the concentration of copper (Cu^{2+}) in sugarcane spirits was less than 2.0 mg L^{-1} , it could be exported to several European countries. This study showed that the sugarcane spirits contaminated with these ions with a concentration of 4.0, 7.0 and 9.0 mg L^{-1} can be recovered using both active carbon and ion-exchange resins, reusing these absorbent materials. When the concentration of Cu^{2+} is equal to 9.0 mg L^{-1} , active carbon can be reused up to 3 times and ion-exchange resins up to 7 times.

Keywords: sugarcane spirit, metallic ions, activated carbon, ion-exchange resins.

Introdução

O volume de aguardente produzida, anualmente, no Brasil encontra-se entre 1,3 a 2,0 bilhões de litros, dos quais 90% é aguardente industrial e 10% artesanal. Para atingir tal produção, estima-se que o capital investido seja de 2,0 bilhões de dólares distribuído entre as 5 mil marcas registradas e cerca de 30 mil produtores em todo o país. Esse volume de aguardente garante a segunda posição entre as bebidas mais consumidas pelos brasileiros. É a primeira colocada entre as bebidas destiladas, pois o consumo gira em torno de 70 milhões de doses diárias representando, em média, o consumo anual de $6 \text{ L habitante}^{-1}$ e a terceira bebida destilada mais consumida no mundo, perdendo apenas para a vodca e o soju (bebida asiática à base de sorgo).

Apesar desse elevado volume produzido, apenas 10,2 milhões de litros, ou seja, 0,51% do volume total foram exportados em 2004 para mais de 60 países (AZEVEDO et al., 2003; GARBIM et al., 2005; LABANCA et al., 2006; LIMA et al., 2006; MIRANDA et al., 2007; NEVES et al., 2007;

VILELA et al., 2007; LIMA et al., 2009). Segundo Brasil (1997), Bizelli et al. (2000), Cardoso et al. (2003), Miranda et al. (2007) e Lima et al. (2009), um dos fatores que contribui para esse baixo volume exportado recai na concentração de cobre (Cu^{2+}), presente na aguardente, pois, apesar da legislação brasileira permitir uma concentração desse metal de até $5,0 \text{ mg L}^{-1}$, a legislação de diversos países não tolera concentrações superiores a $2,0 \text{ mg L}^{-1}$ em bebidas fermento-destiladas.

Segundo Faria e Campos (1989), Boza e Horii (2000), Vilela et al. (2007), entre outros, a presença de cobre nas bebidas destiladas ocorre pelo fato de que a maioria dos alambiques são confeccionados com este material, pois é um metal resistente à corrosão, que apresenta boas propriedades de transferência de calor além de catalisar reações favoráveis às características organolépticas da bebida. Caso esses equipamentos não sejam adequadamente higienizados, ocorre a formação do azinhavre, que é um carbonato básico de cobre $[\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2]$, sobre as paredes internas dos alambiques. O azinhavre é gerado pelos vapores alcoólicos de

elevada acidez e que, ao condensarem, arrastam o cobre contaminando para o produto destilado (LUCENA, 1959 apud FARIA; CAMPOS, 1989; BOZA; HORII, 2000; CAVALHEIRO et al., 2003; LIMA et al., 2006).

Mesmo existindo limitações legais com relação ao teor de cobre nas aguardentes, estudos realizados por diversos autores demonstram que os teores de Cu^{2+} encontram-se acima desses limites. A Tabela 1 apresenta alguns exemplos. Apesar da grande variação de resultados obtidos pelos autores, o problema da presença Cu^{2+} , em aguardentes brasileiras, é um fator preocupante tanto para as autoridades sanitárias como para os consumidores, pois, segundo Azevedo et al. (2003), o excesso de cobre solúvel no organismo humano (hipercupremia) pode ser tóxico pela afinidade deste íon com grupos S-H de muitas proteínas e enzimas, causando doenças como epilepsia, melanomas, artrite reumatoide e doenças psiquiátricas. Para contornar esse problema, alguns produtores brasileiros tentaram, na década de 1970, substituir seus alambiques de cobre por outros construídos com aço inoxidável (FARIA; CAMPOS, 1989). Mais recentemente, Cardoso et al. (2003) afirmam que ao longo da década 1990, além do aço inoxidável, procurou-se substituir os destiladores feitos com cobre por outros construídos com alumínio e porcelana. Entretanto, segundo estes autores, Azevedo et al. (2003), Labanca et al. (2006) e Neves et al. (2007), a qualidade organoléptica do produto obtido nesses alambiques era muito inferior àquelas destiladas em equipamentos de cobre, inviabilizando essa tentativa de remoção dos íons desse metal.

Tabela 1. Teor de Cu^{2+} presente em aguardentes avaliadas por diversos pesquisadores.

| Teor médio de Cu^{2+} (mg L^{-1}) | % de aguardente com teor Cu^{2+} acima de $5,0 \text{ mg L}^{-1}$ | Valor máximo encontrado (mg L^{-1}) | Autores do trabalho |
|---|--|--|-----------------------|
| 3,13 | 10% | 8,5 | Lima e Nóbrega (2004) |
| 2,95 até 10,22 | 60% | 22,30 | Garbin et al. (2005) |
| 2,30 | 7% | 8,1 | Labanca et al. (2006) |
| 5,11 | 73,7% | 9,01 | Vilela et al. (2007) |
| 2,75 | 15% | 12,25 | Miranda et al. (2007) |
| 7,02 | 33,3% | 12,60 | Neves et al. (2007) |

A remoção de metais pesados presentes em elevadas concentrações pode ser realizada por precipitação química, por dupla destilação ou por métodos eletroquímicos; mas, em baixas concentrações, a remoção de tais contaminantes é mais eficiente por processos de adsorção ou por troca iônica utilizando carvão ativado ou resinas de troca iônica (TEKER; IMAMOĞLU, 1999; COSTA et al., 1999; BIZELLI et al., 2000; LIMA, 2005;

LIMA et al., 2006; NEVES et al., 2007; VELI; ALYÜZ, 2007). Apesar de existir diversos tipos de materiais adsorventes, o carvão ativado é ainda o material adsorvente mais utilizado. Entretanto, muitas vezes, a utilização de carvão ativado não é economicamente viável para a remoção de metais pesados de soluções aquosas tanto pelo seu elevado valor comercial como pelas perdas durante a regeneração, que podem atingir valores da ordem de 10 a 15% (VELI; ALYÜZ, 2007; ALUYOR; BADMUS, 2008). Por sua vez, Lima et al. (2006, 2009) indicaram que o uso de resinas de troca iônica é a melhor opção para retirar o excesso de cobre.

Os objetivos desse trabalho são comparar a eficiência de duas resinas de troca iônica, a saber: Amberlite 120 Na e Amberlite 252 Na, e de carvão ativado na remoção de íons de cobre de aguardente como também, avaliar a possibilidade de reutilização desses materiais adsorventes.

Material e métodos

Utilizou-se aguardente comercial, todas de um mesmo lote de produção e de um único grande fabricante, cujo pH era igual a 4,3 para determinar o teor de cobre presente e para posterior contaminação com sulfato de cobre penta-hidratado (Synth) de tal forma que as concentrações de cobre, após a adição deste composto químico, atingisse valores iguais a 4,0; 7,0 e $9,0 \text{ mg L}^{-1}$ e a temperatura utilizada foi sempre de $25,0^\circ\text{C}$. Ressalta-se que o pH da aguardente utilizada não foi corrigido pois Teker e Imamoğlu (1999) apresentam em seu trabalho que a partir de um pH igual ou superior a 4,0 conseguia-se a maior remoção de cátions de cobre por adsorção utilizando carvão ativado.

A quantificação de íons cobre presente nas amostras foi realizada por meio de medidas espectrofotométricas, em Espectrofotômetro de Plasma – Varian – Vista MPX, utilizando um comprimento de onda de 223 nm em chama de argônio.

Após a contaminação da aguardente, oito alíquotas de 300 mL, uma de cada vez, foram vertidas no topo de uma coluna feita com tubo PVC, com 30 cm de altura e 2,5 cm de diâmetro, preenchida com 100 g com um dos seguintes materiais: resina de troca iônica com estrutura gel Amberlite 120 Na ou com estrutura macroreticular Amberlite 252 Na, ambas da Rohm and Hass. Estas duas resinas de troca iônica apresentam característica catiônica fortemente ácida (grupo funcional SO_3^-), com matriz Estireno Divinil Benzeno. A aguardente tratada foi coletada na base da coluna e, a partir daí, era processada a análise do teor de cobre utilizando a

metodologia descrita por Lima (2005). Esse procedimento foi repetido quatro vezes para cada uma das condições estudadas. O tempo de residência sempre foi de 30 segundos.

Para realizar os ensaios, utilizando tais resinas de troca iônica, adotou-se o seguinte procedimento (LIMA, 2005):

a) Primeiro lavou as resinas com água deionizada, para eliminar o excesso de sódio, como indicado pelo fabricante.

b) Uma alíquota de 300 mL da amostra foi introduzida na coluna e recolhida na base desta em um frasco de Erlenmeyer.

c) O item b foi repetido oito vezes utilizando-se alíquotas de aguardente com a mesma concentração inicial de cobre.

d) A seguir, a aguardente recolhida, na base da coluna, foi aquecida até que seu volume fosse reduzido pela metade para que ocorresse a evaporação do álcool.

e) Transferiram-se 12,5 mL do líquido obtido no item d para um balão volumétrico de 25 mL: completou-se o volume com água deionizada e, então foi lida a concentração de íons cobre no espectrofotômetro de plasma. Após a leitura da absorbância, calculou-se a concentração de Cu^{2+} utilizando a equação:

$$[\text{Cu}] = -2,04 \cdot 10^{-2} + 6,00 \cdot 10^{-3} \cdot A \quad (1)$$

$$r^2 = 0,9993$$

A equação (1) foi obtida a partir de uma curva-padrão de cobre (sulfato de cobre penta-hidratado) em matriz etanólica 40% (v/v) para a calibração do equipamento, para avaliar concentrações de cobre entre 0,0 e 10,0 mg L^{-1} , em que $[\text{Cu}]$ representa a concentração de íons de cobre em mg L^{-1} e A o valor da absorbância.

A título de comparação, utilizou-se também carvão ativo vegetal em pó P.A. da LabSynth. Para tanto, colocaram-se 10,0 g desse carvão em um funil analítico, para uma filtração simples e, verteram-se 25,0 mL de uma das aguardentes contaminada. A aguardente coletada foi, então, aquecida para evaporar metade de seu volume. A seguir, transferiu-se esse volume para um balão volumétrico de 25 mL e completou-o com água deionizada para, em seguida, realizar a determinação da concentração de íons de cobre.

Resultados e discussão

A Figura 1 apresenta as relações entre a presença de Cu^{2+} na aguardente após tratamento com carvão

ativado e o número de vezes que ele foi utilizado para as concentrações iniciais de 4,0; 7,0 e 9,0 mg L^{-1} . As relações podem ser representadas por equações de primeira ordem. Os coeficientes angulares, lineares e de correlação encontram-se na Tabela 2.

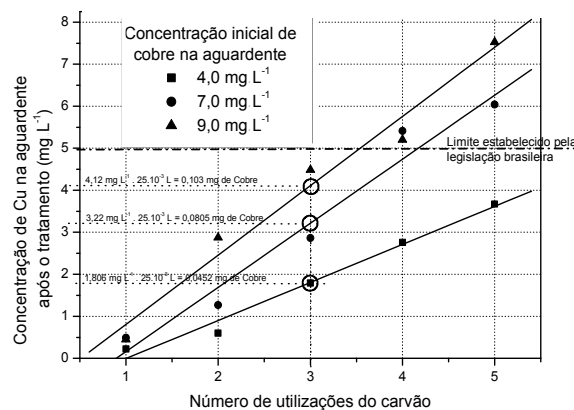


Figura 1. Concentração de Cu^{2+} na aguardente após o tratamento com carvão ativo em função do número de utilizações.

Observou-se, a partir do gráfico apresentado na Figura 1, que à medida que as concentrações iniciais de Cu^{2+} se elevavam, maior era a concentração destes íons na aguardente após o tratamento, o que indica a saturação mais rápida do carvão. Observou-se também que o mesmo carvão podia ser utilizado apenas três vezes para remover Cu^{2+} , quando a concentração inicial era 9,0 mg L^{-1} , e quatro vezes quando a concentração inicial era 7,0 mg L^{-1} . A partir de então, a concentração de Cu^{2+} na aguardente atingia valor superior a 5,0 mg L^{-1} tornando-a imprópria para o consumo no Brasil. Constatou-se também que para um mesmo número de utilização do carvão, a porcentagem de remoção independe da concentração inicial de íons de cobre. Por exemplo, para três reutilizações, a porcentagem de remoção independe da concentração inicial de íons de cobre como ilustra a Tabela 3. A porcentagem de remoção foi sempre de $54,3\% \pm 0,42$. Da mesma forma, para uma, duas, quatro e cinco reutilizações, a porcentagem de remoção foi sempre próxima de $96,3\% \pm 0,53$; $75,4\% \pm 0,44$; $33,5\% \pm 0,65$ e $12,6\% \pm 0,58$, respectivamente. A remoção de íons de cobre obtido quando se utilizava apenas uma vez o carvão ativado foi semelhante ao obtido por Teker e Imamoglu (1999) apesar destes autores necessitarem de 60 min. para se conseguir esta remoção enquanto que, neste trabalho, necessitou apenas 30 segundos. Essa diferença nos tempos necessários para conseguir-se a mesma remoção de íons de cobre da aguardente pode ser justificada pela proporção entre a massa de carvão ativado e o volume de solução contaminada com íons de cobre utilizada nos diferentes trabalhos. Teker e

Imamoglu (1999) utilizaram uma proporção de 0,3 g de carvão ativado por 25 mL de solução, ou seja, 0,012 g mL⁻¹ e neste trabalho empregou-se uma proporção de 10,0 g de carvão ativado para 25 mL de solução, ou seja, 0,4 g mL⁻¹.

Tabela 2. Coeficientes angulares e lineares das equações que representam a concentração de cobre na aguardente, após o tratamento com carvão ativo em função do número de utilizações do carvão.

| Concentração inicial de cobre (mg L ⁻¹) | Coeficiente linear | Coeficiente angular | (r ²) | Número da equação |
|---|-------------------------|------------------------|-------------------|-------------------|
| 4,0 | -9,112.10 ⁻¹ | 9,059.10 ⁻¹ | 0,991 | (1) |
| 7,0 | -1,363 | 1,525 | 0,981 | (2) |
| 9,0 | -8,400.10 ⁻¹ | 1,649 | 0,986 | (3) |

Por sua vez, Lima et al. (2006) e Lima et al. (2009) conseguiram em seus trabalhos uma remoção dos íons de cobre de apenas 40,6%, quando o carvão ativado foi utilizado apenas uma única vez e com um tempo de contato de 30 min. Essa remoção também foi menor do que aquela observada neste trabalho e também pode ser explicada pelo fato da proporção entre carvão ativado e aguardente utilizada por aqueles autores foi de 0,012 g mL⁻¹ e, neste trabalho, utilizou-se uma proporção de 0,4 g mL⁻¹ conseguindo-se uma remoção de 96,3% quando o carvão ativado foi utilizado apenas uma vez.

A remoção de cobre de aguardente utilizando resinas de troca iônica Amberlite 120Na e Amberlite 252Na é verificada na Figura 2. Observa-se que, para as duas resinas utilizadas, o modelo matemático que descreve a relação entre a concentração Cu²⁺ na aguardente, representado por [Cu], após o tratamento com elas, em função do número de vezes de uso (N), pode ser representado pela equação:

$$[Cu] = \alpha \cdot N^{\beta} \quad (2)$$

em que α e β são os parâmetros da equação e estes são apresentados na Tabela 4.

Tabela 3. Cálculo dos íons Cu²⁺ removido de 25,0 mL de aguardente após três utilizações de 10 g de carvão ativo.

| Concentração inicial de Cu ²⁺ na aguardente (mg L ⁻¹) | Massa Cu ²⁺ (mg) | Massa de Cu ²⁺ após o tratamento (mg) | Massa de Cu ²⁺ removida após o tratamento (mg) | Massa de Cu ²⁺ removida por unidade de massa de carvão (mg g ⁻¹) | % de remoção |
|--|-----------------------------|--|---|---|--------------------|
| 4,0 | 0,100 | 0,0452 | 0,0548 | 5,48.10 ⁻³ | 54,8% ^a |
| 7,0 | 0,125 | 0,0803 | 0,0947 | 9,45.10 ⁻³ | 54,0% ^a |
| 9,0 | 0,225 | 0,1030 | 0,1220 | 1,22.10 ⁻² | 54,2% ^a |

a: não existe diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre estes valores.

A partir da Figura 2, verifica-se que a concentração final de Cu²⁺ é função apenas da concentração inicial de cobre na aguardente não

sendo função do tipo de resina utilizada. Por exemplo, quando a concentração inicial de cobre é igual a 4,0 mg L⁻¹, a concentração de Cu²⁺ na aguardente após o tratamento com resina Amberlite 252Na, é praticamente o mesmo daquela observada na resina Amberlite 120Na, pois após sete utilizações removeram-se 50% do cobre, utilizando-se ambos os tipos de resina de troca iônica. Entretanto, aumentando a concentração inicial de Cu²⁺, a concentração final é maior, mas para as mesmas sete reutilizações observa-se que, quando a concentração de íons de cobre é igual a 7,0 mg L⁻¹, a concentração final de Cu²⁺ encontra-se ao redor de 4,0 mg L⁻¹ para ambas as resinas de troca iônica e tem-se a concentração inicial de Cu²⁺ de 9,0 mg L⁻¹; a concentração final desses íons é da ordem de 5,0 mg L⁻¹ independentemente da resina de troca utilizada.

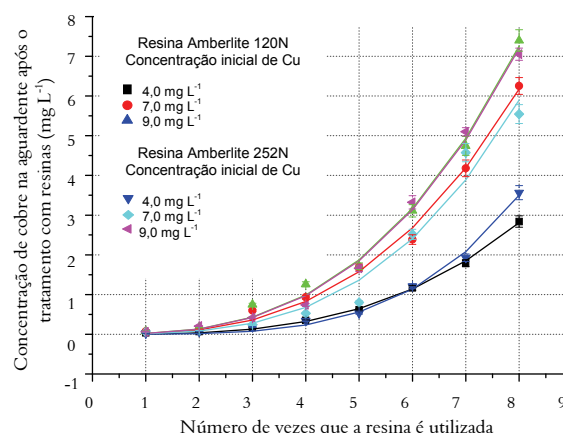


Figura 2. Concentração de Cu²⁺ presente em aguardente após o tratamento com resinas de troca iônica em função do número de vezes que as resinas são utilizadas.

Tabela 4. Parâmetros da equação (2).

| Concentração inicial de cobre na aguardente (mg L ⁻¹) | α | β | r ² | número da equação |
|---|-----------------------|-------------------|----------------|-------------------|
| Amberlite 120Na | | | | |
| 4,0 | 4,16.10 ⁻³ | 3,13 ^a | 0,999 | (4) |
| 7,0 | 1,48.10 ⁻² | 2,90 ^b | 0,995 | (5) |
| 9,0 | 1,75.10 ⁻² | 2,90 ^c | 0,994 | (6) |
| Amberlite 252Na | | | | |
| 4,0 | 1,03.10 ⁻³ | 3,90 ^a | 0,995 | (7) |
| 7,0 | 9,34.10 ⁻³ | 3,10 ^b | 0,971 | (8) |
| 9,0 | 1,73.10 ⁻² | 2,90 ^c | 0,996 | (9) |

a: não existe diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre estes valores; b: não existe diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre estes valores; c: não existe diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre estes valores.

Utilizando as equações 4 a 9, calcularam-se as concentrações finais de Cu²⁺ na aguardente e a porcentagem removida desses íons quando as resinas são utilizadas três vezes. Os valores obtidos encontram-se na Tabela 5. Lima et al. (2009), utilizando resina de troca iônica do tipo catiônica fortemente ácida (grupo funcional: ácido sulfônico), com matriz estireno-divinil benzeno, ou seja,

semelhante à utilizada neste trabalho, obtiveram a remoção de íons de Cu^{2+} da aguardente da ordem de 94,4%, quando se utilizava a concentração inicial destes íons igual a $9,0 \text{ mg L}^{-1}$ e a proporção entre resina e aguardente contaminada foi de $0,233 \text{ g mL}^{-1}$, valor de remoção semelhante ao obtido neste trabalho, como pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 5. Cálculo dos íons de cobre removidos em 300 mL de aguardente após três reutilizações da resina Amberlite 120Na e da resina Amberlite 252Na.

| Concentração inicial de Cu^{2+} na aguardente (mg L^{-1}) | Massa inicial de Cu^{2+} (mg) | Massa de Cu^{2+} após o tratamento (mg) | Massa de Cu^{2+} removida após o tratamento (mg) | Massa de Cu^{2+} removida por unidade de massa de resina ^a (mg g^{-1}) | % de remoção |
|---|--|--|---|---|--------------------|
| Amberlite 120N | | | | | |
| 4,0 | 1,20 | 0,0443 | 1,1572 | $1,156 \cdot 10^{-2}$ | 96,4% ^b |
| 7,0 | 2,10 | 0,1074 | 1,9926 | $1,9926 \cdot 10^{-2}$ | 94,9% ^b |
| 9,0 | 2,70 | 0,1269 | 2,5731 | $2,5731 \cdot 10^{-2}$ | 95,3% ^b |
| Amberlite 252N | | | | | |
| 4,0 | 1,20 | 0,0224 | 1,1776 | $1,1776 \cdot 10^{-2}$ | 98,1% ^b |
| 7,0 | 2,10 | 0,0843 | 2,0157 | $2,0157 \cdot 10^{-2}$ | 96,0% ^b |
| 9,0 | 2,70 | 0,1257 | 2,5743 | $2,5743 \cdot 10^{-2}$ | 95,3% ^b |

a: utilizava-se 100,0 de resina; b: não existe diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre estes valores.

Neste trabalho verificou-se que ao utilizar uma quantidade menor de resina de troca iônica por mililitro de água aguardente contaminada com íons de cobre ($0,33 \text{ g mL}^{-1}$), conseguiu-se a remoção significativamente maior desses íons em comparação com carvão ativado, utilizando a proporção de $0,4 \text{ g mL}^{-1}$ como pode ser observado nas Tabelas 3 e 5. Após três reutilizações de todos os adsorventes testados, verificou-se que as resinas removeram aproximadamente 95% dos íons de cobre que estavam presentes inicialmente na aguardente e o carvão ativado removeu apenas 54%. Assim sendo, comprova-se que a eficiência das resinas de troca iônica, na remoção desse tipo de íon metálico, é maior do que utilizando carvão ativado, o que está de acordo com o trabalho de Lima (2005). A Tabela 6 indica que a remoção, empregando resina de troca iônica, era pelo menos três vezes maior que utilizando carvão ativado nas condições utilizadas neste trabalho.

Tabela 6. Comparação entre a remoção de íons Cu^{2+} , utilizando carvão ativado e resina de troca iônica Amberlite 120Na e 252Na.

| Tratamento A | Tratamento B | Tratamento C | | |
|--|---|---|---|---|
| Massa de íons de Cu removida por grama de carvão ativo | Massa de íons de Cu removida por grama de Amberlite 120Na | Massa de íons de Cu removida por grama de Amberlite 252Na | Relação entre Tratamento B e Tratamento A (%) | Relação entre Tratamento C e Tratamento A (%) |
| $5,48 \cdot 10^{-3}$ | $1,156 \cdot 10^{-2}$ | $1,1776 \cdot 10^{-2}$ | 210% | 215% |
| $9,45 \cdot 10^{-3}$ | $1,9926 \cdot 10^{-2}$ | $2,0157 \cdot 10^{-2}$ | 211% | 213% |
| $1,22 \cdot 10^{-2}$ | $2,5731 \cdot 10^{-2}$ | $2,5743 \cdot 10^{-2}$ | 211% | 211% |

A partir dos dados experimentais, comprovou-se que as duas resinas de troca iônica utilizadas são

eficazes na remoção de cobre presente na aguardente de tal forma que a concentração deste íon metálico fique abaixo do valor máximo fixado pela legislação brasileira para a bebida, desde que o número de utilizações da resina seja de, no máximo, igual a sete vezes. Por não ser o escopo deste trabalho, não se avaliou a influência da utilização destes materiais adsorventes nas características organolépticas da aguardente após o tratamento.

Conclusão

Por meio desta pesquisa pode-se chegar às seguintes conclusões:

1) Carvão ativado e as resinas Amberlite 120Na e 252Na podem ser utilizados para remover cobre de aguardente com a finalidade de atingir valores iguais ou inferiores a $5,0 \text{ mg L}^{-1}$, que é o valor fixado pela legislação brasileira, desde que as resinas de troca iônica e o carvão ativado não atinjam a saturação.

2) Para o tratamento com carvão ativado, este não pode ser utilizado mais que três vezes quando a concentração inicial de cobre for igual a $9,0 \text{ mg L}^{-1}$ e não mais do que quatro vezes quando a concentração inicial de cobre na aguardente for igual a 7 mg L^{-1} .

3) As resinas de troca iônica não devem ser utilizadas mais do que sete vezes na remoção de cobre de aguardente quando a concentração inicial é igual a $9,0 \text{ mg L}^{-1}$.

4) Estatisticamente ($p \leq 0,05$) não se pode afirmar que existe diferença entre as duas resinas de troca iônica utilizadas neste trabalho com relação à eficiência da remoção de íons de cobre.

Referências

- ALUYOR E. O.; BADMUS, O. A. M. COD removal from industrial wastewater using activated carbon prepared from animal horns. **African Journal of Biotechnology**, v. 7, n. 21, p. 3887-3891, 2008.
- AZEVEDO, S. M.; CARDOSO, M. G.; PEREIRA, N. E.; RIBEIRO, C. F. S.; SILVA, V. F.; AGUIAR, F. C. Levantamento da contaminação por cobre nas aguardentes de cana-de-açúcar produzidas em Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 3, p. 618-624, 2003.
- BIZELLI, L. C.; RIBEIRO, C. A. F.; NOVAES, F. V. Dupla destilação da aguardente de cana: teores de acidez e de cobre. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 4, p. 623-627, 2000.
- BOZA, Y.; HORII, J. Influência do grau alcoólico e da acidez do destilado sobre o teor de cobre na aguardente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, n. 3, p. 279-284, 2000.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto n. 2314 de 04 de setembro de 1997. **Diário Oficial da União**, Brasília, 5 set. 1997, seção 1, p. 19549.

- CARDOSO, D. R.; LIMA-NETO, B. S.; FRANCO, D. W. Influência do material do destilador na composição química das aguradentes de cana. Parte II. **Química Nova**, v. 26, n. 2, p. 165-169, 2003.
- CAVALHEIRO, S. F. L.; SOBRINHO, L. G. A.; FARIA, J. B.; CARDELLO, H. M. A. B. Influência do envelhecimento no teor de cobre em cachaças. **Boletim CEPPA**, v. 21, n. 1, p. 99-108, 2003.
- COSTA, C. A.; SCHNEIDER, I. A. H.; RUBIO, J. Remoção de metais pesados por sorção em subproduto do beneficiamento de carvão. **Saneamento Ambiental**, v. 59, n. 4, p. 50-56, 1999.
- FARIA, J. B.; CAMPOS, M. A. P. Eliminação do cobre contaminante das aguardentes de cana-de-açúcar brasileiras. **Alimentação e Nutrição**, v. 1, n. 1, p. 117-128, 1989.
- GARBIN, R.; BOUSZ JUNIOR, S.; MONTANO, M. A. Níveis de cobre em amostras de cachaça produzidas na região noroeste do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, v. 35, n. 6, p. 1436-1440, 2005.
- LABANCA, R. A.; GLÓRIA, M. B. A.; GOUVEIA, V. J. P.; AFONSO, R. J. C. F. Determinação dos teores de cobre e grua alcoólico em aguardente de cana produzidas no estado de Minas Gerais. **Química Nova**, v. 29, n. 5, p. 1110-1113, 2006.
- LIMA, A. K. S.; NÓBREGA, I. C. C. Avaliação de parâmetros de qualidade em aguardentes de cana produzidas no Estado da Paraíba. **Boletim CEPPA**, v. 22, n. 1, p. 85-96, 2004.
- LIMA, A. J. B. **Validação do emprego de substâncias adsorventes para melhoria da qualidade de cachaça com excesso de cobre**. 2005. Dissertação (Mestrado em Agroquímica e Agrobiotecnologia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.
- LIMA, A. J. B.; CARDOSO, M. G.; GUERREIRO, M. C.; PIMENTEL, F. A. Emprego do carvão ativado para remoção de cobre em cachaça. **Química Nova**, v. 29, n. 2, p. 247-250, 2006.
- LIMA, A. J. B.; CARDOSO, M. G.; GUERREIRO, M. C.; GUIMARÃES, L. G. L.; LIMA, J. M.; NELSON, D. L. Efeito de substâncias empregadas para remoção de cobre sobre o teor de compostos secundários da cachaça. **Química Nova**, v. 32, n. 4, p. 845-848, 2009.
- MIRANDA, M. B.; MARTINS, N. G. S.; BELLUCO, A. E. S.; HORII, J.; ALCARDE, A. R. Qualidade química de cachaças e de aguardentes brasileiras. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 4, p. 885-889, 2007.
- NEVES, E. A.; OLIVEIRA, A.; FERNANDES, A. P.; NÓBREGA, J. A. Simple and efficient elimination of copper(II) in sugar-cane spirits. **Food Chemistry**, v. 101, n. 1, p. 33-36, 2007.
- TEKER, M.; IMAMOĞLU, M. Adsorption of copper and cadmium ions by activated carbon from rice hulls. **Turkish Journal of Chemistry**, v. 23, n. 2, p. 185-191, 1999.
- VELI, S.; ALYÜZ, B. Adsorption of copper and zinc from aqueous solutions by using natural clay. **Journal of Hazardous Materials**, v. 149, n. 1, p. 226-233, 2007.
- VILELA, F. J.; CARDOSO, M. G.; MASSON, J.; ANJOS, J. P. Determinação das composições físico-químicas de cachaças do sul de Minas Gerais e de suas misturas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 4, p. 1089-1094, 2007.

Received on July 24, 2009.

Accepted on May 21, 2010.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.