



XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

AVALIAÇÃO DE FILTROS DOMÉSTICOS COM CARVÃO ATIVADO MODIFICADO COM COMPOSTOS METÁLICOS DE PRATA E COBRE PARA MELHORIA DA QUALIDADE DA ÁGUA

Flávia Sayuri Arakawa¹; Simone de Lima Bazana²; Driano Rezende³; Gisele Justen⁴ & Rosângela Bergamasco⁵

RESUMO – Filtros domésticos com carvão ativado modificado com compostos metálicos de Ag e Cu foram avaliados em relação à eficiência de retenção de bactérias e retenção de cloro livre para purificação de água. Experimentos foram realizados em um sistema de filtração gravitacional utilizando filtros com leitos de carvão ativado granular sem impregnação e com impregnação de compostos de Ag e Cu nas concentrações de C/Ag0,5%Cu2% e C/Ag0,5%Cu1% (m/m). A incorporação de compostos de Ag e Cu na estrutura do carvão ativado aumentou a eficiência de retenção de *Escherichia coli* da água quando comparada com o carvão ativado sem impregnação, isto pode ser atribuído à ação sinérgica da Ag e do Cu no carvão ativado que mostrou uma atividade oligodinâmica superior na remoção das bactérias da água. Em relação à eficiência de retenção de cloro livre, todos os filtros avaliados apresentaram eficiência superior a 90%. Portanto, os filtros com C/Ag-Cu avaliados mostraram elevado potencial para remoção de contaminantes microbiológicos e inorgânicos da água, melhorando a qualidade da água tratada.

ABSTRACT – Household filters with activated carbon modified with metallic compounds of Ag and Cu were evaluated regarding retention efficiency of bacteria and retention of free chlorine for drinking water purification. Experiments were performed in a gravitational purification system using filters with beds of granular activated carbon without impregnation and with impregnation of metallic compounds of Ag and Cu in concentrations of C/Ag0.5%Cu2% and C/Ag0.5%Cu1% (w/w). The

1) Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química, Av. Colombo, 5790, Jardim Universitário, Bloco D-90, CEP: 87020-900, Maringá, Paraná, Fone: (44) 3011-4748, E-mail: flaviasayuri@gmail.com

2) Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química, E-mail: slbazana@yahoo.com.br

3) Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química, E-mail: drirezend@gmail.com

4) Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química, E-mail: giselejusten@bol.com

5) Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química, E-mail: rosangela@deq.uem.br

incorporation of Ag and Cu compounds on the structure of activated carbon increased the retention efficiency of *Escherichia coli* of drinking water when compared with the activated carbon without impregnation, this can be attributed to the synergistic action of Ag and Cu on activated carbon that showed a higher oligodynamic activity on the removal of bacteria from drinking water. Regarding the retention efficiency of free chlorine, all filters evaluated showed efficiency higher of 90%. Therefore, the evaluated filters with C/Ag-Cu showed a considerable potential for removing microbiological and inorganic contaminants of drinking water, improving the quality of treated water.

Palavras-Chave – Carvão ativado, compostos metálicos de cobre e prata, qualidade da água.

1 – INTRODUÇÃO

Um dos fatores mais importantes para a melhoria e proteção da saúde humana é o acesso à água potável. Grande maioria da população mundial ainda encontra dificuldades no acesso à água em quantidade e qualidade suficiente. A qualidade da água pode ser comprometida devido a uma série de fatores como manutenção e monitoramento inadequado dos sistemas de tratamento de água, interrupções nos serviços, avarias na tubulação. Tais fatores podem resultar em padrões de água potável com baixa qualidade e riscos aos consumidores finais em relação às doenças transmitidas pela água, mesmo a partir de fontes de água tratada (Momba *et al.*, 2006). Alguns micro-organismos têm sido relacionados com surtos de doenças de veiculação hídrica por contaminação fecal de água potável. O principal indicador da qualidade sanitária da água potável são as bactérias do grupo coliformes, particularmente a *Escherichia coli* (Rivera-Garza *et al.*, 2000).

A insegurança dos níveis de qualidade da água em relação ao controle do risco microbiológico desde as plantas de tratamento de água às torneiras do consumidor tem se tornado um grande desafio na gestão da segurança da saúde. Portanto, intervenções para controlar e manter a qualidade microbiológica da água em níveis domésticos leva à necessidade da aplicação de tecnologias apropriadas de tratamento (Su *et al.*, 2009).

Adsorção com carvão ativado tem sido reconhecida como uma eficiente tecnologia de controle para o tratamento da água. Devido a sua estrutura porosa altamente desenvolvida, o carvão ativado possui uma grande capacidade adsorvente para remover o sabor e o odor da água, eliminar contaminantes orgânicos e inorgânicos (Hamdaoui e Naffrechow, 2007; Cheng *et al.*, 2005).

No entanto, carvão ativado sozinho não é eficiente contra bactérias, vírus ou protozoários (Nangmenyi *et al.*, 2009). Portanto, carvão ativado impregnado com metais tem sido aplicado devido aos seus efeitos antibacterianos (Oh, 2003). A prata é conhecida por suas propriedades

antibacterianas. Os íons de prata possui um forte efeito inibitório sobre muitas espécies de bactérias. O efeito do cobre e em concentrações maiores é tóxico, desestabilizando a membrana e induzindo a permeabilidade (Jun *et al.*, 2003; Kirakosyan e Trchounian, 2007).

Para aumentar o efeito oligodinâmico, o cobre podem se combinar com a prata, resultando em um efeito sinérgico de desinfecção nas células bacterianas. Os íons cobre carregado positivamente distorcem a parede celular pela ligação a grupos de carga negativa e permitindo que íons prata entrem na célula, este por sua vez liga-se com o DNA, RNA, enzimas e proteínas celulares, causando lesão celular e morte (Hambidge, 2001).

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver filtros com carvão ativado granular impregnado com compostos metálicos prata e cobre e avaliar a eficiência de retenção de cloro livre e eficiência de retenção de bactérias *Escherichia coli* da água para melhoria da qualidade da água destinada ao consumo humano.

2 – MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 – Preparação do carvão ativado modificado com compostos de prata e cobre

Carvão ativado granular (CAG) de coco de dendê, produzido pela Bahiacarbon (Bahia, Brasil) foi modificado utilizando a técnica de impregnação com soluções aquosas dos sais metálicos AgNO_3 e $\text{Cu}_2\text{SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Os compostos metálicos de cobre e prata foram impregnados no CA em duas concentrações diferentes: C/Ag0,5%Cu2% e C/Ag0,5%Cu1% (m/m). Em um evaporador rotativo, as amostras foram mantidas sob mistura (20 rpm) a $T=60^\circ\text{C}/24$ h. Em seguida, as amostras foram submetidas ao método de impregnação a vácuo a $T=80^\circ\text{C}/30$ min. As amostras de foram secas em estufa na temperatura de $80^\circ\text{C}/24$ h. Posteriormente, as amostras foram submetidas a um tratamento térmico em forno mufla a temperatura de $350^\circ\text{C}/5$ h.

2.2 – Condições Experimentais

Os testes de avaliação da eficiência bacteriológica e eficiência de retenção de cloro livre foram realizados separadamente em um sistema de purificação de água doméstico. As amostras de carvão sem impregnação (CAG), e as amostras de carvão impregnado (C/Ag0,5%Cu2%, C/Ag0,5%Cu1%) foram colocadas em cartuchos cilíndricos (filtros) com dimensões de 90x72 mm, contendo uma massa de 150 g. O sistema de purificação de água é constituído por um reservatório superior (3 L) onde a água de abastecimento é alimentada, e por um reservatório inferior (3,5 L)

onde a água após passar pelos meios filtrantes é armazenada e depois coletada para as análises. Para simular um sistema de purificação de água doméstico, a água de abastecimento foi filtrada diariamente até o término do tempo de vida útil do filtro, estipulando um volume de filtração de 600 L. Os testes dos filtros com CAG, C/Ag0,5% Cu2% e C/Ag0,5% Cu1% foram realizados na condição inicial e final (95%) da vida útil do filtro, conforme especificado na Norma Brasileira ABNT NBR 16098:2012 (ABNT, 2012).

2.3 – Avaliação da Eficiência Bacteriológica

Os testes de eficiência bacteriológica dos filtros foram avaliados por meio da percolação de água sintética preparada com a bactéria *Escherichia coli* (ATCC 11229) a uma concentração inicial de aproximadamente $10^5 - 10^6$ UFC/100mL e as análises foram realizadas utilizando a técnica da membrana filtrante conforme descrito no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005). Para os testes de eficiência bacteriológica, a ABNT NBR 16098/2012 estabelece um critério mínimo de retenção de 2 log (99,99%).

2.4 – Avaliação da Retenção de Cloro Livre

Nos testes de eficiência de retenção de cloro livre, a água de abastecimento foi filtrada e analisada em relação à concentração de cloro livre presente antes e após a passagem pelos filtros. As análises de cloro livre foram determinadas pelo método DPD (N,N-dietil-p-fenilendiamino) em espectrofotômetro (HACH DR 2500). De acordo com a ABNT NBR 16098/2012, para que o filtro seja considerado eficiente, a retenção de cloro livre deve ser superior a 75%.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 – Avaliação da Eficiência Bacteriológica

As eficiências bacteriológicas dos filtros em relação à retenção de bactérias *Escherichia coli* da água são mostradas na Figura 1, em termos de retenção em log. A concentração inicial de *Escherichia coli* utilizada nos ensaios experimentais variou entre $6,5 \times 10^6$ a $7,1 \times 10^6$ UFC/100 mL, aproximadamente 6 log.

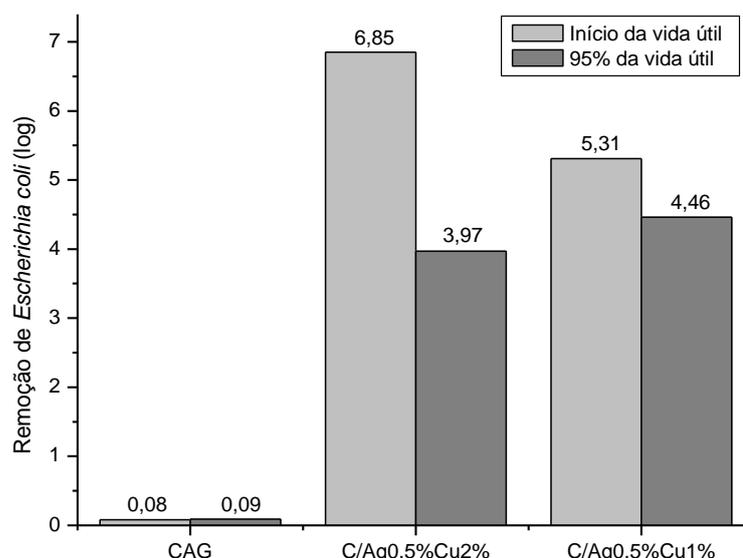


Figura 1 – Eficiência bacteriológica dos filtros C/Ag0,5%Cu2%, C/Ag0,5%Cu1% em comparação com o filtro CAG no início e com 95% da vida útil dos filtros

A eficiência de retenção de bactérias *Escherichia coli* da água foi consideravelmente superior nos filtros com as amostras de carvão ativado impregnado com C/Ag0,5%Cu2% e C/Ag0,5%Cu1% quando comparada à eficiência do filtro com carvão ativado sem impregnação, CAG. A elevada eficiência na retenção de *Escherichia coli* com carvão impregnado com prata e cobre (C/Ag-Cu) podem ser explicada devido à potencialização do efeito oligodinâmico da ação em conjunto dos íons prata e cobre, apresentando um efeito sinérgico. Observa-se na Figura 1, que as retenções bacteriológicas na condição de 95% da vida útil dos filtros mostraram menor eficiência em relação a condição inicial. Essas menores retenções segundo Mpenyana-Monyatsi *et al.* (2012) e Zhao *et al.* (2013) provavelmente deve-se a menor quantidade de metais presentes no carvão durante a percolação dos 570 L de água de abastecimento, ocasionada pela lixiviação da prata e cobre fracamente adsorvidos na superfície do carvão. As eficiências bacteriológicas dos filtros C/Ag0,5%Cu2% e C/Ag0,5%Cu1% alcançaram retenções superiores a 2 log na condição inicial e com 95% da vida útil dos filtros, podendo ser considerado eficientes conforme exigido pela NBR 16098/2012.

3.1 – Avaliação da Retenção de Cloro Livre

As eficiências dos filtros em relação à retenção de cloro livre da água são mostradas na Figura 2.

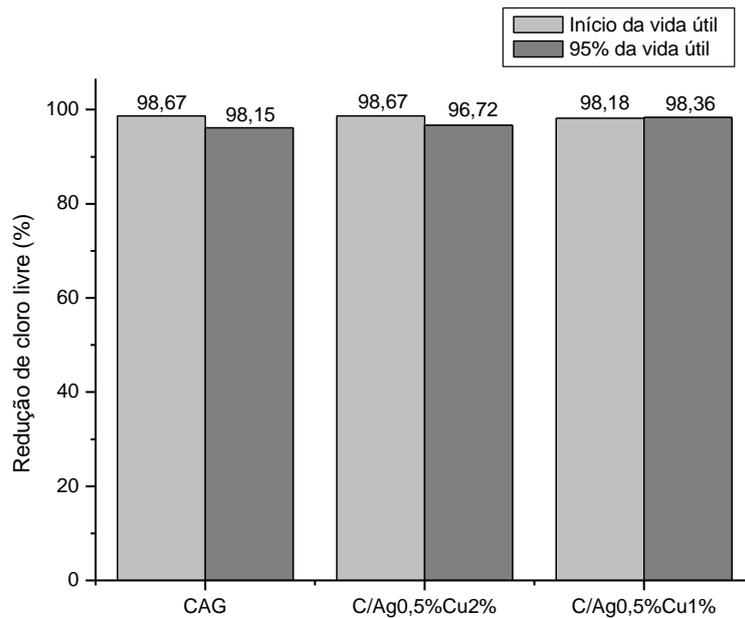


Figura 2 – Eficiência de retenção de cloro livre dos filtros C/Ag0,5%Cu2%, C/Ag0,5%Cu1% em comparação com o filtro CAG no início e com 95% da vida útil dos filtros

Na Figura 2, observa-se que não houve diferença entre as eficiências de retenção de cloro livre nos filtros com CAG, C/Ag0,5%Cu2% e C/Ag0,5%Cu1%. Portanto, a presença de compostos metálicos como a prata e o cobre impregnados no carvão não interferiu na retenção de cloro livre da água, comprovando somente o alto poder de adsorção de cloro no carvão ativado. (Klompas e Konieczny, 2004). Em todos os filtros avaliados, a eficiência de retenção de cloro livre foi superior a 75% na condição inicial e com 95% da vida útil, ou seja, são considerados eficientes de acordo com a ABNT NBR 16098/2012.

4 – CONCLUSÃO

Os filtros domésticos com carvão ativado impregnado com compostos metálicos de Ag e Cu (C/Ag0,5%Cu2% e C/Ag0,5%Cu1%) mostraram elevada eficiência bacteriológica e eficiência de retenção de cloro livre de acordo com os critérios exigido pela ABNT NBR 16098/2012. A aplicação destes meios porosos em filtros domésticos pode ser sugerida como uma possível alternativa na purificação e melhoria da qualidade da água destinada ao consumo humano.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water wastewater**. 21. ed. Washington: APHA, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16098 **Aparelho para melhoria da qualidade da água para consumo humano – Requisitos e métodos de ensaio**. ABNT, 1 ed., 34 p, 2012.
- CHENG, H.; DASTGHEIB, S.A.; KARANFIL, T. (2005). “*Adsorption of dissolved natural organic matter by modified activated carbons*”. *Water Research* 39, pp. 2281- 2290.
- HAMBIDGE, A. “*Reviewing efficacy of alternative water treatment techniques*”. *Health Estate* 55, pp. 23-25.
- HAMDAOUI, O.; NAFFRECHOW, E. (2007). “*Modeling of adsorption isotherms of phenol and chlorofenols onto granular activated carbon. Part I. Two-parameter models and equations allowing determination of thermodynamic parameter*”. *Journal Hazard Materials* 147, pp. 381-394.
- JUN, Y.; YI, L.; PENG, L.; HUIGANG, L.; MING, S.; SONGSHENG, Q.; ZINIU, Y. (2003). “*Study of the thermokinetic properties of copper (II) on Escherichia coli growth*”. *Biology Trace Elements Research* 92, pp. 61-70.
- KIRAKOSYAN, G.; TRCHOUNIAN, A. (2007). “*Redox sensing by Escherichia coli: effects of cooper ions as oxidizers on proton-coupled transport*”. *Bioelectrochemistry* 70, pp. 58-63.
- KLOMFAS, G; KONIECZNY, K. (2004). “*Fouling phenomena in unit and hybrid processes for potable water treatment*”. *Desalination* 163, pp. 311-322.
- MOMBA, M.N.B.; TYAFA, Z.; MAKALA, N.; BROUCKAERT, B.M.; OBI C.L. (2006). “*Safe drinking water still a dream in rural areas of South Africa. Case Study: The Eastern Cape Province*”. *Water SA* 32, pp.715-720.
- MPENYANA-MONYATSI, L.; MTHOMBENI, N. H.; ONYANGO, M. S.; MOMBA, MAGGY N. B. (2012). “*Cost-effective filter materials coated with silver nanoparticles for the removal of pathogenic bacteria in groundwater*”. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 9, pp. 244-271.
- NANGMENYI, G.; XAO, W.; MEHRABI, S.; MINTZ, E.; ECONOMY, J. (2009). “*Bactericidal activity of Ag nanoparticle-impregnated fibreglass for water disinfection*”. *Journal Water Health* 7, pp.657-663.
- OH, W.-C. (2003). “*Properties of metal supported porous carbon and bactericidal effects*”. *Journal Industrial & Engineering Chemistry* 9, pp.117-124.
- RIVERA-GARZA, M.; OLGUÍN, M.T.; GARCÍA-SOSA, I.; ALCÁNTARA, D.; RODRÍGUEZ-FUENTES G. (2000). “*Silver supported on natural Mexican zeolite as an antibacterial material*”. *Microporous and Mesoporous Materials* 39, pp.431-444.
- SU, F.; LUO, M.; ZHANG, F.; LI, P.; LOU, K.; XING, X. (2009). “*Performance of microbiological control by a point-of-use filter system for drinking water purification*”. *Journal of Environmental Sciences* 21, pp.1237–1246.
- ZHAO, Y.; WANG, Z-Q.; ZHAO, X.; LI, W.; LIU, S-X. (2013). “*Antibacterial action of silver-doped activated carbon prepared by vacuum impregnation*”. *Applied Surface Science* 266, pp. 67-72.