

I-162 - AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE MICROCISTINA-LR DE ÁGUA UTILIZANDO REAGENTE DE FENTON SEGUIDO DE CARVÃO ATIVADO GRANULAR

Josué da Silva Buriti⁽¹⁾

Químico Industrial pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) e Doutorando em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Wilton Silva Lopes

Químico Industrial pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Doutor em Química pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e Pós-Doutor em Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professor Doutor D (DE) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

Silvania Nóbrega Oliveira

Bióloga e Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

Sátiva Barbosa de Brito Lélis Villar

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) e mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

Fernando Fernandes Vieira

Engenheiro Químico pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Professor Doutor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

Endereço⁽¹⁾: Rua Siqueira Campos, 687, apartamento 201 - Centro – Campina Grande - PB - CEP: 58400-525 - Brasil - Tel: (83) 9653-1188 - e-mail: josueburiti@gmail.com

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar em escala de bancada a remoção de microcistina-LR de água utilizando coagulação com reagente de Fenton, floculação, decantação e filtração seguido de colunas de Carvão Ativado Granular (CAG). A água de estudo foi preparada pela adição de 20 mL de extrato de microcistina-LR em 1 L de água do reservatório de Acauã. As colunas de CAG foram construídas com tubos de PVC com diâmetro interno de 21 mm e altura útil de CAG de 15 cm e 20 cm. A vazão fixada para cada coluna de CAG foi de 2 L.h⁻¹. A condição de coagulação foi 15 mg.L⁻¹ de FeSO₄.7H₂O, pH de coagulação de 8,4 e tempo de sedimentação de 15 min. Após coagulação, floculação e sedimentação a turbidez reduziu de 5,8 a 3,0 uT, cor aparente de 115 a 81 uH e concentração de microcistina-LR de 18,52 a 9,59 µg.L⁻¹. O transpasse na coluna de menor tempo de contato ocorreu após 2 h de funcionamento, refletindo em menor q_e (1,85 µg.g⁻¹) e maior taxa de uso (3,82 g.L⁻¹) quando comparada a coluna de maior tempo de contato, que ocorreu o transpasse após 6 h de funcionamento, a qual apresentou melhor desempenho, garantindo efluente com concentração inferior ao Valor Máximo Permitido (VMP) de 1 µg.L⁻¹ exigido pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde por mais tempo e utilizando menor quantidade de CAG.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de Água, Microcistina-LR, Reagente de Fenton, Carvão Ativado Granular.

INTRODUÇÃO

A principal importância sanitária do florescimento de cianobactérias é a possível liberação de cianotoxinas na água, principalmente durante o tratamento convencional comumente empregado. Uma das espécies de cianobactérias frequentemente encontradas na água é a *Microcystis aeruginosa* que pode sofrer a lise e liberar microcistinas, como é o caso da microcistina-LR, na qual sua remoção da água a partir do tratamento do tipo convencional não é satisfatória, resultando em intensificadas buscas por tecnologias operacionalmente e

economicamente viáveis para o efetivo cumprimento da legislação vigente referente à concentração de microcistinas na água de abastecimento (LIU et al., 2011; SUN et al., 2012).

Devido a isso, as limitações no tratamento convencional promoveu o desenvolvimento de tecnologias específicas como o processo Fenton, caracterizado pela geração de radicais hidroxilas ($\bullet\text{OH}$) altamente oxidantes formados pela reação entre o ferro (Fe^{+2}) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2), que pode ser solução alternativa para o tratamento de água contendo cianotoxinas, ao desempenhar dupla função de oxidação e coagulação nos processos de tratamento sem a formação de possíveis subprodutos prejudiciais a saúde, como os trihalometanos (DE JULIO et al., 2009). A coagulação, nesse caso, só é efetivada devido à geração dos complexos de hidróxido de ferro, como também à formação de oxi-hidróxidos após o ajuste de pH, aumentando o tamanho dos flocos e facilitando a precipitação das partículas.

Nesta perspectiva, o presente trabalho avaliou em escala de bancada a eficiência de remoção de microcistina-LR na água do reservatório de Acauã, destinada ao abastecimento público utilizando coagulação com reagente de Fenton, floculação, decantação e filtração seguido de coluna de carvão ativado granular (CAG).

MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema experimental foi monitorado nas dependências da Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgotos Sanitários (EXTRABES) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) na cidade de Campina Grande/PB. A cepa de *Microcystis aeruginosa* produtora de microcistina-LR foi fornecida pelo Departamento de Botânica da Universidade Federal de São Carlos/SP. O cultivo das células de *Microcystis aeruginosa* foi realizado no laboratório da EXTRABES e as condições de cultivo incluíram uso do meio de cultura ASM-1 estéril, preparado com 13 sais orgânicos e inorgânicos que forneceram os nutrientes necessários para o crescimento microbiano a temperatura ambiente com fotoperíodo de 12 horas e intensidade luminosa fornecida por lâmpadas tubulares de 40 W e pH $8,0 \pm 0,1$. Todo o material antes de cada repique foi esterilizado por radiação ultravioleta.

Após a cultura atingir a fase exponencial, com densidade celular na ordem de 10^6 cel.mL⁻¹, a microcistina-LR foi extraída pelo método de congelamento/descongelamento do cultivo por três vezes consecutivas, de modo que ocorresse a lise celular e subsequente a liberação das toxinas intracelulares para o meio de cultura (BROOKE et al., 2006; WANG et al., 2007). As análises de quantificação da microcistina-LR foram realizadas pelo método ELISA com o Kit de placas da marca Beacon Analytical Systems Inc, realizadas em duplicatas utilizando uma leitora de placa TP-Reader (Thermo Plate).

A água bruta (AB) utilizada para constituição da água de estudo (AE) com a qual se realizaram os experimentos foi proveniente do reservatório de Acauã (Açude Argemiro de Figueiredo) coletada na Estação de Tratamento de Água (ETA) de Itatuba/PB antes da pré-cloração. O ponto de captação da água para a ETA é localizada no rio Paraíba a 3 m de profundidade e a escolha desse reservatório para estudo foi devido às condições eutróficas e os registros frequentes de florações de cianobactérias produtoras de microcistina-LR (MACEDO, 2009; LINS, 2011).

Para a preparação da água de estudo (AE) foi necessário quantificar a microcistina-LR na suspensão de células lisadas utilizando-se Kit ELISA. Com base nos resultados dessa quantificação verificou-se que a média dos lotes de extrato de microcistina-LR após a lise foi de 1050 µg.L⁻¹. Com isto, determinou-se que 20 mL.L⁻¹ (20 mL de extrato de microcistina-LR + 1 L de água bruta) corresponderiam à concentração de aproximadamente 19 µg.L⁻¹ de microcistina-LR. A concentração na ordem de 19 µg.L⁻¹ foi escolhida por representar uma situação extrema de águas naturais contaminadas por cianotoxinas (CHOW et al., 1999; JURCZAK et al., 2005; BROOKE et al., 2006).

Foram realizados ensaios de coagulação, floculação e sedimentação (utilizando equipamento de *Jar Test*) para definir as melhores condições de tratamento através da construção do diagrama de coagulação para turbidez remanescente. A melhor condição de coagulação foi 15 mg.L⁻¹ de sulfato ferroso hepta-hidratado ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$); 5,5 mg.L⁻¹ de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), pH de coagulação de 8,4 e tempo de sedimentação de 15 min (BURITI, et al., 2013). A caracterização da água bruta e da água de estudo foi realizada conforme métodos preconizados por APHA (2005).

Para a avaliação da adsorção em carvão ativado granular, utilizou-se dois tempos de contato na remoção de microcistina-LR ($t_1=41$ s e $t_2=52$ s). Para isto, foi montado um sistema experimental de bancada, monitorado durante 96 horas. A coagulação, floculação e sedimentação foram realizadas de acordo com os resultados obtidos em etapas anteriores. Os parâmetros analisados foram os mesmos, monitorados na água de estudo, na água afluyente e efluente dos filtros de areia e na água efluente das colunas de CAG. O sistema experimental pode ser verificado na Figura 1.

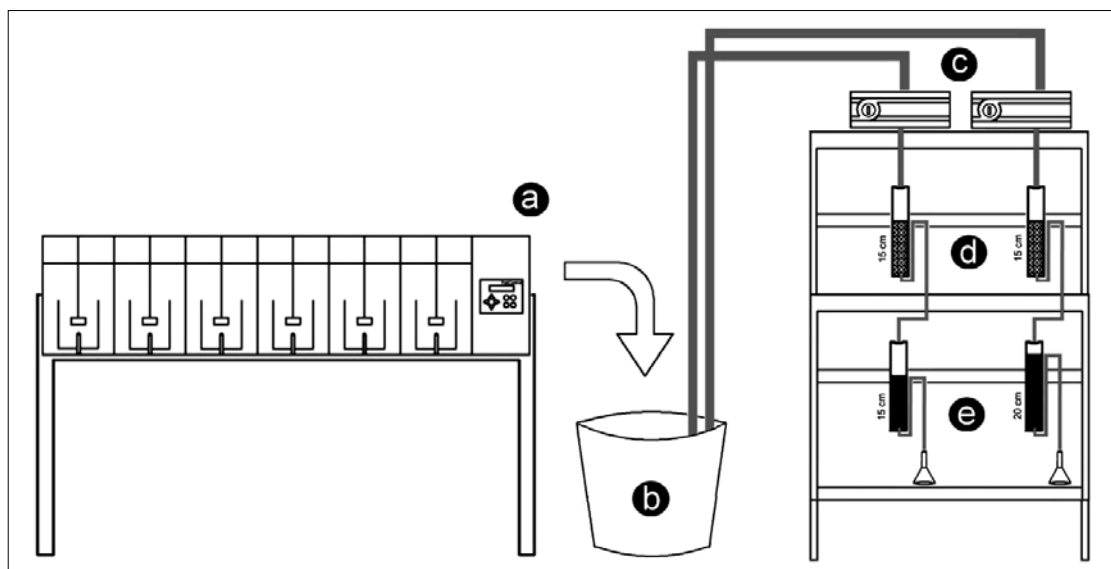


Figura 1: Esquema do sistema experimental: (a) equipamento de Jar Test; (b) reservatório com água decantada; (c) bombas peristálticas; (d) filtros de areia (FA1 + FA2); (e) colunas de carvão ativado granular (CC1 + CC2).

Os filtros de areia (Figura 1d) foram montados com tubos de PVC com altura de 25 cm, diâmetro interno de 21 mm e altura útil de meio filtrante de 15 cm. A granulometria da areia utilizada foi de 0,42 a 0,6 mm. Com auxílio de bombas peristálticas (Figura 1c), fixou-se a vazão para cada filtro de areia em 2 L.h^{-1} , correspondendo à taxa de filtração de $138,6 \text{ m}^3.\text{m}^2.\text{d}^{-1}$. Os filtros de areia foram operados submersos e as coletas foram realizadas na altura de 15 cm dos filtros. As retrolavagens dos filtros foram realizadas quando havia perda de carga equivalente a 20%. As colunas de CAG (Figura 1e) foram construídas da mesma forma que os filtros de areia. A altura útil de CAG foram de 15 cm (CC1) e 20 cm (CC2). A vazão fixada para cada coluna de CAG foi de 2 L.h^{-1} . Todos os procedimentos efetuados para a construção e preparação das colunas de CAG seguiram as normas da ASTM D.6586-03 e D.3922-89. As características do CAG e das colunas de CAG utilizados no sistema experimental foram: granulometria (CC1 e CC2 $\rightarrow 1,4-0,42 \text{ mm}$); volume da coluna (CC1 $\rightarrow 52,0 \text{ mL}$; CC2 $\rightarrow 69,0 \text{ mL}$); massa (CC1 $\rightarrow 30,5 \text{ g}$; CC2 $\rightarrow 40,9 \text{ g}$); altura (CC1 $\rightarrow 15,0 \text{ cm}$; CC2 $\rightarrow 20,0 \text{ cm}$); volume de vazão da coluna (CC1 $\rightarrow 23,0 \text{ mL}$; CC2 $\rightarrow 29,0 \text{ mL}$) e tempo de contato teórico (CC1 $\rightarrow 41 \text{ s}$; CC2 $\rightarrow 52 \text{ s}$).

Com o objetivo de verificar a concentração de microcistina-LR por massa do CAG (q_e), realizou-se a seguinte relação, conforme Equação 1. E com base nos valores de adsorção, calculou-se a taxa de uso (TU) do CAG conforme Equação 2:

$$q_e = \frac{(C_i - C_f)}{m} Q \times t \quad (1)$$

$$TU = \frac{(C_i - C_f)}{q_e} \quad (2)$$

Onde: q_e : concentração de microcistina-LR por massa do CAG ($\mu\text{g.g}^{-1}$); C_i : concentração inicial do adsorvato ($\mu\text{g.L}^{-1}$); C_f : concentração final do adsorvato ou concentração no equilíbrio ($\mu\text{g.L}^{-1}$); Q : vazão (L.h^{-1}); t : tempo no qual ocorreu o transpasse ou concentração de microcistina-LR aceitável; m : massa do material adsorvente (g); TU: taxa de uso do CAG.

Os dados obtidos durante o monitoramento do sistema experimental foram tratados com o auxílio de ferramentas estatísticas, tais como a estatística descritiva, com o auxílio do software Minitab 14 através de gráficos *Box Plot*. Para os parâmetros físicos e químicos, realizou-se comparação múltipla das médias através de análise de variância ANOVA.

RESULTADOS

A Tabela 1 mostra os resultados dos parâmetros analisados na água bruta (AB) e da água de estudo (AE). Para a realização dos ensaios foram realizadas duas coletas e foram produzidas quatro águas de estudo durante o trabalho.

Tabela 1: Caracterização da água bruta e da água de estudo.

Caracterização		Parâmetros									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Água Bruta (AB)		7,9	26,0	4,9	75	11	95,4	230,0	7,8	940	ND
		7,9	25,6	4,5	77	12	94,5	230,0	6,3	945	ND
Água de Estudo (AE)		7,9	25,7	6,0	109	26	96,3	230,0	18,4	1045	18,76
		7,9	26,0	5,7	109	26	95,3	235,0	19,2	1056	19,32
		8,0	26,2	5,9	115	26	96,8	230,0	19,3	1001	17,06
		8,2	25,8	5,8	115	26	95,0	235,0	15,2	989	18,92
Média	AB	7,9	25,8	4,7	76	11,5	95,0	230	7,1	942,5	-
	AE	8,0	26,0	5,8	112	26	95,8	232,5	18,0	1022	18,51

(1) pH; (2) temperatura ($^{\circ}\text{C}$); (3) turbidez (uT); (4) cor aparente (uH); (5) cor verdadeira (uH); (6) alcalinidade total ($\text{mgCaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$); (7) dureza total ($\text{mgCaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$); (8) clorofila-a ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$); (9) condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$); (10) concentração de microcistina-LR ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), (ND) não detectado pelo método.

Verifica-se na Tabela 1 que os valores monitorados da água bruta (AB) e da água de estudo (AE) foram homogêneos, os quais não apresentaram elevadas flutuações. Observa-se que na água bruta a concentração de microcistina-LR foi abaixo do limite de detecção do método. Para a água de estudo foi verificada média de concentração de microcistina-LR de $18,51 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$.

Na Figura 2, observa-se os gráficos *Box Plot* para pH, turbidez, ferro total e microcistina-LR na água de estudo (AE), na água afluyente e efluente aos filtros de areia (AFA = AFA1 + AFA2; EFA = EFA1 + EFA2) e nos efluentes das colunas de CAG (CC1 e CC2).

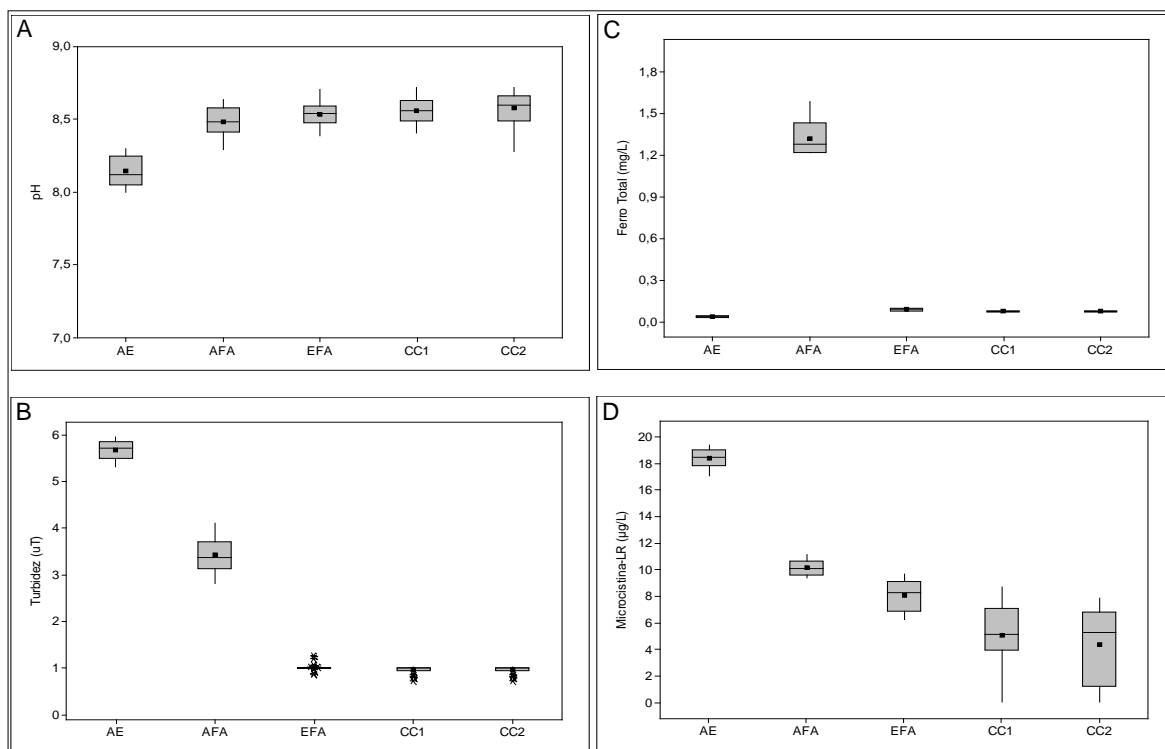


Figura 2: Box Plot para pH (A), turbidez (B), Ferro total (C) e microcistina-LR (D) na água de estudo (AE), na água afluente e efluente aos filtros de areia (AFA e EFA) e na água efluente as colunas de CAG (CC1 e CC2) após 96 horas de monitoramento.

Verifica-se na Figura 2A aumentos significativos de pH entre a água de estudo (AE) e água afluente aos filtros de areia (AFA) ($p=8,45 \times 10^{-7}$) ocorrido justamente devido a ajustes correspondentes ao pH de coagulação requerido e definido em etapa anterior. O pH se manteve estável durante todo o processo com valor médio igual a 8,6; não apresentou diferença significativa ($p \geq 0,05$).

Quanto a turbidez (Figura 2B) o valor médio na AE foi de 5,69 uT e se reduziu significativamente a uma média de 3,43 uT (AE→AFA: $p=8,77 \times 10^{-13}$) após a coagulação, floculação e sedimentação, equivalendo a um percentual de remoção de 40%. Após a filtração (EFA) a turbidez foi reduzida significativamente para um valor médio de 1,01 uT (AFA→EFA: $p=7,48 \times 10^{-40}$), apresentando percentual de remoção de 71%. Observa-se também que houve remoção de turbidez pouco considerável após as colunas de CAG, apresentando valores médios de 0,96 uT tanto para coluna CC1 como para a coluna CC2 com percentual de remoção de 5% (EFA→CC1: $p=0,007$; EFA→CC2: $p=0,005$). É importante ressaltar que os valores obtidos para turbidez na água efluente dos filtros de areia e das colunas de carvão ativado foram maiores que o valor exigido pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde que estabelece valor de turbidez $\leq 0,5$ uT.

Verifica-se na Figura 2C que o valor médio de ferro total da AE foi de $0,040 \text{ mg.L}^{-1}$. Observa-se que houve aumento significativo ($p=7,79 \times 10^{-08}$) do ferro total residual na água afluente aos filtros de areia. O valor médio de ferro residual observado na água afluente aos filtros de areia (após a coagulação, floculação e sedimentação) foi de $1,31 \text{ mg.L}^{-1}$, com aumento percentual de 97% (AE→AFA). Sequencialmente, o ferro total residual foi reduzido significativamente ($p=7,79 \times 10^{-07}$) para um valor médio de $0,09 \text{ mg.L}^{-1}$, apresentando percentual de remoção de 93% (AFA→EFA). Observou-se que após as colunas de CAG houve remoção de ferro total pouco considerável apresentando valores médios de $0,08 \text{ mg.L}^{-1}$ tanto para coluna CC1 como para a coluna CC2 com percentual de remoção de 11% (EFA→CC1: $p=0,025$; EFA→CC2: $p=0,025$). Observa-se que os valores obtidos para ferro total residual corresponderam ao valor exigido pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011).

Para microcistina-LR, observa-se na Figura 2D que na AE a concentração verificada foi de $18,4 \text{ µg.L}^{-1}$ e se reduziu a uma média de $10,14 \text{ µg.L}^{-1}$ após a coagulação, floculação e sedimentação, com percentual de remoção de 45% (AE→AFA). Após a filtração a concentração de microcistina-LR foi reduzida para um valor

médio de $8,07 \mu\text{g.L}^{-1}$ equivalendo a percentual de remoção de 20% (AFA→EFA), ficando claro as limitações da filtração em areia na remoção de microcistina-LR.

Observa-se na Figura 3 os gráficos de microcistina-LR/Remoção em função do tempo das duas colunas de CAG (CC1 e CC2). Na coluna com tempo de contato menor (CC1) o transpasse ocorreu após 2 horas de funcionamento do sistema. Após 4 horas a água efluente da coluna de CAG já apresentava concentração de microcistina-LR de $1,57 \mu\text{g.L}^{-1}$, superior ao Valor Máximo Permitido (VMP) de $1 \mu\text{g.L}^{-1}$, conforme Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011).

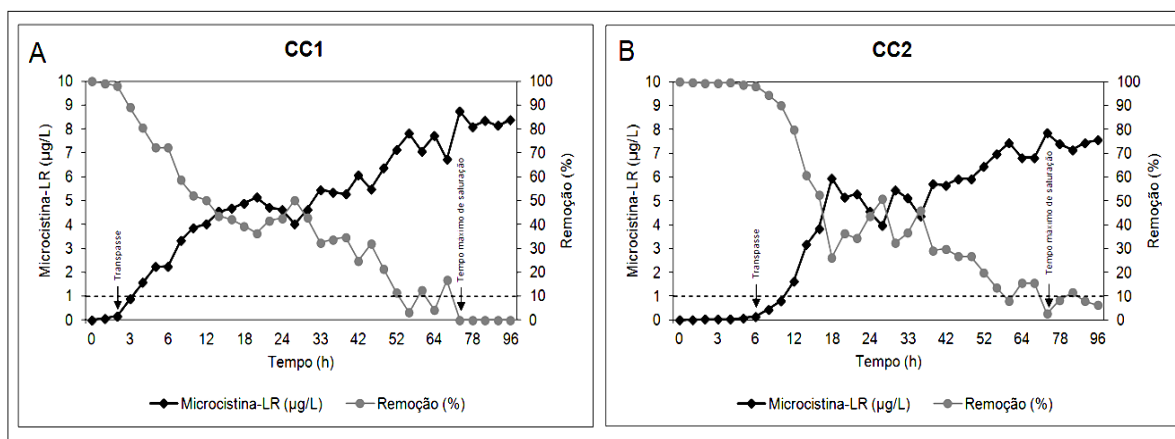


Figura 3: Concentração de microcistina-LR ($\mu\text{g.L}^{-1}$) e remoção (%) do efluente da coluna de menor tempo de contato (A) e maior tempo de contato (B) em função do tempo de coleta.

As maiores remoções ocorreram nas 2 primeiras horas de funcionamento do sistema com remoção entre 98 e 100%. Após 72 h de monitoramento não ocorreu remoção da toxina, ou seja, a concentração de microcistina-LR na água afluenta à coluna de CAG foi igual à concentração da água efluente. Das 72 às 96 h não houve adsorção da toxina pelo CAG.

Verifica-se na Figura 3B que na coluna com tempo de contato maior (CC2), o transpasse ocorreu após 6 h de funcionamento do sistema. Após 12 h a água efluente da coluna de CAG já apresentava concentração de microcistina-LR de $1,62 \mu\text{g.L}^{-1}$, superior ao VMP de $1 \mu\text{g.L}^{-1}$, conforme a Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde. As maiores remoções ocorreram nas 6 primeiras horas de funcionamento do sistema com percentuais de remoção entre 98 e 100%. Verifica-se percentuais de remoção de 2,6% para o tempo de 72 h de monitoramento, ou seja, a concentração da toxina na água afluenta à coluna de CAG foi próxima a concentração na água efluente. Das 72 às 96 h houve leves diminuições e aumentos nos valores de concentração de microcistina-LR após passar pela coluna de CAG, com tendência a não remoção para tempos superiores.

A razão entre a concentração de microcistina-LR e a massa do CAG (q_e) para as colunas de CAG pode ser obtida utilizando a Equação 1 e dados da altura da coluna de CAG (cm), massa do CAG (g), concentração média inicial de microcistina-LR ($\mu\text{g.L}^{-1}$), VMP ($\mu\text{g.L}^{-1}$), Tempo referente à concentração maior que o VMP (h), Vazão (L.h^{-1}) e Tempo de contato teórico (s). Conforme a Equação 1 e os parâmetros determinados, tem-se que para cada grama de carvão ativado da coluna CC1 é adsorvido $1,85 \mu\text{g}$ de microcistina-LR e para cada grama de carvão ativado da coluna CC2 é adsorvido $4,15 \mu\text{g}$ de microcistina-LR. A taxa de uso (TU) do carvão ativado granular para adsorver $8,07 \mu\text{g.L}^{-1}$ de microcistina-LR (concentração média afluenta a CC1 e CC2) na água com vazão de 2 L.h^{-1} pode ser obtida conforme a Equação 2.

$$CC1: qe1 = \frac{(8,07-1,0) \mu\text{g/L}}{30,5 \text{ g}} 2 \frac{\text{L}}{\text{h}} \times 4 \text{ h} \rightarrow qe1 = 1,85 \mu\text{g/g}$$

$$CC2: qe2 = \frac{(8,07-1,0) \mu\text{g/L}}{40,9 \text{ g}} 2 \frac{\text{L}}{\text{h}} \times 12 \text{ h} \rightarrow qe2 = 4,15 \mu\text{g/g}$$

$$CC1: TU1 = \frac{(8,07-1,0) \mu\text{g/L}}{1,85 \mu\text{g/g}} \rightarrow TU1 = 3,82 \text{ g/L}$$

$$CC2: TU2 = \frac{(8,07-1,0) \mu\text{g/L}}{4,15 \mu\text{g/g}} \rightarrow TU2 = 1,70 \text{ g/L}$$

Com relação ao tempo de contato teórico verifica-se que a taxa de uso (TU) diminui quando se utiliza coluna de CAG com tempo de contato teórico maior. Verificou-se que para um tempo de contato teórico de 41 s a TU foi de 3,82 g.L⁻¹ e para um tempo de contato teórico de 52 s a TU foi de 1,70 g.L⁻¹.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

No monitoramento do sistema durante as 96 h, verificou-se que na água efluente dos filtros de areia e das colunas de CAG o pH se manteve estável em 8,6; a turbidez foi reduzida para 1,01 uT e 0,96 uT, cor aparente para 3 uH e 1 uH e ferro total para 0,09 mg.L⁻¹ e 0,08 mg.L⁻¹; respectivamente.

Foi de fundamental importância o uso das colunas de CAG para a adsorção da microcistina-LR remanescente (8,07 µg.L⁻¹) a fim de atender ao Valor Máximo Permitido (VMP) estabelecido pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde de 1 µg.L⁻¹.

O transpasse na coluna de CAG de menor tempo de contato (CC1) ocorreu após 2 horas de funcionamento do sistema o que acabou refletindo em menor q_e (1,85 µg.g⁻¹) e maior TU (3,82 g.L⁻¹) quando comparada a coluna de CAG de maior tempo de contato (CC2), que ocorreu o transpasse após 6 horas de funcionamento do sistema, a qual apresentou melhor desempenho tanto em relação ao q_e (4,15 µg.g⁻¹) como em relação a TU (1,70 g.L⁻¹), garantindo efluente com concentração inferior ao valor exigido pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde por mais tempo e utilizando menor quantidade de CAG.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th. APHA, 2005.BRASIL, 2011.
2. BROOKE, S.; NEWCOMBE, G.; NICHOLSON, B.; KLASS, G. Decrease in toxicity of microcystins LA and LR in drinking water by ozonation. *Toxicon*, v. 48, p. 1054-1059, 2006.
3. BURITI, J. S., LOPES, W. S., VIEIRA, F. F., OLIVEIRA, S. N., CEBALLOS, B. S. O. Remoção de microcistina-LR de água utilizando coagulação com reagente de fenton, floculação e decantação. In: 27^o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2013, Goiânia-GO. Anais do 27^o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2013.
4. CHOW, C.W.K.; DRIKAS, M.; HOUSE, J.; BURCH, M. D.; VELZEBOER, R. M. A. The impact of conventional water treatment processes on cell of the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*. *Water Research*, v. 33, p. 3253-3262, 1999.
5. DE JULIO, M.; DE JULIO, T.S.; DI BERNARDO, L. Efeito sinérgico do Fe+2 e H2O2 na reação de fenton empregado no tratamento de águas de abastecimento contendo substâncias húmicas. *Engenharia Ambiental*, v. 6, p. 718-737, 2009.
6. JURCZAK, T.; TARCZYNSKAA, M.; IZYDORCZYKB, K.; MANKIEWICZB, J.; ZALEWSKIA, M.; MERILUOTOC J. Elimination of microcystins by water treatment processes-examples from Sulejow Reservoir, Poland. *Water Research*, v. 39, p. 2394-2406, 2005.

7. LINS, R. P. Estrutura dinâmica da comunidade fitoplanctônica em um reservatório eutrófico do trópico semiárido brasileiro. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). CTRN. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande/PB, 113p, 2011.
8. MACEDO, D. R. G. Microcistina na água e biomagnificação em peixes de reservatórios de abastecimento público do estado da Paraíba. Dissertação (Mestrado) Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba e Universidade Estadual da Paraíba, PRODEMA, Campina Grande/PB, 82 p. 2009.
9. SUN, F.; HAI-YAN P.; WEN-RONG, H.; CHUN-XIA, M.. The lysis of *Microcystis aeruginosa* in $AlCl_3$ coagulation and sedimentation processes. *Chemical Engineering Journal* p. 196–202, 2012.
10. WANG, H., HO, L., LEWIS, D. M., BROOKES, J. D., NEWCOMBE, G. Discriminating and assessing adsorption and biodegradation removal mechanisms during granular activated carbon filtration of microcystin toxins. *Water Research*, v. 18, p. 4262-4270, 2007.