

UMA REVISÃO SOBRE A EFICIÊNCIA DA FILTRAÇÃO DOMÉSTICA NA REMOÇÃO DE CÉLULAS DE *Microcystis aeruginosa* E DA TOXINA MC-LR PRESENTES EM ÁGUAS DESTINADAS AO ABASTECIMENTO PÚBLICO

Amanda da Silva Barbosa Cartaxo¹
Maria Virgínia Conceição Albuquerque²
Andreando Rodrigues de Sousa³
Wilton Silva Lopes⁴
Valderi Duarte Leite⁵

RESUMO

Atualmente, existem poucos estudos que abordem a eficiência da filtração doméstica no tratamento de cianobactérias e cianotoxinas, o que pode resultar em exposição aguda ou crônica a pessoas que ingerem água que foram submetidas apenas ao tratamento de filtração doméstica. Diante do exposto, o presente trabalho objetivou, através de um levantamento bibliográfico relatar a eficiência da filtração doméstica na remoção de células de *Microcystis aeruginosa* e da toxina MC-LR presentes em águas destinadas ao abastecimento público. A pesquisa foi realizada nas principais bases de dados nacionais e internacionais disponíveis na internet (ScienceDirect, Web of Science, SciELO, PubMed e Scopus) e contempla trabalhos acadêmicos e livros-texto especializados publicados nos últimos anos. Os resultados mostram que a filtração doméstica melhora a qualidade da água, apresentando alta taxa de remoção de células de *M. aeruginosa*, porém não é o suficiente, visto que a água destinada ao consumo humano deve estar isenta de microrganismos. A filtração doméstica, na maioria dos casos, mostrou-se com baixa eficiência de remoção de MC-LR. Para alcançar o nível de potabilidade e torná-la própria para consumo é necessário um tratamento posterior. Entre os disponíveis resultam interessantes, pelos resultados e custos operacionais, os Processos Oxidativos Avançados – POA, utilizando-se luz UV e peróxido de hidrogênio (POA (UV/H₂O₂), carbono ativado e ultrafiltração.

Palavras-chave: Filtração doméstica, Cianobactérias, Cianotoxinas, Tratamento de água.

INTRODUÇÃO

A poluição hídrica e a consequente eutrofização dos ecossistemas aquáticos são a causa principal do rápido crescimento do fitoplâncton (florações) com predominância de cianobactérias potencialmente toxigênicas (TUNDISI, 2008). Floresções de cianobactérias nos

¹ Doutoranda do Curso de Pós- Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, amandauepbio@hotmail.com;

² Doutoranda do Curso de Pós- Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, virginia.albuquerque@yahoo.com.br;

³ Graduando do Curso de Química Industrial. Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, andreandors@gmail.com;

⁴ Doutor. Universidade Estadual da Paraíba- UEPB, wiltonsilvalopes@gmail.com;

⁵ Professor Doutor. Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, mangabeiraleite@gmail.com.

mananciais utilizados para o abastecimento público representam um risco importante à saúde das populações servidas, devido à dificuldade de remoção das cianotoxinas pelo processo convencional de tratamento de água usado na maioria das ETAs do país (coagulação/decantação/filtração/cloração). Tal processo não permite a remoção de microcistinas até o valor máximo permitido exigido pela portaria de consolidação 05/2017, anexo XX do Ministério da Saúde, que determina um VMP de $1\mu\text{g.L}^{-1}$ para todas as variantes de microcistina, necessitando de etapas adicionais para sua remoção e/ou uso de tecnologias avançadas quando encontra-se dissolvidas na água (DI BERNARDO; DANTAS, 2010).

As cianotoxinas conhecidas apresentam três alvos principais nos animais e no homem: o fígado (hepatotoxinas), o sistema nervoso (neurotoxinas) e a pele (dermatotoxinas). Dentre as cianobactérias toxigênicas, *Microcystis aeruginosa* produtora de microcistina hepatóxica foi a primeira espécie dominante observada nos reservatórios do nordeste do Brasil. Em particular, cepas produtoras de microcistina-LR, uma das 90 variantes dessa toxina conhecidas até o presente (CORAL *et al.*, 2014).

Um fato alarmante é que mais de 35 milhões de brasileiros não possuem acesso a água tratada (SNIS, 2015) e devem utilizar águas de diversas origens e qualidades duvidosas. Nessas situações, as famílias devem dispor de alternativas simples e econômicas para melhorar a qualidade da água de beber. No Nordeste Brasileiro destaca-se o uso dos filtros domésticos de barro ou cerâmica, que possuem em seu interior velas porosas filtrantes que retiram total ou parcialmente a cor da água, as partículas em suspensão que causam cor, turbidez e microrganismos, entre outros componentes. Os filtros cerâmicos domésticos estão amplamente difundidos em numerosas comunidades rurais e até em áreas urbanas com água encanada, em algumas residências se costuma filtrar a água tratada para tirar o cloro residual livre ou porque não há garantias ou não acreditam na qualidade da água fornecida pelo sistema público (GUSMÃO, 2008).

Atualmente, existem poucos estudos que abordem a eficiência da filtração doméstica no tratamento de cianobactérias e cianotoxinas, o que pode resultar em exposição aguda ou crônica a pessoas que ingerem água que foram submetidas apenas ao tratamento de filtração doméstica. Por seu elevado grau de toxicidade a saúde humana a cianobactéria *Microcystis aeruginosa* e a toxina microcistina-LR serão os alvos desse estudo.

Diante do exposto, o presente trabalho objetivou, através de um levantamento bibliográfico relatar a eficiência da filtração doméstica na remoção de células de *Microcystis aeruginosa* e da toxina MC-LR presentes em águas destinadas ao abastecimento público.

METODOLOGIA

Trata-se de um estudo de revisão bibliográfica sobre a temática: Eficácia da filtração doméstica na remoção de células de *Microcystis aeruginosa* e da toxina MC-LR presentes em águas destinadas ao abastecimento público. A pesquisa foi realizada nas principais bases de dados nacionais e internacionais disponíveis na internet (ScienceDirect, Web of Science, SciELO, PubMed e Scopus) e contempla trabalhos acadêmicos e livros-texto especializados publicados nos últimos anos.

DESENVOLVIMENTO

Cianobactérias, cianotoxinas e suas implicações

As cianobactérias são microrganismos procariontes com metabolismo autotrófico fotossintético oxigênico, ou seja, com liberação de oxigênio molecular. Suas origens remontam a aproximadamente 2,8 a 3 bilhões de anos atrás, com evidências fósseis denominadas estromatólitos (MADIGAN et al., 2012). Desde as últimas décadas do século passado são alvo de numerosos estudos devido a graves problemas de saúde pública associados às suas florações com produção de cianotoxinas em corpos aquáticos destinados ao consumo humano (CORAL et al., 2014).

As florações de cianobactérias têm aumentando rapidamente nas últimas décadas nos mananciais ao redor do mundo sob efeito da eutrofização, consequência dos usos múltiplos desses reservatórios, das descargas de águas residuais não tratadas de uma população cada vez mais numerosa, assim como pelo escoamento de bacias hidrográficas ocupadas sem planejamento com criação de gado e agricultura e pelas mudanças climáticas como as secas prolongadas. Em seu conjunto, esses fatores deterioram a qualidade da água e impedem ou dificultam o uso ao qual foram destinadas (BURCH, 2008). Nos reservatórios destinados a fornecer água para consumo humano essas alterações significam grande risco à saúde pública, visto que nas florações de cianobactérias proliferam espécies produtoras de cianotoxinas que não são totalmente eliminadas através do sistema convencional de tratamento de água (DI BERNADO, DANTAS, 2005; LIBÂNIO, 2010).

As alterações das características da água dificultam seu tratamento nas ETAs devido excesso de células que colmatam rapidamente os filtros de areia além de requerer maiores consumos de reagentes na adequação do pH da água e para a coagulação (LAPOLLI et al.,

2010), além dos riscos associados à presença de cianotoxinas que não são eliminadas com esse sistema de tratamento e precisam de processos avançados para sua remoção (LIBÂNIO, 2010).

As cianotoxinas afetam os seres vivos e alteram as teias e cadeias alimentares, até atingirem os seres humanos (WEIRICH et al., 2014). São metabolitos secundários das cianobactérias que segundo seu efeito nas células alvos são classificadas em: dermatotóxicas, hepatotóxicas e neurotóxicas. Também podem ser agrupadas segundo sua origem e forma de dispersão no ambiente como endotoxinas e exotoxinas. As endotoxinas são liberadas para a água quando as células morrem ou entram em senescência. Sua composição é de polissacarídeos e lipídeos e são consideradas toxinas relativamente fracas. As exotoxinas são proteínas (polipeptídeos) específicas com elevada ação tóxica. Os dois tipos de toxinas podem ser fatais em doses elevadas (BERRY et al., 2017). Ainda não estão esclarecidas as causas que motivam sua biosíntese, mas sugere-se que seja para minimizar o efeito da herbivoria celular como acontece com os vegetais superiores. (GAGET et al., 2017).

As hepatotoxinas causam as intoxicações mais frequentes em seres humanos e apresentam uma ação mais lenta, podendo causar morte em um intervalo de horas a dias ou meses causando necrose do fígado e hemorragia hepática. As espécies identificadas como produtoras dessas hepatotoxinas são dos gêneros *Microcystis*, *Anabaena*, *Nodularia*, *Oscillatoria*, *Nostoc*, *Cylindrospermopsis*, *Planktotrix*, *Radiocystis*, *Arthrospira* (LI et al., 2009).

O gênero *Microcystis*, foi descrito por Kützing em 1833, é cosmopolita, colonial e abrange 25 espécies tipicamente planctônicas. As principais características morfológicas são colônias formadas por células arredondadas, arranjadas irregularmente em um fino envelope mucilaginoso, com divisão celular em três planos perpendiculares (KOMÁRER; HAUER, 2014). Linhagens de *Microcystis* tóxicas associadas a florações são frequentes em todo o mundo e as microcistinas são peptídeos tóxicos, mas também produzem cianopeptídeos como aeruginosinas, microgininas, anabaenopeptinas, cianopeptolinas, microviridinas e ciclamidas; ainda há dois casos na literatura que relatam a produção de neurotoxina em *Microcystis*: o primeiro refere-se à ocorrência da neurotoxina anatoxina-a e o segundo de uma linhagem de *M. aeruginosa* que sintetizava duas toxinas – a hepatotoxina [L-ser7] microcistina-RR e a neurotoxina saxitoxina (goniautoxinas 1, 2, 3 e 4) – (CORAL, 2014).

Em águas naturais e na ausência de luz, a microcistina pode persistir por meses e até anos. Em temperaturas elevadas (40°C) pode ocorrer degradação por hidrólise de até 90% em 10

semanas com pH ácido e em 12 semanas em pH alcalino (SANTOS et al., 2008). A toxicidade da microcistina muda de acordo com os dois L-aminoácidos variáveis podendo ser classificada em: alta (MC-LR, MC-LA, MC-YR), média (MC-WR), e fraca (MC-RR). A microcistina-LR além de ser mais comum nos reservatórios eutrofizados com florações de cianobactérias apresenta toxicidade elevada em relação às outras variantes (VASCONCELOS et al., 2011).

Filtração doméstica

No Brasil colonial, no final do século XVI, já se usava filtração doméstica para melhorar a qualidade da água de beber: era conhecido que nos conventos da cidade de Olinda/PE, os religiosos usavam um sistema de filtração formado por um recipiente com pedra-calcárea onde se colocava água trazida em jarros desde a fonte que após de filtrada era recebida em outro jarro ajustado abaixo do recipiente anterior, e essa água coletada estava pronta para consumo. Essa filtração melhorava a qualidade da água embora posteriormente foi verificado que não era suficiente para garantir completa eliminação de diversos contaminantes (MELLO, 1991).

No início do século XX, o Brasil ainda apresentava frequentes surtos e epidemias de doenças infecciosas, com suas cidades e população crescendo com insuficiência de serviços de água tratada e encanada. Faltava um equipamento que pudesse, nas residências, filtrar água de modo eficiente produzindo água de boa qualidade para consumo. Alguns registros citam que com a chegada dos imigrantes italianos e portugueses no começo do século, os filtros antigos foram aperfeiçoados, por eles trazerem na bagagem filtros e velas para água que já existiam na Europa. Eram peças rudimentares de metal ou de pedra e as velas de pedras porosas. As primeiras velas tinham forma de disco e construídas em cerâmica porosa, colada com breu e cera. Passaram-se décadas até se desenvolver as velas atuais que apresentam, por fora, uma camada de cerâmica porosa e por dentro uma porção de carvão ativado e uma camada de prata coloidal, produto bactericida usado para otimizar a purificação da água (BELLINGIERI, 2017).

O filtro de água de cerâmica atual é o conjunto de dois recipientes equipado com vela filtrante e onde a filtração ocorre por gravidade. O recipiente superior contém a vela e nele se coloca a água a ser tratada, que a passa através da vela e goteja do recipiente superior para o inferior, onde fica armazenada para o consumo. O elemento filtrante utilizado, a vela de cerâmica constitui-se de uma peça de forma cilíndrica de 18 cm de altura, oca, com paredes

filtrantes em material cerâmico poroso. Em geral é denominada de vela simples ou vela tradicional (GUSMÃO, 2008).

A vantagem desse modelo de filtro de cerâmica é que não necessita de instalação hidráulica nem elétrica e que mantém a água sempre fresca porque a parede do recipiente é porosa, permitindo que moléculas mais quentes de água de dentro do filtro passem para o lado externo e ao evaporar resfriam, ocorrendo troca calor de dentro e fora do filtro, esfriando a água (DIAS, 2008).

Na fabricação das velas usam-se diversos componentes, sendo quatro os principais: para formação da massa: quartzo, caulim, diatomita e vidro (vidro moído ou sucata de vidro). O elemento filtrante pode ser fabricado com vários materiais, desde cerâmicas até polímeros de alta tecnologia. Podem-se utilizar outros materiais cerâmicos, até o barro, mas suas características não apresentam a mesma eficiência da vela cerâmica tradicional (DIAS, 2008).

A fabricação do elemento filtrante resulta em uma cerâmica com poros pequenos, na ordem de micrometros (μm). As velas cerâmicas têm poros com tamanhos médios de 0,8 e 4,0 μm , sendo denominadas velas cerâmicas microporosas. Considerando que os tamanhos médios dos microrganismos mais comuns em águas poluídas variam entre 1 a 8 μm , as velas cerâmicas são capazes de reter fisicamente parcela significativa de bactérias, cistos, oocistos e trofozoítos de protozoários e ovos de helmintos (GUSMÃO, 2008).

Atualmente o INMETRO certifica os filtros de cerâmica/argila de gravidade para melhoria da água (representados principalmente por filtros de argila e jarras com elemento filtrante) exercendo o controle da qualidade dos equipamentos e de suas velas dando garantias para seu uso e da qualidade da água filtrada. Essa certificação tem por base a norma NBR15176:2004, específica aos aparelhos por gravidade (ABRAFIPA, 2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos últimos anos poucas pesquisas abordaram a eficiência da filtração doméstica para remoção de *M. aeruginosa* e MC-LR. No entanto, alguns estudos considerados importantes serão aqui discutidos.

Pawlowicz et al., (2006) comparou a eficiência de filtros domésticos na remoção de MC-LR. Ao utilizar água deionizada acrescida da toxina semipurificada, os resultados mostraram que a eficiência dos filtros domésticos na remoção MC-LR, variaram consideravelmente com o tipo de elemento filtrante utilizado. Os filtros que possuíam papel e

caulim como elementos filtrantes, foram ineficientes para remoção de MC-LR. Os filtros de carbono ativado na composição do elemento filtrante, apresentaram melhores resultados, no entanto, apenas o filtro com carbono ativado e porosidade de 0.5 μm foi eficiente na remoção de MC-LR, permitindo passar pelo filtro apenas 0,5 $\mu\text{g/L}^{-1}$.

Utilizando água bruta do Reservatório Saulo Maia, localizado no município de Areia/PB, Barbosa et al., (2017) analisaram a eficiência de dois tipos de filtros domésticos na remoção de *M. aeruginosa* e MC-LR. O filtro 1 (F1) composto de elemento filtrante de caulim e parede microporosa e o filtro 2 (F2) com elemento filtrante composto de caulim, parede microporosa, prata coloidal e carbono ativado. Os resultados podem ser visualizados na Tabela abaixo:

Tabela 1 – Resumo dos resultados obtidos.

Parâmetro	AB	F1	F2
Análise quantitativa das células de <i>M. aeruginosa</i> (numero de células. ml^{-1})	7.225	3.335	1.995
Quantificação MC- LR ($\mu\text{g/L}$)	2,8	1,6	0,93

Em relação a análise quantitativa de *M. aeruginosa*, a filtração em F1 removeu cerca de 50% das células, enquanto F2 apresentou melhores resultados, com remoções de 73%. Essa maior remoção em F2 pode estar relacionada com o menor tamanho dos poros (0.5 μm) dos elementos filtrantes que possuem maior eficiência de retenção de células e ainda, a prata coloidal na composição do elemento filtrante, que possui ação bactericida. Apesar das altas taxas de remoções de células de *M. aeruginosa* pelo processo de filtração, a água para consumo humano não deve conter microrganismos, entre eles cianobactérias, indicando a necessidade de um tratamento complementar à filtração que atue na desinfecção e eliminação desses microrganismos.

Com relação à eliminação de MC-LR, apenas os efluentes de F2 apresentaram valores abaixo de $1\mu\text{g.L}^{-1}$, se mostrando eficiente para remoção dessa cianotoxina. Já os outros parâmetros analisados, todos atenderam a portaria de consolidação 05/2017, anexo XX do Ministério da Saúde.

Barbosa (2018) utilizou água bruta acrescida de extrato bruto de *M. aeruginosa* na água de estudo, a mesma foi submetida a filtração doméstica em dois filtros diferentes. No filtro 1 o elemento filtrante foi do tipo tradicional (caulim e parede microporosa) e o filtro 2 o elemento filtrante foi de tripla ação (caulim, parede microporosa, carbono ativado e prata

coloidal) Os resultados mostraram que após filtração no Filtro 1 foi removido 46% das células de *M. aeruginosa*, já no Filtro 2 apresentou melhores resultados, com remoção de 68%, fato associado a composição do elemento filtrante. Com relação a MC-LR, ambos os filtros apresentaram baixa taxa de remoção dessa cianotoxina, indicando a necessidade de um tratamento de água complementar que promova a ausência de células de cianobactérias e cianotoxinas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A filtração doméstica apresenta-se como uma tecnologia, simples e de baixo custo para o tratamento de água, utilizada principalmente por populações que não dispõem de água potável, no entanto mesmo apresentando alta taxa de remoção de células de *M. aeruginosa* produzindo águas filtradas de melhor qualidade, ainda é insatisfatória para este parâmetro, visto que a água deve-se estar isenta de microrganismos. A filtração doméstica, na maioria dos casos, mostrou-se com baixa eficiência de remoção de MC-LR. Para alcançar o nível de potabilidade e torná-la própria para consumo é necessário um tratamento posterior. Entre os disponíveis resultam interessantes, pelos resultados e custos operacionais, os Processos Oxidativos Avançados – POA, utilizando-se luz UV e peróxido de hidrogênio (POA (UV/H₂O₂)), carbono ativado e ultrafiltração.

REFERÊNCIAS

ABRAFIPA- Associação brasileira das empresas de filtros, purificadores, bebedouros e equipamentos para tratamento de água. 2006. Disponível em: <<http://www.abrafipa.org.br/certificacoes.asp>>. Acesso em: 16 set 2017.

BARBOSA. A.S. Remoção de *Microcystis aeruginosa* e microcistina-LR de águas superficiais com uso de filtro doméstico seguido de processo oxidativo avançado (UV/H₂O₂) . Dissertação. Universidade Estadual da Paraíba. 2018.

BARBOSA. A.S.; CEBALLOS. B.S.O.; ALBUQUERQUE. M.V.C.; SÁTIRO. J.R.; RAMOS. A.P.B. Eficiência do filtro caseiro de barro na remoção de células de *Microcystis aeruginosa* e de microcistina-LR de águas destinadas ao consumo humano. 48º Congresso Nacional de Saneamento da Assemæ. 2017.

BELLINGIERI. Filtro de barro, invenção brasileira, é um dos melhores do mundo. **Globo Repórter**, 2017. Disponível em: < <http://g1.globo.com/globo-reporter/noticia/2017/06/filtro-de-barro-invencao-brasileira-e-um-dos-melhores-do-mundo.html>>. Acesso em: 05 set. 2017.

BRASIL, MINISTÉRIO DA SAÚDE, Portaria de Consolidação nº 05/2017. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: Diário Oficial da União, 2017.

BURCH, M. D. Effective doses, guidelines and regulations. In: HUDNELL, H. K. (Ed.). Cyanobacterial harmful algal blooms: state of the science and research needs. New York: Springer Science, 2008.

CORAL, L.A.; LAPOLLI, F.R.; RECIO, L.A.M. Cianobactérias em Mananciais de Abastecimento – Problemática e Métodos de Remoção. DAE. 2014.

DI BERNARDO. L; MINILLO, A.; DANTAS. A.D.B. Florações de algas e cianobactérias: suas influências na qualidade da água e nas tecnologias de tratamento, São Carlos: LDIBE. 2010.

DIAS, T. A tradição e o frescor da cerâmica. Revista e portal meio filtrante, ano VI, edição n. 30, Janeiro/Fevereiro 2008.

GUSMÃO, P.T.R. Manual de Orientações: Filtro Doméstico. Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2008.

INGRAN, C. The Drinking Water Book: How to Eliminate Harmful Toxins from Your Water. Copyright. California. 2006.

LAPOLLI, F.R.; CORAL, L.A.; RECIO, M.A.L. Cianobactérias em mananciais de abastecimento – problemática e métodos de remoção. Revista Dae, São Paulo, n. 185, p.09-17, jan. 2011.

LI, L.; GAO, NAI-YUN; DENG, Y.; YAO, JUAN-JUAN; ZHANG, KE-JIA; LI, HAI-JUN; YIN, DI-DI; OU, HUA-SE; GUO, JIAN-WEI. Experimental and model comparisons of H₂O₂ assisted UV photodegradation of Microcystin-LR in simulated drinking water. Journal of Zhejiang University. SCIENCE, v.10, p.1660-1669, 2009.

LIBÂNIO, M. Fundamentos de qualidade e tratamento da água. Campinas: Átomo, 3ed. 2010.

MADIGAN, M.T.; MARTINKO, J.M.; STAHL, D.; CLARK, D.P. Microbiology Brock. 13.ed. Pearson Education, 2012.

MELLO, V. P. Historia do Saneamento de Pernambuco. Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), 1991.

PAWLOWICZ, M.B.; EVANS, J.E.; JOHNSON, D.R.; BROOKS.R.G. A study of the efficacy of various home filtration substrates in the removal of microcystin-LR from drinking water. Journal of Water and Health. January. 2006.

SANTOS, A.P.M.E.; BRACARENSE, A.P.F.R.L. Hepatotoxicidade associada à microcistina. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v.29, n.2, p.417-430, 2008.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. “Perdas de Água: Desafios ao Avanço do Saneamento Básico e à Escassez Hídrica. Brasil. 2015.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, M. T. Limnologia, Oficina de Textos, São Paulo. 2008.

VASCONCELOS, J.F.; BARBOSA, J.E.L.; DINIZ, C.R.; CEBALLOS, B.S.O. Cianobactérias em reservatórios do Estado da Paraíba: ocorrência, toxicidade e fatores reguladores. Boletim da Sociedade Brasileira de Limnologia, n.2, v.39, p.1-20, 2011.

WEIRICH, C.A.; MILLER, T.R. Freshwater Harmful Algal Blooms: Toxins and Children's Health. *Current Problems in Pediatric and Adolescent Health Care*, v.44, p.2-24, 2014.