

## ANÁLISE DE TÉCNICAS PARA REMOÇÃO DE CIANOBACTÉRIAS E CIANOTOXINAS EM ÁGUAS DE ABASTECIMENTO

**Adelvando Santana Rodrigues<sup>1</sup>**

Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental. UFRB. E-mail: [alldo17@hotmail.com](mailto:alldo17@hotmail.com)

**Felipe Paiva Silva de Oliveira<sup>2</sup>**

Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental. UFRB. E-mail: [paiva\\_net@hotmail.com](mailto:paiva_net@hotmail.com)

**Luana Faria Silveira<sup>3</sup>**

Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental. UFRB. E-mail: [luu\\_silveira@hotmail.com](mailto:luu_silveira@hotmail.com)

**Thais Mary Pinto da Silva<sup>4</sup>**

Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental. UFRB. E-mail: [thays-mary@hotmail.com](mailto:thays-mary@hotmail.com)

### RESUMO

As cianobactérias estão entre os organismos pioneiros do planeta Terra. Elas desenvolveram uma capacidade fotossintética eficiente e desempenhou um papel significativo na evolução da atmosfera primitiva. Desde a sua origem, as cianobactérias iniciaram uma floração massiva de biodiversidade de organismos aeróbios, e causou a quase extinção de organismos intolerantes a oxigênio. Elas proliferam-se facilmente em ambientes aquáticos, principalmente devido às atividades humanas, onde afetam a qualidade da água, mas também produzem altas demandas de gás oxigênio essencial, fixam o dióxido de carbono e nitrogênio e também produzem metabólitos altamente tóxicos. Este trabalho tem como objetivo analisar algumas técnicas para remoção de cianobactérias e cianotoxinas a fim de demonstrar qual técnica de remoção é mais apropriada para as estações de tratamento brasileiras, além de expor alguns casos e experiências de florações de cianobactérias ocorridos. A metodologia utilizada foi a Pesquisa Exploratória. No Brasil, diversos estudos têm sido produzidos nos últimos anos para identificar técnicas de remoção de cianobactérias e cianotoxinas como a utilização de lavagem contínua, a ozonização e o uso de carvão ativado pulverizado-CAP. Assim, o uso do CAP e a prevenção nos mananciais de captação são as melhores maneiras para se minimizar os riscos à saúde e os custos.

**PALAVRAS-CHAVE:** cianobactérias, cianotoxinas, técnicas de remoção.

### INTRODUÇÃO

Nos sistemas aquáticos, existe uma comunidade formadora de uma verdadeira floresta. Ela é constituída por inúmeros microrganismos como algas e cianobactérias. As algas são seres que produzem a energia necessária ao seu metabolismo através da fotossíntese utilizando as organelas chamadas de cloroplastos. São eucariontes, pois possuem uma verdadeira membrana nuclear, e podem ser unicelulares ou pluricelulares. Em relação às cianobactérias sua classificação ainda gera divergência entre os autores, pois alguns as consideram como algas azuis (cianofíceas) quando, na verdade, são organismos que apresentam características, tanto de algas como de bactérias. Elas são unicelulares, por não possuírem nenhuma membrana de compartimentalização de DNA e outras organelas. Além disso, são consideradas microrganismos procarióticos, autótrofos (por possuírem a capacidade de produzir seu próprio alimento por meio de fotossíntese), apresentando variadas colorações a depender dos pigmentos fotossintéticos dispersos em seu citoplasma.

As cianobactérias promovem o aumento na produção de matéria orgânica nos corpos hídricos que é proveniente do consumo de luz, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> e compostos inorgânicos. Com esse aumento, há a crescente propagação de microrganismos decompositores na água, que consomem o OD (oxigênio dissolvido), favorecendo uma maior proliferação de cianobactérias e a mortandade de outras formas de vida aquática. Florações de cianobactérias vem sendo reportadas em todo o mundo nas últimas décadas. Tal acontecimento é potencializado principalmente pelas diversas atividades antrópicas como a agricultura, a industrialização e o processo de urbanização que degradam a qualidade dos corpos d'água. A inserção de nutrientes como nitrogênio e fósforo acelera o processo de eutrofização dos corpos hídricos, pois torna propício o desenvolvimento progressivo não só de plantas aquáticas, mas também de cianobactérias. A essa maior densidade desses seres nos corpos hídricos e a saúde humana, está associada diversos problemas como, por exemplo, a conferência de sabor, cor e odor à água, a morte excessiva de peixes e doenças hepáticas, entre outras. Essas florações podem gerar o aumento no custo do tratamento da água de abastecimento, inviabilizar a utilização dos corpos hídricos e implicações relacionadas à saúde pública (FUNASA, 2003).

As Cianobactérias liberam toxinas que são produtos naturais tóxicos conhecidos como cianotoxinas, sendo que, ainda não há esclarecimentos sobre o motivo da produção dessas toxinas. Acredita-se que as cianotoxinas são produzidas e

liberadas como mecanismo de defesa contra a herbivoria (forma de alimentação dos herbívoros que consiste na ingestão de células e/ou tecidos vegetais ou de organismos fitoplanctônicos). As cianotoxinas são incluídas em três grupos dependendo de suas estruturas químicas: os peptídeos cíclicos, os alcalóides e os lipopolissacarídeos. Algumas toxinas possuem ação rápida, sendo letal aos mamíferos após pouco tempo de exposição (ex alcalóides ou organofosforados neurotóxicos). Já outras possuem uma ação mais lenta, o que propicia a busca de cuidados médicos com mais eficácia (ex: peptídeos ou alcalóides hepatotóxicos). Os gêneros que se destacam potencialmente mais nocivos do Brasil, são: *Microcystis*, *Anabaena*, *Cylindrospermopsis*, *Oscillatoria*, *Planktothrix* e *Aphanocapsa*. As principais e mais ameaçadoras toxinas produzidas por esses gêneros de cianobactérias são Microcistinas, Nodularinas, Anatoxinas, Cilindrospermopsinas e Saxitoxinas. As cianotoxinas são divididas em três classes de acordo com sua ação farmacológica, são elas: dermatotoxinas, neurotoxinas, hepatotoxinas (FUNASA, 2003).

Existe, atualmente, deficiência na avaliação da exposição humana às cianotoxinas através do consumo de água. No sistema de abastecimento, para se evitar a exposição humana às toxinas é necessário que se atente para o método de captação, as técnicas de remoção e o controle operacional do sistema, com o intuito de minimizar custos com a saúde pública (FUNASA, 2003).

## OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo analisar algumas técnicas para remoção de cianobactérias e cianotoxinas a fim de demonstrar qual técnica de remoção é mais apropriada para as estações de tratamento brasileiras, além de expor alguns casos e experiências de florações de cianobactérias ocorridos e suas consequências.

## METODOLOGIA OU MÉTODOS UTILIZADOS

A metodologia utilizada foi a Pesquisa Exploratória, que envolve levantamento bibliográfico e análise de exemplos que estimulem a compreensão. Essa pesquisa visa proporcionar maior familiaridade com o problema e as soluções, com vistas a torna-los explícito. Entretanto, foram coletados dados sobre estudos realizados referentes a técnicas utilizadas para remoção de cianobactérias e cianotoxinas em águas de abastecimento. Com isso, foi possível definir qual o mais eficiente para estações de tratamento brasileiras.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 1. Inibição do crescimento de cianobactérias e técnicas utilizadas para remoção de cianobactérias e cianotoxinas

#### 1.1. Ações para inibir o crescimento de cianobactérias

O excesso de nutrientes, principalmente provenientes de atividades humanas, é a principal causa das florações de organismos como cianobactérias e conseqüentemente a eutrofização do corpo hídrico. O controle do crescimento desses organismos deve partir do gerenciamento e do monitoramento da bacia hidrográfica, identificando os múltiplos usos e as fontes geradoras desses nutrientes. Desta forma, é perceptível a necessidade de haver um conjunto de medidas para o controle e preservação do manancial de forma abrangente, possibilitando a realização de intervenções em situações de crise no manancial.

As ações que devem ser realizadas no âmbito de inibição da floração das cianobactérias devem ser as de minimização da quantidade de nutrientes que chegam ao rio, para tal, é indispensável a realização do tratamento das águas residuárias (domésticas e/ou industriais) antes de seu lançamento, evitar o desmatamento e a erosão do solo e conseqüentemente o escoamento superficial de nutrientes e advertir os produtores rurais e pecuaristas dos perigos do uso inadequado e excessivo de fertilizantes e incentivá-los a exercerem suas atividades de forma sustentável. Quando o corpo hídrico já apresenta floração de algas e cianobactérias pode-se realizar medidas corretivas a fim de facilitar o tratamento da água para abastecimento humano.

#### 1.2. Técnicas de Remoção de cianobactérias e cianotoxinas

Quando não se pode evitar a entrada de cianobactérias na estação de tratamento de água, é função do tratamento químico remover a biomassa de cianobactérias e a possível fração de cianotoxinas dissolvidas, sem promover a lise celular e a liberação de novos metabólitos tóxicos.

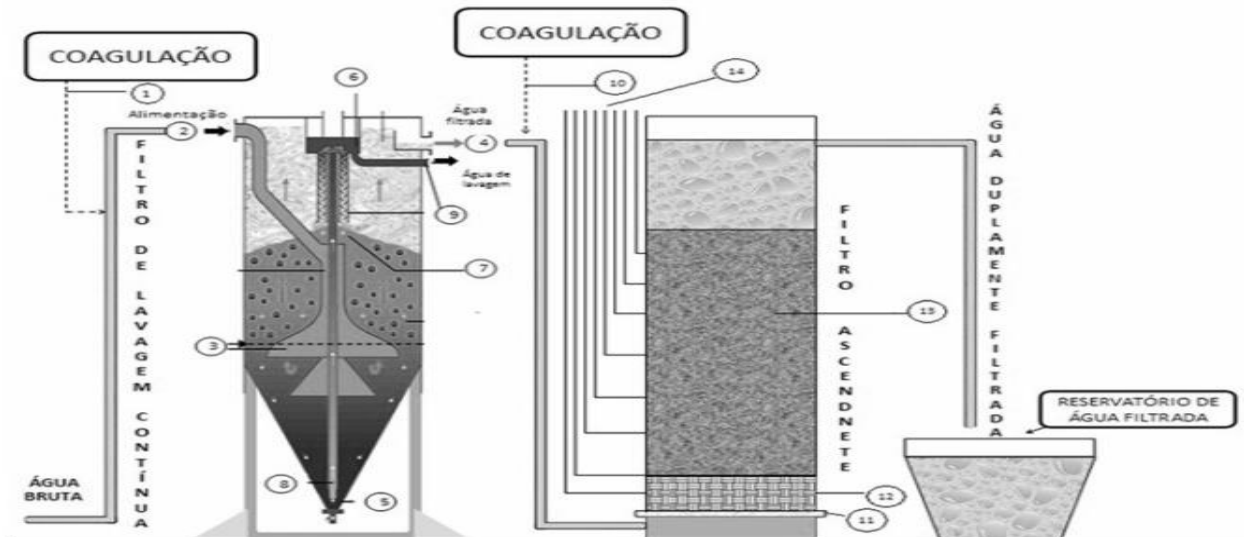
No Brasil, a maioria das estações de tratamento de água realizam apenas tratamento convencional, e este tipo de tratamento não é capaz de remover as cianotoxinas que podem estar presentes na água, podendo causar graves danos à saúde.

Desta forma, diversos pesquisadores vêm tentando encontrar o método de tratamento mais adequado para águas que apresentem cianobactérias nas estações de tratamento, observando as conseqüências destes tratamentos quanto à liberação das cianotoxinas.

**1.2.1. Remoção de cianobactérias e cianotoxinas utilizando filtração de lavagem contínua**

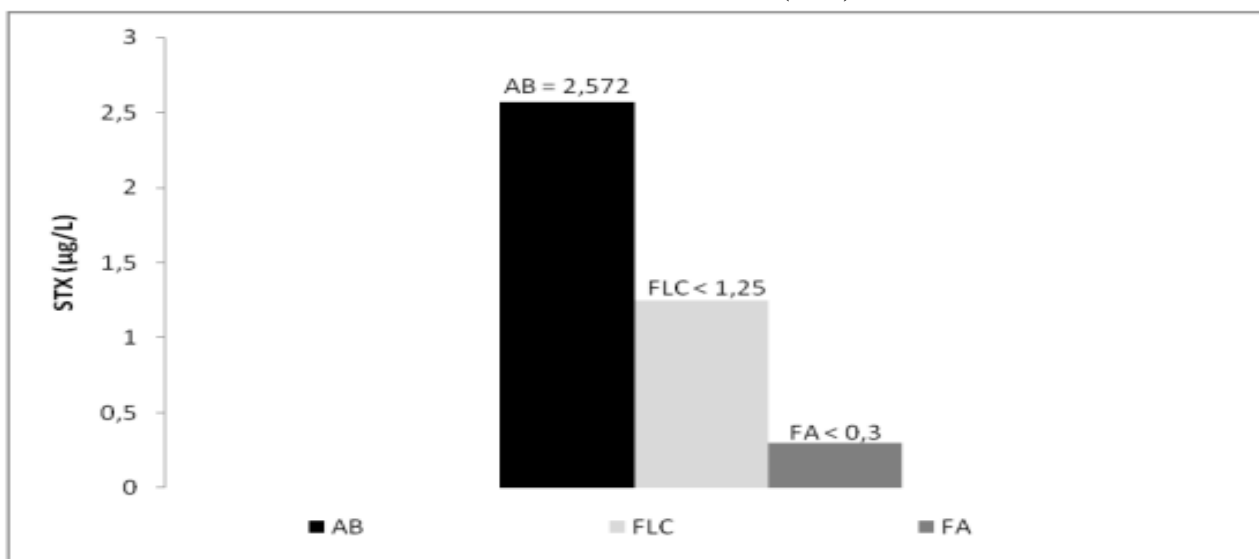
Machado e Sens (2012) estudaram a remoção de cianobactérias e cianotoxinas utilizando filtração de lavagem contínua. Para tal desenvolveram um piloto de uma estação tratamento, instalado junto a uma estação de tratamento de água em escala real. Foram utilizados dois filtros, sendo o primeiro de lavagem contínua e o segundo ascendente convencional. A água bruta, antes de passar pelo sistema de dupla filtração, era submetida à coagulação através de sulfato de alumínio, sendo coagulada antes de cada filtro, ou seja, recebia dupla coagulação.

**Figura 1. Esquema da instalação piloto de dupla filtração ascendente (filtração de lavagem contínua e convencional). Fonte: Machado e Sens (2012).**



Por fim, consideraram o sistema de tratamento estudado eficiente, removendo respectivamente 92% e 96% de clorofila-a e cianobactérias; contudo, houve ainda transpasse da ordem de  $4 \times 10^4$  cel/mL. Para esse sistema foi analisado a saxitoxina total e essa apresentou baixa concentração na água tratada, na ordem de 0,3 µg/L (considerando que o valor máximo permitido pela portaria MS 2914/2011 que estabelece que deve ser realizado o monitoramento de cianobactérias no ponto de captação do manancial superficial, a fim de minimizar os riscos de contaminação da água para consumo humano com cianotoxinas é de 3,0 µg/L). O tratamento não provocou a lise celular e observou-se redução na concentração de cianotoxinas, tendo em vista que houve remoção de células de cianobactérias.

**Figura 2. Concentração de saxitoxinas na água bruta e após a dupla filtração. Fonte: Machado e Sens (2012).**

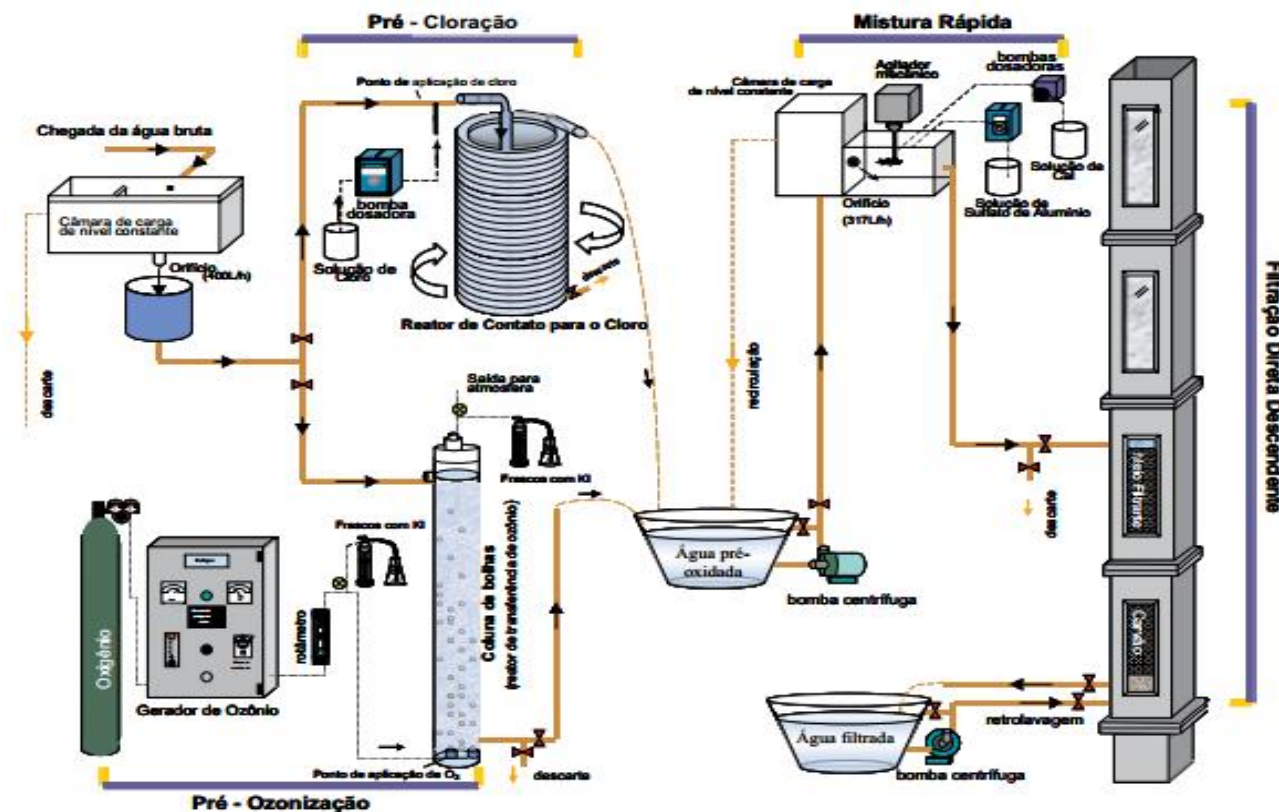


AB= Água Bruta; FLC= Filtração de Lavagem Contínua; FA= Filtração Ascendente.

### 1.2.2. Pré tratamento com cloro e ozônio para remoção de cianobactérias

Buscando investigar o desempenho do pré-tratamento com cloro e ozônio para remoção de cianobactérias Mondardo, Sens e Melo Filho (2006) criaram um sistema piloto alimentado por gravidade com água bruta da Lagoa do Peri, situada na estação de tratamento de água da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN). Inicialmente, a água bruta era direcionada para uma câmara de carga de nível constante, dotada de um orifício calibrado de modo a fornecer uma vazão de 400 L/h para as unidades de pré-oxidação. Na unidade de pré-cloração, foram aplicadas diferentes dosagens de cloro, com um tempo de contato de aproximadamente 5 minutos. Na unidade de pré-ozonização, igualmente, foram adicionadas diferentes dosagens de ozônio. A água pré-oxidada (ou por pré-cloração ou por pré-ozonização) seguia para a unidade de mistura onde as soluções de sulfato de alumínio (2%) e óxido de cálcio (0,2%) foram aplicadas. Após receber a adição de coagulante, a água passava por um filtro de fluxo descendente.

Figura 3. Esquema geral do Sistema Piloto de Tratamento. Fonte: Mondardo, Sens e Filho (2006).

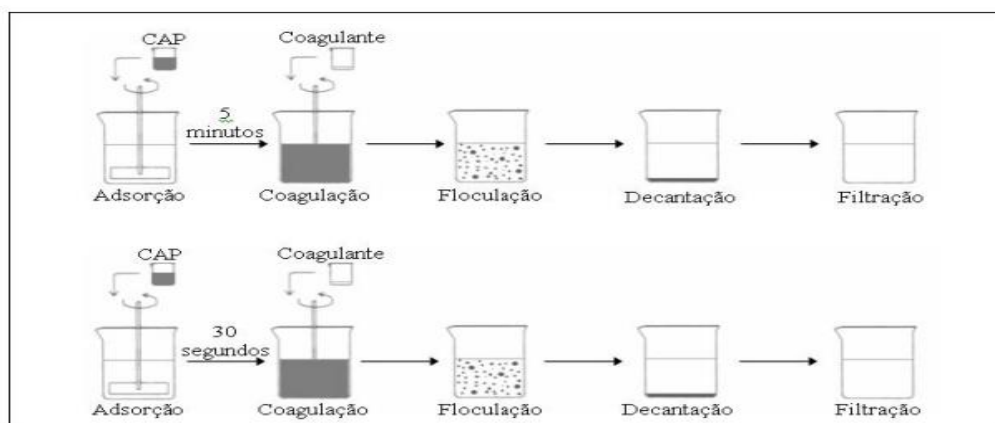


De acordo com os autores, os ensaios, em escala piloto, realizados com a pré-ozonização, apresentaram melhores resultados quando comparados aos realizados com a pré-cloração. Em relação aos trihalometanos, por exemplo, a aplicação da pré-ozonização com 2 mgO<sub>3</sub>/L reduziu em até 50% a formação desses compostos quando comparado ao emprego da pré-cloração. O emprego da ozonização demonstrou ser uma excelente alternativa para o pré-tratamento de água com elevada concentração de microalgas e cianobactérias que utiliza a técnica da filtração direta como processo de potabilização.

### 1.2.3. Avaliação da utilização de carvão ativado em pó na remoção de microcistina em água para abastecimento público

A eficiência do carvão ativado pulverizado (CAP) para a remoção de microcistina em água para abastecimento público foi analisada por Müller (2008). A autora estudou alguns tipos de CAP, originários de materiais como madeira, osso, antracito e coco, concluindo que o CAP proveniente da madeira foi o mais eficiente quanto à remoção de microcistina. Foi avaliado o melhor ponto para a aplicação do CAP, aplicando-o na entrada da água bruta e antes da aplicação do coagulante.

Figura 4. Tratamento convencional incluindo a etapa de adsorção em dois pontos diferentes da sequência de tratamento. Fonte: Müller (2008).



Verificou-se que a aplicação na entrada da água bruta foi mais eficiente, proporcionando um maior tempo de contato entre o CAP e a microcistina, possibilitando a remoção da mesma a valores abaixo do máximo permitido pela Portaria MS 2914/2011 que é de  $1\mu\text{g/L}$ , havendo uma redução de cerca de 99% da concentração inicial da toxina.

**Figura 5. Resultados dos residuais de microcistina dos ensaios de adsorção utilizando o coagulante sulfato de alumínio e os CAPs de madeira provenientes de indústrias distintas. Fonte: Müller (2008).**

	MAD1				MAD2			
	TEMPO 1	R	TEMPO 2	R	TEMPO 1	R	TEMPO 2	R
	Média ± DP	(%)	Média ± DP	(%)	Média ± DP	(%)	Média ± DP	(%)
D1	8,3 ± 0,277	91	26,3 ± 8,170	71	9,6 ± 2,16	89	6,0 ± 2,52	93
D2	3,5 ± 2,181	96	12,8 ± 0,542	86	6,3 ± 4,82	93	4,2 ± 0,10	95
D3	0,6 ± 0,082	99	7,7 ± 1,131	91	0,8 ± 0,03	99	3,2 ± 0,07	96

Média ± DP = média ± desvio padrão; R = remoção de microcistina  
MAD1 → D1 =  $130\text{ mg.L}^{-1}$ ; D2 =  $160\text{ mg.L}^{-1}$ ; D3 =  $190\text{ mg.L}^{-1}$   
MAD2 → D1 =  $160\text{ mg.L}^{-1}$ ; D2 =  $190\text{ mg.L}^{-1}$ ; D3 =  $220\text{ mg.L}^{-1}$

A partir destes estudos, é possível notar que a questão da remoção de cianobactérias e cianotoxinas é complexa. Os processos e seqüências de tratamento, quando se referem à remoção de microalgas, cianobactérias e cianotoxinas, devem ser avaliados sob a perspectiva de remoção das células viáveis, do impacto sobre a integridade das células e da remoção dos subprodutos extracelulares dissolvidos, incluindo as toxinas, tornando-se clara a necessidade de melhoria nos projetos e na operação de estações de tratamento de água, e concomitantemente, verifica-se o papel essencial das ações preventivas para evitar a ocorrência de florações de cianobactérias tóxicas (FUNASA, 2003).

A partir dos estudos analisados, acredita-se que a técnica de remoção mais apropriada para as estações de tratamento brasileiras é a adoção da etapa de adsorção com carvão ativado em pó antes do tratamento convencional, pois seria a técnica de maior facilidade de implantação imediata em substituição ao uso de algicidas, tornando assim o tratamento convencional eficiente quanto à remoção de cianobactérias e cianotoxinas.

Entretanto, a prevenção nos mananciais de captação é a melhor maneira para se minimizar os riscos e os custos causados por esses microrganismos.

## 2. Casos e experiências de florações de cianobactérias

Casos de florações de cianobactérias foram constatados em diversos lugares do mundo nas últimas décadas. Codd *et al.* (2005) na publicação "A global network for cyanobacterial bloom and toxin risk management" da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) fazem uma avaliação da situação do mundo quanto a ocorrência de cianobactérias e seus agravantes para a saúde humana. Neste documento destaca-se o continente africano, trazendo relatos da ocorrência de florações em diversos países como na África do Sul com a predominância de *Microcystis*. Para este país não foi reportado nenhuma morte com humanos, mas há uma grande preocupação quanto a esses organismos devido a uma grande porcentagem da população ser portadora do vírus HIV.

No Brasil, um dos casos mais trágicos devido a intoxicações por toxinas provenientes de cianobactérias ocorreu em uma unidade de hemodiálise no município de Caruaru-PE em 1996, vitimando 54 dos 123 pacientes somente nos cinco primeiros meses após as intoxicações por Microcistina LR. Segundo Câmara Neto (2011), foi encontrado na coluna de carvão ativado do Instituto de Nefrologia e Urologia de Caruaru uma quantidade de Microcistinas LR da ordem de  $44.310.000\mu\text{g}$ , no período em que a clínica era abastecida por caminhões-pipas pelo fato do local estar em uma cota

desprivilegiada, já que a água não chegava com pressão suficiente ao ramal de abastecimento ao qual mesma se encontrava. Segundo o mesmo, a quantidade dessa toxina neste caso, foi mais de dez vezes maior que o suficiente para uma dose letal para uma pessoa de 70kg.

Assim, o fornecimento de água não tratada, já que a água dos caminhões-pipa era retirada diretamente dos decantadores de uma das Estações de Tratamento de Água; a distribuição precária; a falta do controle e monitoramento da qualidade da água bruta e tratada; e a operação e manutenção falhas das estações de tratamento de água são fatores preponderantes para a ocorrência de casos como esses citados acima.

Após esse incidente em Caruaru, o monitoramento de florações de cianobactérias passou a ser essencial para a prevenção de problemas relacionados a cianobactérias tóxicas.

## CONCLUSÃO

Com relação à cianobactérias, uma das grandes preocupações é quanto a liberação de toxinas por esses microrganismos. A falta de tratamento ou o tratamento inadequado da água são um dos agravantes para a contaminação por toxinas, pois muitos deles promovem a lise celular e consequentemente a liberação dessas substâncias. O uso de sulfato de cobre para o controle dessas florações esteve associado a doenças gastrointestinais e hepáticas devido a liberação das cianotoxinas em países como Estados Unidos e Austrália, por exemplo. No Brasil, vários estudos foram elaborados nos últimos anos a fim de estabelecer métodos de remoção dessas toxinas. A utilização de lavagem contínua, a ozonização e o uso de carvão ativado pulverizado são exemplos de métodos que apresentaram eficiência quanto a remoção de células de cianobactérias e de cianotoxinas.

Tudo isso demonstra que os efeitos negativos das cianobactérias não são exclusivos das regiões ou nações menos desenvolvidas. Entretanto, o mau gerenciamento da bacia hidrográfica nessas localidades, evidenciado pela falta de saneamento básico, por exemplo, torna esses problemas uma realidade frequente nesses locais. Em países como África do Sul, a preocupação com as cianobactérias potencialmente tóxicas é ainda maior, devido à grande vulnerabilidade de uma parcela considerável da população que é portadora do vírus HIV.

No Brasil, a morte de vários pacientes de uma clínica de hemodiálise em Caruaru-PE ocasionada pelo abastecimento de água contaminada com a toxina Microcistina LR, foi um dos acontecimentos negativos que alertaram quanto a importância de uma legislação que defina padrões para esses organismos na água.

Consequentemente, a opção pela prevenção é a que minimiza os riscos e os custos causados por esses microrganismos. O gerenciamento correto da bacia hidrográfica – impedindo a depleção da vegetação e o maior aporte de nutrientes – e o monitoramento são dois fatores essenciais para que o risco de contaminação da água por toxinas seja minimizado. Além disso, o incentivo às pesquisas quanto a remoção dessas substâncias, a possível utilização dos métodos propostos nesses trabalhos, adequados a realidade de cada região e a detecção de cianobactérias, são outros fatores que contribuirão para assegurar os usos múltiplos da água, principalmente nas regiões onde se tem condições favoráveis às florações, escassez hídrica e população vulnerável.

## REFERÊNCIAS

- BRASIL. **Cianobactérias tóxicas na água para consumo humano na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde: Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), 2003.
- CÂMARA NETO, H. F. A “tragédia da hemodiálise” 12 anos depois: poderia ela ser evitada? 2011. 171 p. Tese de doutorado em Saúde Pública – Fundação Oswaldo Cruz, Recife. Disponível em: <<http://www.cpqam.fiocruz.br/bibpdf/2011camaraneto-hf.pdf>>. Acesso em: 06 março 2016.
- CODD, G.A. et al. **Cyanonet: a global network for cyanobacterial bloom and toxin risk management**. UNESCO, Paris, 2005. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001425/142557e.pdf>>. Acesso em: 05 março 2016.
- MACHADO, B. C.; SENS, M. L. Remoção de cianobactérias e cianotoxinas utilizando filtração de lavagem contínua. **Revista Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal**, v. 9, n. 2, p. 205-215, abr./jun. 2012. Disponível em: [ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=695](http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=695). Acesso em: 03 março 2016.
- MONDARDO, R. I.; SENS, M. L.; MELO FILHO, L. C de. Pré-tratamento com cloro e ozônio para remoção de cianobactérias. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.11, n. 4, p. 337-342, out/dez. 2006. Disponível em: [www.scielo.br/scielo.php?pid=S141341522006000400006&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S141341522006000400006&script=sci_abstract&tlng=pt). Acesso em: 29 fev. 2016.
- MÜLLER, C. C. **Avaliação da utilização de carvão ativado em pó na remoção de microcistina em água para abastecimento público**. 2008. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: [www.lume.ufrgs.br/handle/10183/13615](http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/13615). Acesso em: 29 fev. 2016.