



## **Efeitos de cianobactérias tóxicas em ambientes aquáticos**

*Effects of toxic cyanobacteria in aquatic environments*

*Efectos de cianobacterias tóxicas en ambientes acuáticos*

**Jeferson Maiko de Almeida**

Engenheiro civil, Ilha Solteira, Brasil.  
jemaiko@hotmail.com

**Juliana Heloisa Pinê Américo-Pinheiro**

Professora Doutora, Universidade Brasil (UNIVBRASIL), Brasil.  
americo.ju@gmail.com



## RESUMO

Os rejeitos de matéria orgânica provenientes de atividades humanas em ambientes aquáticos comprometem a qualidade da água. Os nutrientes acumulados na água induzem ao fenômeno conhecido como eutrofização. Devido a essas condições, as florações de cianobactérias surgem causando impacto ambiental, econômico e social. O odor e sabor desagradável, juntamente com a liberação de toxinas no meio aquático ocasionado pela decomposição destas florações, são problemas que geram várias consequências aos seres humanos, animais e comunidades aquáticas. Sendo assim, o presente artigo expõe o problema bem como, apresenta técnicas de remoção das cianobactérias do meio aquático por meio de uma revisão bibliográfica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cianotoxinas. Eutrofização. Toxicologia. Remoção.

## ABSTRACT

The rejects of organic substances from human activities in aquatic environments compromise water quality. The nutrients accumulated in water induce the phenomenon known as eutrophication. Due to these conditions, the increase of cyanobacteria arise causing environmental, economic and social impact. The odor and unpleasant taste, along with the release of toxins in the aquatic environment caused by the decomposition of these organisms, are problems that generate several consequences for humans, animals and aquatic communities. Therefore, the present article exposes the problem, as well the techniques for the removal of the cyanobacteria from the aquatic environment through a bibliographic review.

**KEYWORDS:** Cyanotoxins. Eutrophication. Toxicology. Removal.

## RESUMEN

Los rechazos de materia orgánica provenientes de actividades humanas en ambientes acuáticos comprometen la calidad del agua. Los nutrientes acumulados en el agua inducen al fenómeno conocido como eutrofización. Debido a estas condiciones, las floraciones de cianobacterias surgen causando impacto ambiental, económico y social. El olor y sabor desagradable, junto con la liberación de toxinas en el medio acuático ocasionado por la descomposición de estas floraciones, son problemas que generan varias consecuencias a los seres humanos, animales y comunidades acuáticas. Por lo tanto, el presente artículo expone el problema así como, presenta técnicas de remoción de las cianobacterias del medio acuático a través de una revisión bibliográfica.

**PALABRAS CLAVE:** Cianotoxinas. La eutrofización. Toxicología. Remoción.

## 1 INTRODUÇÃO

Devido as necessidades das atividades humanas os recursos hídricos são muito utilizados, seja para o abastecimento público, irrigação, uso industrial, navegação entre outros. Essas atividades variam de acordo com a região e população da bacia de drenagem, porém essas atividades geram impactos negativos na qualidade da água, além de modificar a quantidade de água disponível (BARBOSA, 2009).

A contaminação dos recursos hídricos responsáveis pelo abastecimento público provenientes de rejeitos das atividades humanas é de grande risco a saúde humana, regiões de alta concentração urbana ou áreas rurais são os maiores contribuintes, devido as condições inadequadas de saneamento e suprimento de água (FUNASA, 2003).

Outra consequência dos impactos antrópicos nos ecossistemas aquáticos, é a ocorrência de processo de eutrofização acelerado, causando um enriquecimento artificial desses ecossistemas pelo aumento das concentrações de nutrientes na água, principalmente compostos nitrogenados e fosfatados, que resulta num aumento dos processos naturais da produção biológica em rios, lagos e reservatórios. As principais fontes desse enriquecimento têm sido identificadas como sendo as descargas de esgotos domésticos e industriais dos centros urbanos e das regiões cultiváveis (BARBOSA, 2009).

A eutrofização artificial produz mudanças na qualidade da água incluindo a redução de oxigênio dissolvido, da biodiversidade aquática, a perda das qualidades cênicas, a morte extensiva de peixes e o aumento da incidência de florações de microalgas e cianobactérias. Essas florações podem provocar o aumento no custo do tratamento da água de abastecimento e consequências relacionadas à saúde pública, podendo gerar danos ao fígado, sistema nervoso e epiderme. (AZEVEDO; BRANDÃO, 2003).

A grande preocupação com o aumento da ocorrência de florações de cianobactérias em mananciais de abastecimento de água, é a capacidade que esses microrganismos têm de produzir e liberar para o meio líquido toxinas (cianotoxinas) que podem afetar a saúde humana. Essa contaminação pode ocorrer pela ingestão acidental da água, como por contato em atividades de recreação, ou ainda pelo consumo de peixes contaminados. No entanto, a principal via de intoxicação é por meio do consumo oral da água de abastecimento público, que não recebe um tratamento adequado para remoção dessas toxinas. (BARBOSA, 2009).

As cianotoxinas formam um grupo de substâncias químicas bastante diverso, e são caracterizadas de acordo com os diferentes efeitos tóxicos que causam em organismos vertebrados. Algumas cianotoxinas são neurotóxicas e bastante potentes (anatoxina-a, anatoxina-a (s), saxitoxinas), outras são principalmente tóxicas ao fígado (microcistinas, nodularina e cilindrospermopsina) e outras ainda podem ser irritantes ao contato, consideradas como endotoxinas pirogênicas, como as produzidas por bactérias Gram negativas (FUNASA, 2003).

As cianobactérias predominam sobre os outros grupos fitoplanctônicos (microalgas), por causa das suas características fisiológicas que fazem assimilar melhor os nutrientes (N e P) do meio aquático. De maneira geral, as cianobactérias são menos eficientes na assimilação desses



nutrientes do que as microalgas (algas verdes ou diatomáceas, por exemplo), que, em condições normais, crescem mais e melhor. Entretanto, ao produzir uma descarga excessiva de nutrientes nos reservatórios, o homem propicia uma maior oferta desses nutrientes, facilitando a assimilação dos mesmos e o crescimento das cianobactérias. (BARBOSA, 2009).

O crescimento intenso desses micro-organismos na superfície da água geralmente se dá com predomínio de poucas ou mesmo de apenas uma espécie de cianobactéria produtora de toxina, que inibem a sua predação por microcrustáceos, larvas de peixes, moluscos, etc. (FUNASA, 2003).

O controle das cianobactérias em mananciais de abastecimento é importante devido ao seu potencial tóxico. A Portaria nº 518 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004), relativa às Normas de Qualidade para Água de Consumo Humano (Potabilidade), estabelece que os responsáveis por estações de tratamento de água para abastecimento público devem realizar monitoramento de cianobactérias e controle de cianotoxinas nos mananciais. Também a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) contempla o monitoramento destes organismos.

Para evitar alto grau de contaminação dos mananciais, métodos devem ser aplicados para que não se tenha proliferação desses microrganismos tóxicos, e para garantir a potabilidade da água para consumo. Sendo que a qualidade de água é um fator limitante para o desenvolvimento social e econômico do país, verifica-se que várias lacunas precisam ser preenchidas para que possamos garantir, de forma segura e confiável, a qualidade da água em nossos mananciais e nos sistemas de abastecimento público. Uma das principais lacunas é a disseminação das informações disponíveis sobre os diferentes aspectos envolvidos, com as causas e consequências da ocorrência de cianobactérias em mananciais de abastecimento. (BARBOSA, 2009).

## **2 CIANOBACTÉRIAS**

Cianobactérias são microrganismos aeróbicos fotoautotróficos, procariontes, pertencem predominantemente a comunidades fitoplanctônicas e estruturalmente se assemelham as bactérias, podendo ser unicelulares, coloniais e filamentosas. Quando as cianobactérias estão agrupadas em colônias, muitas vezes, há uma capa mucilaginosa, gelatinosa, envolvendo e protegendo a colônia. Ocorrem nos mais diversos tipos de ambientes, como terrestre, água doce, salobra ou marinha, fontes termais, neve e solos úmidos, associados simbioticamente a outros organismos (líquens, pteridófitos, gimnospermas, briófitas e protozoários) auxiliando na fixação de nitrogênio. Algumas espécies podem apresentar mais de um tipo de pigmento, isto explica a existência de cianobactérias das mais variadas cores. (MACEDO; MOLINA, 2008).

As cianobactérias apresentam uma grande diversidade de formas devido às adaptações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas adquiridas ao longo do tempo. Acredita-se que a sua origem é de 3,5 bilhões de anos, sendo provavelmente os primeiros produtores primários de matéria orgânica a liberarem oxigênio elementar na atmosfera primitiva (CARMICHAEL, 1994). Porém a primeira referência de casos de intoxicação encontrada na literatura é um relato de 1878, na Austrália, sobre um envenenamento de animais devido à presença de cianobactéria



do tipo *Nodularia spumigena* nos mananciais de abastecimento (KARNER et al., 2001). A capacidade de crescimento nos mais diferentes meios é uma das características importantes das cianobactérias. No entanto, ambientes de água doce são os mais favoráveis para o seu crescimento, visto que a maioria das espécies apresenta um melhor crescimento em águas, com valores de pH na faixa de 6 a 9, temperatura entre 15 a 30° C, ventos fracos e moderados e alta concentração de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo. Seus processos vitais requerem somente água, dióxido de carbono, substâncias inorgânicas e luz, obtendo energia, principalmente, por meio da fotossíntese. (FUNASA, 2003).

As florações ou “blooms” formam uma densa camada de células com vários centímetros de profundidade na superfície dos corpos d’água (FUNASA, 2003). Esta capacidade de flutuação é proporcionada devido à presença de uma estrutura celular chamada aerótopo ou vesícula de gás, que permite a esses organismos a movimentação ao longo da coluna d’água absorvendo a quantidade de luz ideal para a realização da fotossíntese. Sua reprodução é assexuada, ocorrendo por divisão binária, semelhante à das bactérias, nos tipos não coloniais. Já nas formas filamentosas, ocorre por fragmentação ou por hormogonia, caracterizada pela quebra dos filamentos em vários pontos, originando fragmentos pequenos chamados hormogônios, que por meio da divisão de suas células dão origem a novas colônias filamentosas. Em condições ambientais desfavoráveis, algumas cianobactérias podem formar esporos adaptativos chamados acinetos, que permite que a bactéria fique inerte até que melhore suas chances de sobrevivência (MACEDO; MOLINA, 2008).

### 3 CIANOTOXINAS

Existem diversos gêneros e espécies de cianobactérias que formam florações e produzem toxinas, conhecidas como Cianotoxinas. Considerando as propriedades toxicológicas em mamíferos, as cianotoxinas podem ser classificadas em neurotóxicas (anatoxina-a, saxitoxina), hepatotóxicas (microcistina, nodularina, cilindrospermopsina) ou irritantes ao contato. Nos mamíferos o efeito das toxinas depende do seu modo de ação, podendo ocasionar efeitos agudos, como irritação da pele, gastroenterites, e até parada respiratória, ou crônicos, como a formação de tumores devido a ingestão contínua de água contaminada com microcistinas. (PANOSSO et. al., 2007).

A existência de cianobactérias começa a se transformar em um problema para todos que utilizam reservatório de água, principalmente no Brasil, onde a liberação de cianotoxinas pode ser intensificada pelo fato de que, a maioria dos reservatórios para abastecimento público apresenta as características necessárias para o crescimento intenso de cianobactérias durante o ano todo. Em todo mundo está se tornando cada vez mais frequente a ocorrência de florações toxigênicas que apresentam os grupos comuns de cianotoxinas (FUNASA, 2003).

De acordo com Sant’Anna e Azevedo (2000), já foi registrada a ocorrência de pelo menos 20 espécies de cianobactérias potencialmente tóxicas, incluídas em 14 gêneros, em diferentes ambientes aquáticos brasileiros. De acordo com esses autores, a espécie *Microcystis aeruginosa* apresenta a distribuição mais ampla no Brasil e *Anabaena* é o gênero com o maior



número de espécies potencialmente tóxicas, que são, *A. circinalis*, *A. flosaquae*, *A. planctonica*, *A. solitaria* e *A. spiroides*.

#### **4 CONSEQUÊNCIAS ECOLÓGICAS DA OCORRÊNCIA DE CIANOBACTÉRIAS TÓXICAS**

As cianobactérias que produzem toxinas, as mantem guardadas durante a maior parte da sua vida, libertando-as apenas quando ocorre a lise celular, consequência da ingestão pelo zooplâncton ou peixes, do processo de tratamento de água para consumo ou pela morte natural da célula. Os resultados das florescências de cianobactérias são: formação de tapetes na superfície da água, dificultando a entrada de luz e oxigênio na interface ar/água; alteração da viscosidade do meio; diminuição da zona eufótica; alteração do odor e do sabor da água; e situações de anóxia, gerada pela morte massiva das cianobactérias (BARBOSA, 2009).

As cianotoxinas são também bioacumuláveis podendo ser bioamplificadas ao longo da cadeia alimentar. Em trabalhos laboratoriais efetuados com moluscos e lagostins, verificou-se a acumulação de microcistinas e nodularinas, depois de os animais receberem como alimento linhagens tóxicas de cianobactérias. O fato das cianotoxinas serem acumuladas nestes organismos sem lhes provocarem efeitos letais, torna-os transportadores de toxinas para os níveis tróficos superiores, incluindo o homem. As cianobactérias também são responsáveis por alterações nas populações de peixes, com diversos registros de morte massiva em resposta ao aparecimento de florescências. Na maior parte das vezes, é difícil saber qual a razão da morte desses peixes, se é resultado da intoxicação por cianotoxinas ou amônia, ou morte por asfixia (SAKER et al., 2004).

Portanto, podemos observar que as cianotoxinas podem afetar várias atividades econômicas que enfocam criação e desenvolvimento de animais aquáticos, como a piscicultura, criação de camarão, entre outras, além de impedir alimentação de várias famílias ribeirinhas que possuem o pescado como fonte de subsistência.

#### **5 CONSEQUÊNCIAS DA OCORRÊNCIA DE CIANOBACTÉRIAS TÓXICAS PARA A SAÚDE HUMANA**

As cianotoxinas acarretam problemas a saúde humana, os quais estão evidenciados em estudos epidemiológicos e toxicológicos. Pode-se observar o modo de ação de forma aguda ou crônica, variando com o grau e o tempo de exposição. De todas as cianotoxinas, apenas os polipeptídeos cíclicos parecem exercer efeitos crônicos, proporcionando o crescimento de tumores hepáticos e outros. Os seus efeitos agudos incluem morte por hemorragia e insuficiência hepática (KUIPER-GOODMAN et al., 1999).

As intoxicações por cianobactérias podem ocorrer pelo consumo de água de reservatório com a presença de florações, por meio de atividades de recreação em mananciais comprometidos ou pelo consumo de animais contaminados com toxinas.

No primeiro caso, o consumo pela população de água contaminada com cianotoxinas pode ser consequência de falta de conhecimento, consumo acidental ou má operação da estação de



tratamento (OLIVEIRA, 2005). Caso não haja sistemas de prevenção e detecção de cianotoxinas, as águas contaminadas podem levar a uma exposição prolongada das populações consumidoras que poderão sofrer efeitos crônicos como é o caso do tumor hepático (KUIPER-GOODMAN et al., 1999). Já a recreação é um perigo que requer políticas de gerenciamento de lagos e rios para advertir e prevenir as pessoas. A prática de esportes náuticos em que há contato direto com a água em locais comprometidos pela presença de cianobactérias é considerada como exposição de alto risco devendo, portanto, ser evitada para não se tornar susceptível a irritações alérgicas na pele e nos olhos, a necrose dos tecidos, asma, entre outros efeitos (YOO et al., 1995). De acordo com García et al. (2004), já há casos comprovados de morte pela ingestão de alimentos contaminados com elevada concentração de toxinas.

O primeiro caso confirmado de mortes humanas causadas por cianotoxinas ocorreu no início de 1996, quando 130 pacientes renais crônicos, após terem sido submetidos a sessões de hemodiálise em uma clínica da cidade de Caruaru (PE), passaram a apresentar distúrbios da visão, náusea e vômitos, hepatomegalia com dores fortes e enfraquecimento muscular. Desses pacientes, 60 vieram a falecer até 10 meses após o início dos sintomas (FUNASA, 2003).

As análises confirmaram a presença de microcistinas e cilindrospermopsina, no carvão ativado utilizado no sistema de purificação de água da clínica, e de microcistinas em amostras de sangue e fígado dos pacientes intoxicados. Além disso, as contagens das amostras do fitoplâncton do reservatório que abastecia a cidade demonstraram uma dominância de gêneros de cianobactérias comumente relacionados com a produção de cianotoxinas como *Microcystis*, *Anabaena* e *Cylindrospermopsis*.

Em esfera global, há relatos clínicos de danos para a população humana pelo consumo oral de toxinas de cianobactérias em águas de abastecimento. Esses danos acontecem como consequência de acidentes, desconhecimento ou deficiência na operação dos sistemas de tratamento da água. Como resultado, esses relatos são parcialmente estimados e as circunstâncias originais são frequentemente de difícil definição.

Em grande parte dos casos, as cianobactérias causadoras dos danos desaparecem do reservatório antes que as autoridades de saúde pública considerem uma floração como o possível risco, pois são geralmente desconhecedoras dos danos possíveis resultantes da ocorrência de florações de cianobactérias e, portanto, assumem que os processos de tratamento da água usuais são capazes de remover qualquer problema potencial. Entretanto, várias toxinas de cianobactérias, quando em solução, são dificilmente removidas por um processo convencional de tratamento, sendo inclusive resistentes à fervura. Em regiões cultiváveis, ou áreas com alta densidade populacional, ocorre muitas vezes o aparecimento de florações de cianobactérias em reservatórios de abastecimento público e, usualmente, as autoridades de meio ambiente tentam controlar as florações com aplicação de sulfato de cobre ou outros algicidas. Porém, este método provoca a lise desses organismos, liberando as toxinas presentes nas células para a água bruta do manancial. Tais ações podem causar exposições agudas às toxinas (BARBOSA, 2009).

Além disso, há evidências que populações abastecidas por reservatórios que apresentam extensas florações podem estar expostas a baixos níveis de toxinas por longo período

(LAMBERT et al., 1994). Essa exposição prolongada deve ser considerada como um sério risco à saúde uma vez que as microcistinas, que são o tipo mais comum de toxinas de cianobactérias, são potentes promotoras de tumores e, portanto, o consumo continuado de pequenas doses de hepatotoxinas pode levar a uma maior incidência de câncer hepático na população exposta.

## **6 REMOÇÃO DE CIANOBACTÉRIAS E CIANOTOXINAS NOS PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA**

A presença de cianobactérias na água bruta que chega às estações de tratamento pode ocasionar problemas em várias etapas do processo, tais como: dificuldade de coagulação e floculação, baixa eficiência do processo de sedimentação, aumento da necessidade de produtos na desinfecção entre outros. Devido a este problema há uma redução na eficiência dos processos de tratamento e o surgimento de problemas na água tratada, como sabor e odor desagradável. Contudo a ausência de odor e sabor não implica na ausência de cianobactérias e conseqüentemente cianotoxinas (FALCONER et al., 1999).

Corrosão de unidades do sistema de abastecimento pode ser resultado de processos ocasionados por algas e cianobactérias, que dão origem a bactérias que contribuem e atacam alguns materiais constituintes dos tanques de reservação e das tubulações de água. As medidas corretivas de controle de cianobactérias e toxinas na água de abastecimento envolvem dois tipos de intervenção. Primeiro no ponto de captação e segundo, a remoção desses organismos e compostos do sistema de tratamento de água (BARBOSA, 2009).

Quanto a captação pode-se alocar os pontos de captação longe de zonas protegidas e de baixa circulação. A profundidade da retirada da água pode evitar a captação em pontos de máxima densidade de células de cianobactérias. (FUNASA, 2003).

Já os processos de tratamentos devem analisar a capacidade de remover as células viáveis e de não promover a lise dessas células, bem como pela capacidade de remover a fração dissolvida de cianotoxinas.

### **6.1 Remoção de algas e cianobactérias por tratamento que envolve coagulação química, filtração, flotação e sedimentação**

Estudos mostram que a eficiência de remoção de microalgas por filtração direta era inferior a eficiência da remoção obtida por meio de processos que envolvem a sedimentação antes da filtração rápida, ainda se verificou que o aumento da dosagem de coagulante não altera de forma significativa a remoção de microalgas, mas gera efeitos benéficos na remoção por filtração direta. De acordo com Benhardt e classen (1991) a remoção de bactérias e microalgas por coagulação, floculação e filtração independe da natureza orgânica e inorgânica de cada um desses grupos.

Em virtude da grande variabilidade de formas de células, vários autores sugerem que mais investigações devem ser feitas para verificar a influência das estruturas das células na coagulação e filtração (FUNASA, 2003).



A filtração rápida é usada como um polimento para remover os flocos de impurezas que não foram retirados nas fases de clarificação. Quando a filtração não é precedida pelas etapas de sedimentação ou flotação, é denominada de filtração direta. Esse tratamento é limitado a águas com concentrações de cianobactérias e turbidez moderadas. Para ampliar a aplicabilidade dessa tecnologia, pré-tratamentos geralmente são necessários. Os pré-tratamentos mais comuns são: cloração, ozonização e flotação. Outro problema, em relação à filtração, é quando há longas carreiras de filtração, pois, caso células de cianobactérias tóxicas fiquem retidas no meio filtrante, a morte e a lise das mesmas podem levar à liberação de toxinas (HRUDEY et al., 1999). O conhecimento científico existente até o momento sugere que, embora o tratamento convencional consiga remover adequadamente as células viáveis de cianobactérias, o mesmo é ineficiente na remoção de toxinas dissolvidas.

As unidades de sedimentação conseguem remover partículas com densidade maior que a da água, ou seja, maior que 1,0, devido a essa densidade, essas partículas ficam depositadas no fundo do decantador após algum tempo de estagnação. Depois do processo de decantação a água da superfície é retirada, restando apenas às partículas mais densas no fundo do tanque. Quando se trata de águas contendo elevadas concentrações de cianobactérias, no geral, a sedimentação não proporciona uma remoção satisfatória das mesmas devido à baixa densidade desses organismos. Porém, se além das cianobactérias, houver também altas concentrações de matéria particulada, a junção desses dois componentes tende a permitir a formação de flocos com características adequadas para promover a sedimentação (JANSSENS; BUENKENS, 1993). Outro ponto importante a ser observado, diz respeito às estações de tratamento em que o sobrenadante do lodo é recirculado para a entrada da ETA ou é lançado diretamente no curso d'água. Para tal situação, se torna indispensável o controle desse material de reciclo, pois o mesmo pode conter toxinas em concentrações elevadas. Esse controle adotado para o material de reciclo também deve ser empregado para o lodo quando na sua disposição final, para que assim se evite problemas de ordem ambiental, econômica e sanitária (BARBOSA, 2009).

A flotação por ar dissolvido (FAD) é um processo que vem sendo difundido, principalmente em novas estações, quando se trata de águas eutrofizadas. Este método é diferente do tratamento convencional, pelo fato de a floculação ser seguida pela introdução de ar saturado na água. Pequenas bolhas são formadas pelo ar que ao se agregarem aos flocos, ocasionando a flutuação mesmos para a superfície de onde são continuamente removidos. Essa característica de remoção contínua pode ser considerada uma grande vantagem da flotação em relação à sedimentação, caso seja confirmado que os coagulantes causam danos à parede celular das cianobactérias em longo prazo. Quando empregado a flotação por ar dissolvido, é importante considerar que as diversas espécies de cianobactérias podem se comportar de formas diferentes dependendo de suas propriedades físicas. Isso pode ser observado pelos dados de remoção de células de cianobactérias apresentado por Drikas e Hruday (1994) relativos a uma ETA na qual se utilizava a FAD. Para *Microcystis*, a remoção foi de 40-80%, para *Anabaena* ficou entre 90-100%, porém a *Oscillatoria* foi removida somente em 30%. De acordo com Benhardt e Clasen (1991), a remoção de alguns tipos de cianobactérias pode alcançar até 99,9% quando



o tratamento é realizado pelos processos de floculação – flotação – filtração. Entretanto, o processo pode não ter a mesma eficiência caso a água a ser tratada apresente concentrações de 10 cel/mL, pois concentrações nessa ordem de grandeza são típicas de águas altamente eutrofizadas.

Em geral, a eficiência tanto da flotação, quanto da sedimentação na remoção de cianobactéria depende de vários fatores como, qualidade da água bruta, da espécie da cianobactéria e de suas características morfológicas e fisiológicas, do pH de coagulação, tipo e dosagem do coagulante, entre outros. (BARBOSA, 2009).

## **6.2 Outros processos de remoção**

Pesquisas têm sido realizadas com intenção de avaliar a capacidade de outros processos em remover cianobactérias e cianotoxinas tais como: a adsorção em carvão ativado, a filtração lenta e oxidação química.

O carvão ativado é empregado no tratamento de água para remover compostos orgânicos naturais e/ou sintéticos, causadores de odor e sabor. Himberg et al. (1989) sugerem que o uso do carvão é uma técnica que pode promover, por si só, a remoção das cianotoxinas, como também pode complementar outros tratamentos. O carvão pode ser utilizado sob a forma de pó (CAP) ou granular (CAG). O CAP pode ser eficiente na remoção de todas as toxinas, desde que seja empregado um carvão de boa qualidade e em dosagem adequada. As dosagens para remover cianotoxinas geralmente são superiores às adotadas para remover sabor e odor (BRUCHET et al., 1998).

Diversos estudos têm apresentado resultados satisfatórios na remoção de cianobactérias e cianotoxinas empregando a filtração lenta. Estes estudos mostram a efetividade da filtração lenta em remover células de *Planktothrix agardhii*, porém a toxina dissolvida não foi totalmente removida. O processo físico da filtração isoladamente não é capaz de atingir altos níveis de remoção de toxinas, mas a efetividade do processo está associada aos mecanismos de bioadsorção e/ou biodegradação. A filtração em múltiplas etapas (FiME) apresenta-se como melhor alternativa para ampliar o espectro da aplicação da filtração lenta, no que refere à qualidade dos efluentes e à duração das carreiras. A utilização de carvão ativado granular como camada intermediária no filtro lento tem se mostrado eficiente na adsorção de compostos orgânicos naturais e sintéticos, sendo possível seu emprego também para adsorção de cianotoxinas (BARBOSA, 2009).

Já a oxidação química vem sendo considerada uma técnica efetiva quanto o carvão ativado na remoção de cianotoxinas. A escolha do ponto de aplicação do agente oxidante no tratamento é de fundamental importância, pois se por um lado sabe-se que a pré-oxidação melhora a eficiência de algumas técnicas de tratamento, ela também pode causar a lise celular, levando à liberação de toxinas na água. Segundo Yoo et al. (1995), a pré-oxidação torna-se um problema quando a dosagem do oxidante é suficiente para promover a ruptura das células, mas insuficiente para destruir as toxinas.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As cianobactérias tóxicas estão presentes em todo mundo, e em vários países há registros de intoxicações causadas por elas, tanto em animais quanto em seres humanos. Dentre os registros, tivemos caso de grande tragédia que atingiu dezenas de pessoas por utilizarem água de estação de tratamento que não conseguiu garantir a qualidade da água. Essas intoxicações com cianotoxinas ocorrem quando a poluição ocasionada pela ação do homem resulta em uma eutrofização nos cursos da água, que são responsáveis pelo abastecimento de água para diferentes seres vivos. O excesso de nutrientes causa a proliferação dessas bactérias, que conseqüentemente liberam suas toxinas ao ambiente onde estão.

Os estudos recentes visando à identificação dos melhores métodos para remoção de cianobactérias e cianotoxinas são de suma importância, pois ajudam a evitar proliferações e intoxicações, devendo ser incentivados. Campanhas de informações sobre estes problemas devem ser implementados para ajudar a divulgar as características de atuação das cianobactérias, bem como seus efeitos em rios e mananciais recreativos com floração, por meio da coloração, ou até mesmo sintomas que podem estar sendo causados pela água, mesmo que seja somente para recreação.

A implantação de Estações de Tratamento de Esgoto em municípios brasileiros, juntamente com ações de cobrança e fiscalização vindas de órgãos estaduais para a implantação das ETES em todos os municípios ajudam a reduzir este tipo de problema. Medidas desse tipo tem repercussão positiva, resultando em um número cada vez maior de municípios preocupados com a implantação de Estações de Tratamento de Esgotos, diminuindo o impacto dos resíduos gerados pela sua população.

Além da implantação de ETE(s) e ETA(s), os órgãos gestores e fiscalizadores devem observar as operações destas unidades de tratamento, para garantir a qualidade da água. A população tem papel fundamental para a manutenção do ecossistema aquático, devendo fazer o uso racional da água, reduzir a produção de rejeitos líquidos, cobrar dos órgãos competentes soluções para diminuir o impacto ambiental gerado por esses efluentes.

Podemos concluir que inúmeros fatores influenciam a qualidade do sistema aquático, porém se não houver rigor nessas medidas podemos ter nossa riqueza hídrica afetada diminuindo os recursos naturais que são muito importantes para manter nossa qualidade de vida.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, S. M. F. O.; BRANDÃO, C.C.S. **Cianobactérias Tóxicas na Água para Consumo Humano na Saúde Pública e Processos de Remoção em Água para Consumo Humano**. FUNASA/MS, 56p, 2003.

BARBOSA, T. S. **Cianobactérias Tóxicas e Processo de Remoção**. Universidade Federal de Minas Gerais, 2009. 63p.

BENHARDT H.; CLASEN J. Flocculation of microorganisms. **Journal Water SRT-Aqua**; v.40 n.2, p.76-86, 1991.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518, de 29 de dezembro de 2004. "**Procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.**" Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 25 de março de 2004.

BRASIL, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. RESOLUÇÃO CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.** Publicada no Diário Oficial da União, nº 53, de 18 de março de 2005, Seção 1, páginas 58-63. Disponível em: SILVA. M. Qualidade da Água – Resoluções do CONAMA. 280-303.

BRUCHET, A.; BERNAZEAU, F.; BAUDIN, I. e PIERONNE, P. "Algal toxins in surface waters: analysis and treatment." **Water Supply**, v.16 n. 1-2, p.619-623, 1998.

CARMICHAEL W. W. The toxins of Cyanobacteria. **Scientific American**; v.270 n.1, v.78-86, 1994.

CHORUS I.; BARTRAM J.; editors. **Toxic Cyanobacteria in Water.** A Guide to their public health consequences, monitoring and management. London: E&FN Spon; 1999.

DRIKAS, M. ; HRUDEY, S. "**Management of cyanobacteria within raw water sources.** " In: Steffensen, D.A. e Nicholson, B.C. (eds.) Toxic Cyanobacteria Current Status of Research and Management . Proceed. of an Internation. Workshop, Austrália, p.125-126, 1994.

FUNASA. **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, 2003. 56 pg.

GARCÍA, C. et al. "Paralytic shellfish poisoning: post-mortem analysis of tissue and 56 body fluid samples from human victims in the Patagonia fjords." **Toxicon**, v. 43, p. 149 – 158, 2004.

HIMBERG, K. et al. "The effect of water treatment process on the removal of hepatotoxins form Microcystis and Oscillatoria cyanobacteria: a laboratory study." **Water Research**, v.23 n.8, p.979 – 984, 1989.

HRUDEY, S.; et Al. "**Remedial measures.**" In: Chorus, I. e Bartram, J. (eds.) Toxic cyanobacteria in water - A Guide to their Public Health Consequences, Monitoring and Management . E&FN Spon, Londres, p.275-312, 1999.

JANSSENS J. G.; BUEKENS A. Assessment of process selection for particle removal in surface water treatment. **Journal Water SRT – Aqua**, v.42 n.5, p.279-88, 1993.

KARNER, D. et al. "Microcystin algal toxins in source and finished drinking water." **Journal AWWA**, v.31 n.8, p.72-81, 2001.

KUIPER-GOODMAN, T.; FALCONER, I.; FITZGERALD, Jim. "**Human health aspects.**" In: Chorus, I. e Bartram, J. (eds.) Toxic cyanobacteria in water - A Guide to their Public Health Consequences, Monitoring and Management . E&FN Spon, Londres, p.113-153, 1999.

LAMBERT TW, BOLAND MP, HOLMES CFB, HRUDEY SE. Quantitation of the microcystin hepatotoxins in water at environmentally relevant concentrations with the protein phosphate bioassay. **Environmental Science & Technology**; v.28, n.4, p.753-5, 1994.



MACEDO, A.; MOLINA, A. J. **Controle da floração de cianobactérias e a redução de incidências de gosto e odor na água tratada do Sistema Produtor Alto Tietê. Sistema de Abastecimento de Água do Estado de São Paulo – SABESP.** Divisão de Recursos Hídricos Metropolitanos Leste – MARL, São Paulo – SP, 2008.

MSAGATI, T. A. M.; SIAME, B. A.; SHUSHU, D. D. Evaluation of methods for the isolation, detection and quantification of cyanobacterial hepatotoxins. **Aquatic Toxicology**, v.78, n.4, p.382-397, 2006.

OLIVEIRA, J. M. B. **Remoção de *Cylindrospermopsis raciborskii* por meio de Sedimentação e Flotação: Avaliação em Escala de Bancada.** Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DT085/05, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, 2005, 122p.

PANOSSO, R. et Al. Cianobactérias e Cianotoxinas em Reservatórios do Estado do Rio Grande do Norte e o Potencial Controle das Florações pela Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Oecol. Bras.**, 11 n.3: 443-449, 2007.

SAKER, M. L. et Al. Accumulation and depuration of the cyanobacterial toxin cylindrospermopsin in the freshwater mussel *Anodonta cygnea*. **Toxicon**, v.43, p.185-194, 2004.

SANT'ANNA, C. L.; AZEVEDO, M. T. P. **Contribution to the knowledge of potentially toxic Cyanobacteria from Brazil.** Nova Hedwigia, Zeitschrift Für Kryptogamenkunde, Alemanha, v.71, n.3-4, p.359-385, 2000.

YOO R. S.; et Al. **Cyanobacterial (Blue-Green Algal) toxins:** A resource guide. AWWA Research Foundation and American Water Works Association; 1995.