

I-163 – USO DE TÉCNICAS AVANÇADAS DE TRATAMENTO PARA REMOÇÃO DE MICROCISTINA EM SISTEMAS CONVENCIONAIS DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Anderson de Assis Morais⁽¹⁾

Biólogo pelo Centro Universitário do Leste de Minas Gerais. Mestre e Doutorando em Engenharia Civil (Saneamento Ambiental) pela Universidade Federal de Viçosa. Professor Assistente, Universidade Federal de Itajubá.

Ann H. Mounteer

Bióloga pela Universidade McGill, Canadá. Mestre em Engenharia Ambiental pela College of Environmental Science and Forestry/Syracuse University, Nova York. Mestre em Ciência Florestal (Tecnologia de Celulose e Papel) e Doutora em Microbiologia Agrícola, pela Universidade Federal de Viçosa. Professora Associada, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa.

Davi Santiago Aquino

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa. Mestrando em Engenharia Civil (Saneamento Ambiental), Universidade Federal de Viçosa.

Dennis Lai

Graduando em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Viçosa.

Luara Romana de Souza

Graduanda em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Viçosa.

Endereço⁽¹⁾: Rua Um, s/nº - Distrito Industrial II, Itabira, MG, CEP:35903-081 - Brasil - Tel: (31) 88730310 - e-mail: andersondeassis@unifei.edu.br

RESUMO

Neste trabalho foi avaliada a eficiência de diferentes oxidantes – cloro, dióxido de cloro e ozônio – na remoção de microcistina dissolvida em águas com diferentes características (água bruta e água filtrada). Os resultados mostram que o dióxido de cloro, dentre os oxidantes testados, foi o que apresentou a menor eficiência de remoção, de no máximo 63% em valores CT 68 mg.min.l⁻¹, atingindo remoções mais elevadas, de até 89%, somente em CT elevados, acima 677 mg.min.l⁻¹. O cloro apresentou remoções superiores a 77% em CT abaixo de 30 mg.min.l⁻¹ e o ozônio foi o oxidante mais eficiente, com remoções superiores a 94%, com CT abaixo de 14 mg.min.l⁻¹. Também foi avaliada a toxicidade aguda, com o uso do cladóceros *Daphnia similis*. Nas condições testadas, com concentrações de microcistina de até 17 µg.l⁻¹, não foi observada toxicidade em 48 horas de teste nas amostras sem adição de oxidantes, porém nos testes onde houve o uso de dióxido de cloro foi observada a presença de toxicidade, sugerindo que o clorito, subproduto da degradação desse oxidante, seja o agente responsável pela toxicidade. Os resultados indicam que o cloro e ozônio são mais eficientes que dióxido de cloro na remoção de microcistina dissolvida, além de ambos não terem formado subprodutos que apresentaram toxicidade nas concentrações testadas.

PALAVRAS-CHAVE: cianobactérias, cloro, dióxido de cloro, ozônio, subprodutos, toxicidade.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a maioria das estações de tratamento de água foi projetada há mais de 30 anos. Porém, desde o início de sua operação até os dias atuais surgiram diversos novos paradigmas que precisam ser avaliados, dentre eles a presença crescente de cianotoxinas. Sob essa nova perspectiva, dependendo dos níveis de poluição dos mananciais utilizados, os sistemas convencionais de tratamento de água, contemplando as etapas de coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção seriam insuficientes para tornar a água de qualidade segura para consumo humano (Ceballos et al., 2006). Isso levou a comunidade científica a investigar novos processos tecnológicos para a remoção de cianotoxinas na água destinada ao consumo humano. Diversas pesquisas têm mostrado que o tratamento convencional (coagulação, floculação, sedimentação e filtração), embora elimine células íntegras de cianobactérias, não é eficiente na remoção de cianotoxinas dissolvidas (Keijola et al., 1988; Drikas et al., 2001). Alguns processos físico-químicos são capazes de remover cianotoxinas dissolvidas, dentre eles a adsorção em carvão ativado (Huang et al., 2007), ultrafiltração e nanofiltração (Gijsbertsen-Abrahamse et al., 2006). Porém nesses processos não ocorre a destruição e sim a concentração das toxinas retiradas da água. Nesse contexto os processos oxidativos surgem como uma

excelente alternativa, uma vez que são capazes de promover a oxidação das toxinas e não transferindo-as de fase.

A eficiência dos processos de remoção de microcistinas depende da qualidade da água sendo tratada, especialmente no que se refere à concentração de carbono orgânico dissolvido (COD). A dose de oxidante químico necessária para eliminar a toxicidade é proporcional ao nível de COD na água (Rositano et al., 2001). Há possibilidade de formação de produtos tóxicos durante a degradação oxidativa das microcistinas, dependendo da dose do oxidante e da natureza da matéria orgânica dissolvida na água, e, portanto, estudos pilotos devem ser realizados para avaliar a eficácia dos tratamentos alternativos para águas de qualidades diferentes (Rositano et al., 2001).

A aplicação de oxidantes pode ser realizada antes – pré-oxidação, ou após o tratamento – pós-oxidação. A seleção do ponto de aplicação (pré ou pós-oxidação) tem impactos sobre a efetividade de remoção de toxinas intra e extracelulares. A pré-oxidação pode causar a lise celular, liberando as toxinas para a água, portanto, o uso de oxidantes antes da remoção das células sadias deve ser analisado com muita precaução (Azevedo e Brandão, 2003).

No Brasil e no mundo, o principal agente desinfetante é o cloro e a Portaria 518/2004 refere-se, explicitamente, a esse, mas admite a possibilidade da utilização de outro agente desinfetante, desde que sua eficiência seja comprovada. Uma das principais vantagens do uso de cloro é sua propriedade de garantir residuais desinfetantes relativamente estáveis no sistema de distribuição. Por outro lado, o cloro apresenta limitado potencial de inativação de protozoários e elevado potencial de formação de subprodutos tóxicos, especialmente os trihalometanos (Daniel, 2001). Devido à sua ampla utilização, existem vários trabalhos sobre seu uso na remoção de cianotoxinas. Trabalhos usando o cloro demonstram que sua efetividade é dependente do pH. Por exemplo, Nicholson et al. (1994) observaram uma remoção de microcistina-LR maior que 93% em pH 5 após 30 minutos de contato, enquanto que, em pH 7 e pH 9, as remoções foram de 88% e 40%, respectivamente, após 22 horas de contato.

Devido às limitações ao utilizar-se o cloro, estudos com a utilização de dióxido de cloro vêm crescendo nos últimos anos. Ele possui elevado potencial oxidante e desinfetante e reduzido potencial de formação de compostos organoclorados (trihalometanos). Uma desvantagem do seu uso é a relativa instabilidade de seus residuais no sistema de distribuição (Daniel, 2001). Adicionalmente, o dióxido de cloro pode gerar subprodutos tóxicos, o clorito (ClO_2^-) e o clorato (ClO_3^-).

A ozonização é o processo de oxidação mais eficaz na remoção de microcistinas, sendo que a oxidação depende da dose aplicada e doses menores são pouco efetivas visto que os compostos dissolvidos na água e a lise das células consomem ozônio e a dose mínima para a remoção de microcistina seria de $1,5 \text{ mg.L}^{-1}$ (Hoeger et al., 2002). As vantagens do uso do ozônio incluem seus elevados potenciais oxidante e desinfetante e seu reduzido potencial de formação de compostos organoclorados (trihalometanos). Uma desvantagem da sua utilização é que o ozônio, assim como o dióxido de cloro, não deixa residuais no sistema de distribuição, sendo necessário o uso de outro desinfetante para cumprir esse requisito.

Os objetivos desse trabalho foram comparar a eficiência dos oxidantes ozônio, cloro e dióxido de cloro para a eliminação de microcistina em águas de qualidades distintas – água bruta e água filtrada – e avaliar se a degradação da microcistina levou à formação de subprodutos tóxicos, através de testes de toxicidade usando como organismo teste o cladóceros *Daphnia similis*.

MATERIAIS E MÉTODOS

Cultivo de *Microcystis aeruginosa* NPLJ-4

As culturas de *M. aeruginosa*, gentilmente cedidas pelo Laboratório de Análise de Água (LAA) da Universidade de Brasília (UnB), foram mantidas em sala de crescimento sob condições fotoautotróficas, à temperatura de $23 \pm 1^\circ\text{C}$, iluminação constante proveniente de luz fria fluorescente ($25 \mu\text{moles.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) e fotoperíodo de 12 horas luz / 12 horas escuro. As culturas estoque foram mantidas em frascos Erlenmeyer, com capacidade para 300 ml, em meio mineral ASM-1 líquido (Gorham et al, 1964), sendo periodicamente transferidas na proporção 1:9 (células : meio) para frascos Erlenmeyer com capacidade de 6L contendo o meio ASM-1 e mantidas sob aeração constante até atingirem a concentração desejada de células (10^7 células por mililitro).

Obtenção/preparo de extratos tóxicos

As amostras da cultura pura de *M. aeruginosa* foram congeladas e descongeladas três vezes para rompimento das células e liberação das toxinas, filtradas em membrana de fibra de vidro (AP-40 ou similar). O filtrado foi extraído em cartuchos C18 conforme metodologia descrita por Azevedo e Magalhães (2006). Após a extração e eluição com ácido trifluoracético 0,1% em metanol, o eluato (agora chamado extrato) foi evaporado através de fluxo de nitrogênio e ressuspensionado em água desionizada para o volume inicial. Esse extrato foi usado para a realização dos experimentos em dois tipos de águas: água bruta do manancial de abastecimento da estação de tratamento de água da Universidade Federal de Viçosa (ETA-UFV) e água filtrada da ETA-UFV.

Análise de microcistinas

As análises de microcistinas foram feitas através de ensaio imunoadsorvente ligado à enzima (ELISA) em microplacas marca Beacon® (Saco, Maine, EUA) específicas para a determinação de microcistina. Previamente aos testes, as amostras de água bruta foram filtradas em filtro de seringa com membrana de polissulfona de 0,22 µm de poro.

Processos oxidativos

Cloro

Foi utilizada uma solução de hipoclorito de cálcio, preparada a partir do sal comercial com teor de 65% de cloro livre. Os testes de oxidação foram realizados em frasco de Erlenmeyer de 500 ml, mantidos sob agitação. Imediatamente após a reação, o residual de cloro livre foi analisado com a utilização de conjunto de reagentes específicos para o método DPD (Hach®, Loveland, Colorado, EUA), com metodologia adaptada de APHA, 1998. O residual de oxidante foi eliminado através da adição de quantidade estequiométrica de tiosulfato de sódio, para posterior análise de microcistina e toxicidade.

Dióxido de cloro

Soluções de dióxido de cloro – ClO_2 – foram preparadas a partir do gerador PURATE® (EKA Chemicals do Brasil), por absorção do ClO_2 gasoso gerado em água. Os testes de oxidação foram realizados em frascos de Erlenmeyer de 500 ml, mantidos sob agitação. O ClO_2 na solução original e seu residual foram quantificados com a utilização de conjunto de reagentes específicos para o método DPD (Hach®, Loveland, Colorado, EUA), com metodologia adaptada de APHA, 1998. O residual de dióxido de cloro foi eliminado através da adição de quantidade estequiométrica de tiosulfato de sódio, para posterior análise de microcistina, toxicidade e subprodutos. Os subprodutos residuais da desinfecção, clorito (ClO_2^-) e clorato (ClO_3^-), após a reação foram quantificados por cromatografia iônica, em cromatógrafo iônico Dionex ICS-3000 DP.

Ozônio

Os testes com ozônio foram realizados em reatores verticais de vidro com capacidade de um litro, dotado de um difusor na sua parte inferior. Foram utilizados 900 ml da amostra nos testes. O gerador de ozônio utilizado foi o modelo IC da Sumitomo Precision Products (Japão). Previamente aos testes foi quantificado o ozônio no gás, pelo borbulhamento em solução ácida de iodeto de potássio, sendo o iodo produzido titulado com tiosulfato de sódio para determinação da vazão ($\text{mg} \cdot \text{min}^{-1}$) do ozônio no gás gerado. Os residuais de ozônio foram quantificados pelo método do reagente índigo, com a utilização de conjunto de reagentes específicos (Hach®, Loveland, Colorado, EUA), baseado em APHA, 1998.

Testes de toxicidade

Cultivo de *Daphnia similis*

As culturas estoque, mantidas no Laboratório de Controle de Qualidade da Água da ETA-UFV foram usadas em testes de toxicidade aguda. *Daphnia similis* (Cladocera, Crustacea) foi cultivado em meio de cultura apropriado (ABNT, 2006) em ambiente com temperatura controlada a $25 \pm 1^\circ\text{C}$ e fotoperíodo 12/12h de luz e escuro. Os organismos teste foram alimentados com uma suspensão da alga *Pseudokirchneriella subcapitata* na densidade de 10^5 células por mililitro e uma mistura de levedura e alimento para truta fermentado.

Testes de toxicidade aguda

Os testes foram feitos nas amostras submetidas aos diferentes tratamentos oxidativos, visto que pode haver a formação de subprodutos de degradação da microcistina ou outros subprodutos, que em algumas situações podem ser mais tóxicos que a amostra sem tratamento. Os testes de toxicidade aguda foram realizados com o cladóceros *Daphnia similis*, através da análise da taxa de sobrevivência durante 48 horas após exposição a diferentes diluições das águas tratadas pelos processos oxidativos. Neonatos (<24h) foram expostos a diferentes diluições da água tratada em água reconstituída. Nos testes, cada tratamento (diluição da água tratada) e controle (sem água tratada) foi composto de quatro repetições, cada uma contendo cinco neonatos. Foram testadas as diluições 6,25; 12,5; 25; 50 e 100% da água tratada. Os ensaios foram realizados à temperatura de $22 \pm 1^\circ\text{C}$ e com fotoperíodo de 16h com luminosidade entre 500 e 1000 lux e 8 horas de escuridão. Os organismos foram expostos sem adição de alimento ou nutrientes. No início e no fim dos ensaios foram medidos pH e oxigênio dissolvido das soluções-teste. O número de organismos imobilizados foi anotado após 24 e 48 horas. Os dados foram analisados pelo método dos probitos ou Spearman-Kärber para estimar a concentração mediana letal (CL_{50} , %), com auxílio de programas computacionais (PROBIT e TSK) disponibilizados pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA, 2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Experimentos com o uso de dióxido de cloro

Na Tabela 1 são mostrados os dados da caracterização da água bruta e da água filtrada utilizada nos testes com cloro e com dióxido de cloro. Na Tabela 2 estão expressos os resultados dos testes com ClO_2 , que mostram que o dióxido de cloro apresenta potencial limitado de remoção de microcistina, conseguindo remoções de até 63% para um valor CT de $68 \text{ mg} \cdot \text{min} \cdot \text{l}^{-1}$. Remoções nesse patamar são ainda insuficientes para concentrações iniciais de microcistina usadas nesse trabalho, entre 13 e $16 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$, considerando o disposto na Portaria 518 do Ministério da Saúde, que preconiza um valor máximo permitido (VMP) de $1 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$. Realizou-se com isso um teste para avaliar se o aumento do tempo de contato aumentaria a eficiência de remoção de microcistina. Para isso foram realizados testes com até 24 horas de duração e CT de $821 \text{ mg} \cdot \text{min} \cdot \text{l}^{-1}$. Esses testes mostraram uma maior eficiência de remoção, sendo que após 8 horas de teste a remoção chegou a 87% e após 24 horas chegou a 89%, porém esse tempo de contato é impraticável em uma ETA em escala real.

Tabela 1 – Valores de turbidez, cor aparente e pH das águas bruta e filtrada utilizadas nos testes com dióxido de cloro e cloro

Característica	Água bruta	Água filtrada
Turbidez, uT	10,4	0,28
Cor aparente, uH	35	ausente
pH	7,6	7,4

Também foi observado nos testes com dióxido de cloro um aumento da toxicidade para *D. similis* nas amostras tratadas com esse oxidante, evidenciado pela redução da CL_{50} . No teste controle, sem a adição do oxidante, a CL_{50} foi maior que 100%, evidenciando a ausência de toxicidade nas condições de realização do teste (dados não mostrados). O aumento de toxicidade parece estar relacionado à presença dos subprodutos da oxidação com dióxido de cloro, principalmente o íon clorito. A Portaria 518 de 2004 do Ministério da Saúde estabelece limites máximos para o íon clorito de $0,2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Ensaios realizados anteriormente, utilizando o mesmo organismo, identificaram uma CL_{50} de $0,10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ para o clorito e $5,4 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ para o clorato, após 48h de teste (dados não mostrados). Pelos resultados observados parece ser coerente atribuir ao clorito a mortalidade observada nos testes de toxicidade mostrados na Tabela 2, uma vez que os valores do mesmo em todos os testes realizados foram superiores a $0,1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. É importante salientar que a presença da toxicidade a *D. similis* não implica necessariamente riscos à saúde humana no consumo dessa água, mas é um fato que deve ser considerado, tendo em vista que os produtos da oxidação de microcistina pelo dióxido de cloro ainda são pouco conhecidos, assim como se os mesmos são tóxicos.

Tabela 2 – Resultados dos testes com dióxido de cloro

ClO ₂ Inicial, mg.l ⁻¹	Tempo contato, min	ClO ₂ Residual, mg.l ⁻¹	CT, mg.min.l ⁻¹	Microcistina			ClO ₂ ⁻ , mg.l ⁻¹	ClO ₃ ⁻ , mg.l ⁻¹	CL _{50,48h} , %
				Inicial, µg.l ⁻¹	Final, µg.l ⁻¹	Remoção, %			
Água Filtrada									
0,90	87	0,20	17	1,38	0,60	56	0,10	1,30	35
0,90	87	0,37	32	16,3	12,0	26	0,14	1,35	38
2,00	240	1,57	377	0,94	0,43	55	0,48	1,46	14
2,00	480	1,41	677	0,94	0,13	87	0,44	1,44	16
2,00	1440	0,57	821	0,94	0,10	89	0,67	1,45	15
Água Bruta									
2,16	36	1,93	70	1,47	0,75	49	0,25	0,98	22
2,16	36	1,88	68	13,3	4,94	63	0,65	1,00	10

Experimentos com o uso de cloro

Na Tabela 3 são apresentados os resultados dos testes com cloro. Observa-se que o cloro foi eficiente na remoção de microcistina, conseguindo remoções maiores que 94% na água bruta. A maior remoção observada na água bruta que na água filtrada pode ser atribuído à maior dose de cloro aplicada na primeira. Segundo Merel et al. (2009), a cloração é eficiente para reduzir a concentração de microcistina-LR, mas a toxina não é eliminada mas transformada em diversos subprodutos cuja toxicidade deve ser avaliada. É possível observar que nas doses de cloro utilizadas não houve a geração de subprodutos tóxicos a *D. similis*, ao contrário dos testes com dióxido de cloro. Em todos os testes foram efetuados testes controle, sem a adição de oxidante, os quais não apresentaram toxicidade (dados não mostrados).

Tabela 3 – Resultados dos testes realizados com cloro como oxidante

Cl ₂ Inicial, mg.l ⁻¹	Tempo contato, min	Cl ₂ Residual, mg.l ⁻¹	CT, mg.min.l ⁻¹	Microcistina			CL _{50,48h} , %
				Inicial, µg.l ⁻¹	Final, µg.l ⁻¹	Remoção, %	
Água filtrada							
0,77	60	0,48	29	0,81	0,19	77	>100
0,77	60	0,40	24	12,7	1,95	85	>100
Água Bruta							
1,43	30	0,60	18	1,47	0,05	97	>100
1,43	30	0,49	15	13,3	0,77	94	>100

Experimentos com o uso de ozônio

Na Tabela 4 são mostrados os dados da caracterização da água bruta e da água filtrada utilizada nos testes com ozônio e na Tabela 5 os resultados dos testes com ozônio. Dentre os oxidantes testados nesse trabalho o ozônio é aquele que apresenta o maior poder de remoção de microcistina, atingindo elevadas remoções com os menores valores CT para as duas águas estudadas (nesse caso, o valor CT refere-se à dose de ozônio aplicada), em concordância com alguns trabalhos da literatura (Keijola et al., 1988; Rositano et al., 1998). Mesmo para concentrações mais elevadas de microcistina o ozônio mostrou-se muito eficiente, com remoções superiores a 98%, sendo que a toxina residual ficou abaixo do VMP da Portaria 518/2004. Não foram gerados subprodutos tóxicos a *D. similis* e em todos os testes foram efetuados testes controle, sem a adição de oxidante, os quais não apresentaram toxicidade a *D. similis* (dados não mostrados).

Tabela 4 – Valores de turbidez, cor aparente e pH das águas bruta e filtrada utilizadas nos testes com ozônio

Característica	Água bruta	Água filtrada
Turbidez, uT	7,3	0,37
Cor aparente, uH	25	ausente
pH	7,5	7,4

Tabela 5 – Resultados dos testes realizados com ozônio como oxidante. Os valores CT referem-se à dose de ozônio aplicada.

Vazão O ₃ , mg.min ⁻¹	Tempo contato, min	Residual O ₃ , mg.l ⁻¹	CT*, mg.min.l ⁻¹	Inicial	Microcistina Final	Remoção, %	CL _{50,48h} , %
Água filtrada							
1,22	10	0	13,6	0,58	0,03	94	>100
1,22	10	0	13,6	12,8	0,15	99	>100
Água Bruta							
1,22	10	0	13,6	0,73	0,03	96	>100
1,22	10	0	13,6	15,2	0,30	98	>100

*: refere-se à dose aplicada.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Nesses experimentos cloro e ozônio se mostram mais eficientes como oxidantes para remoção de microcistina dissolvida em água em relação ao dióxido de cloro. O ozônio se mostra o oxidante mais indicado para a remoção de microcistina, porém tem a desvantagem de não deixar residual, devendo ser utilizado juntamente com outro oxidante para esse fim. O cloro apresentou também uma boa eficiência de remoção, porém não foi avaliada a formação de trihalometanos. Já o dióxido de cloro mostrou o potencial mais limitado na remoção de microcistina dentre os oxidantes testados, além de gerar subprodutos que se mostraram tóxicos à *Daphnia similis*, possivelmente o íon clorito. Deve-se enfatizar que a detecção de toxicidade não representa necessariamente que a água desinfetada com dióxido de cloro irá também ser tóxica à população que venha a consumi-la. Recomenda-se aqui que mais estudos sejam feitos para se conhecer os produtos de degradação da microcistina por dióxido de cloro e determinação de sua toxicidade aos seres humanos, especialmente com estudos de toxicidade crônica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pela concessão da bolsa de doutorado, à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão do auxílio financeiro à pesquisa (FAPEMIG TEC-APQ-01635-09) e pelo financiamento para participação no evento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12713:2006 **Ecotoxicologia Aquática – Toxicidade Aguda – Método de Ensaio com *Daphnia spp* (Cladocera, Crustácea)**. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
2. APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20. ed. Washington: APHA/WEF/AWWA, 1998.
3. 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**. Brasília: Ministério da Saúde: Fundação Nacional de Saúde, 2003.
4. AZEVEDO, S.M.F.O.; MAGALHÃES, V.F. Metodologia para quantificação de cianotoxinas. In: PÁDUA, V.L. (Coordenador). **Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano**. Rio de Janeiro: ABES. Cap. 11, p. 467-503, 2006.

5. CEBALLOS, B.S.O.; AZEVEDO, S.M.F.O, BENDATE, M.M.A. Fundamentos Biológicos e Ecológicos Relacionados às Cianobactérias. In: PÁDUA, V.L. (Coordenador). **Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano**. Rio de Janeiro: ABES, Projeto PROSAB, cap. 2, p. 23-75, 2006.
6. DANIEL, L.A. (Coord.). **Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável**. Projeto PROSAB, São Carlos: RiMa. 2001.
7. DRIKAS, M.; CHOW, C.W.K.; HOUSE, J.; BURCH, M.D. Using coagulation, flocculation and settling to remove toxic cyanobacteria. **Journal of American Water Works Association – AWWA**, v. 93, n. 2, p.100-111, 2001.
8. GIJSBERTSEN-ABRAHAMSE, A.J.; SCHMIDT, W.; CHORUS, I. HEIJMAN, S.G.J. Removal of cyanotoxins by ultrafiltration and nanofiltration. **Journal of Membrane Science**. v. 276, n. 1-2, p. 252–259, 2006.
9. HOEGER, S.J.; DIETRICH, D.R.; HITZFELD, B.C. Effect of ozonation on the Removal of cyanobacterial Toxins during Drinking Water Treatment. **Environmental Health Perspectives**. v. 110, n.11, p.1127-1132, 2002.
10. HUANG, W.J.; CHENG, B.L.; CHENG, Y.L. Adsorption of microcystin-LR by three types of activated carbon. **Journal of Hazardous Materials**, v. 141, p.115–122, 2007.
11. KEIJOLA, A.M.; HIMBERG, K.; ESALA, A.L.; SIVONEN, K.; HIISVIRTA, L. Removal of cyanobacterial toxins in water treatment processes: Laboratory and pilot scale experiments. **Toxicity Assessment**, v.3, n.5, p. 643-656, 1988.
12. MEREL, S.; LEBOT, B.; CLÉMENT, M.; SEUX, R.; THOMAS, O. MS identification of microcystin-LR chlorination by-products. **Chemosphere**, 74, p. 832–839, 2009.
13. MINISTÉRIO DE SAÚDE. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. **Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências**. 2004.
14. NICHOLSON, B.C.; ROSITANO, J.; BURCH, M.D. Destruction of cyanobacterial peptide hepatotoxins by chlorine and chloramine. **Water Research**, v. 28, n. 8, p. 1297-1303, 1994.
15. ROSITANO, J.; NEWCOMBE, G.; NICHOLSON, B.; SZTAJNBOK, P. Ozonation of NOM and algal toxins in four treated waters. **Water Research**, v. 35, n. 1, p.23-32, 2001.
16. ROSITANO, J.; NICHOLSON, B.C.; PIERONNE, P. Destruction of Cyanobacterial Toxins by Ozone. **Ozone Science & Engineering**. v. 20, p. 223-238, 1998.
17. USEPA – United States Environmental Protection Agency. **Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms**. 5 ed. Washington, DC: Office of Water (4303T). 2002.