

MANUAL DE CIANOBACTÉRIAS PLANCTÔNICAS: LEGISLAÇÃO, ORIENTAÇÕES PARA O MONITORAMENTO E ASPECTOS AMBIENTAIS

2013



**Manual de Cianobactérias
Planctônicas: Legislação, Orientações
para o Monitoramento e Aspectos
Ambientais**

2013

Manual de Cianobactérias Planctônicas: Legislação, Orientações para o Monitoramento e Aspectos Ambientais

Maria do Carmo Carvalho

Livia Fernanda Agujaro

Denise Amazonas Pires

Claudia Picoli

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Diretoria de Engenharia e Qualidade Ambiental
Diretoria de Controle e Licenciamento Ambiental
Departamento de Análises Ambientais
Departamento de Laboratórios Descentralizados
Departamento de Gestão Ambiental III
Divisão de Análises Hidrobiológicas
Divisão do Laboratório de Campinas
Setor de Comunidades Aquáticas

São Paulo

2013

© 2013 Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB)

Dados Internacionais de Catalogação

(CETESB – Biblioteca, SP, Brasil)

C418m CETESB (São Paulo).
Manual de cianobactérias planctônicas : legislação, orientações para o monitoramento e aspectos ambientais / CETESB ; Maria do Carmo Carvalho ... [et al.]. -- São Paulo : CETESB, 2013.

47 p. : il. color. ; 14 x 21cm. -- (Série Manuais, ISSN 0103-2623)

Disponível também em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/>>

Publicado também em CD.

ISBN 978-85-61405-46-5

1. Água – poluição – controle 2. Água - qualidade 3. Algas verde-azuis - monitoramento 4. Cianobactérias - floração 5. Cianobactérias - remoção. 6. Eutrofização – mananciais 7. Saúde pública - riscos. I. Carvalho, Maria do Carmo. II. Agujaro, Livia Fernanda III. Pires, Denise Amazonas IV. Picoli, Claudia. V. Título. VI. Série.

CDD (21.ed. esp) 579.390 286

CDU (2.ed. port.) 628.19 : 582.232

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à bibliotecária Margot Terada pela minuciosa e preciosa revisão deste documento nos aspectos relativos às normas ABNT. Agradecemos à Gerente de Divisão Marta Lamparelli, que sempre nos incentivou, e pela revisão e sugestões técnicas. Agradecemos à farmacêutica bioquímica Consuelo Rico Salgueiro pela valiosa contribuição no texto sobre Sistemas de Qualidade. Agradecemos também ao apoio da Gerente do Departamento de Análises Ambientais, Dra. Maria Inês Z. Sato.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES E TABELAS

Fotos	Título	p.
1	Floração de cianobactérias do gênero <i>Microcystis</i> no reservatório de Barra Bonita	16
2 – 11	Cianobactérias que ocorrem no Estado de São Paulo	17
12 – 15	Cianobactérias que ocorrem no Estado de São Paulo	18
16 – 20	Equipamentos e acessórios utilizados na Amostragem e Análise	40
Figuras		p.
1	Distribuição esquemática de florações.	41
2	Requisitos sugeridos para controle da qualidade em laboratórios de ensaio de fitoplâncton e cianobactérias	45
Tabelas		p.
1	Características gerais dos principais grupos de cianotoxinas, seu alvo em mamíferos e gêneros produtores.	20
2	Limites máximos admissíveis, segundo a Portaria MS 2914/11	25
3	Classificação dos corpos d'água e padrões para água doce (Resolução CONAMA 357/2005).	26
4	Valores orientadores para a proteção da saúde humana em águas recreacionais.	28
5	Resumo das verificações para o controle de qualidade	44

LISTA DE SIGLAS

ALS	“Amyotrophic lateral sclerosis”
ALS-PDC	“Amyotrophic lateral sclerosis – Parkinson dementia complex”
ANA	Agência Nacional de Águas
BMAA	Aminoácido não-protéico β -N-metilamino-L-alanina
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ETA	Estação de Tratamento de Água
LMA	Limites Máximos Admissíveis
LPS	Lipopolissacarídeos
MIB	2-metil-isoborneol
OMS	Organização Mundial da Saúde
STX	Saxitoxina
VMP	Valor Máximo Permitido
WHO	World Health Organization (Organização Mundial da Saúde)

Sumário

APRESENTAÇÃO	13
1 INTRODUÇÃO	15
2 RISCOS PARA A SAÚDE PÚBLICA	21
3 USO DOS CORPOS D'ÁGUA E LEGISLAÇÃO.....	23
3.1 Abastecimento público	23
3.2 Preservação da vida aquática	25
3.3 Balneabilidade	26
4 PLANEJAMENTO E AÇÕES.....	29
4.1 Prevenção de Florações de Cianobactérias	29
4.2 Monitoramento Preventivo	30
4.3 Planos de Contingência.....	33
4.4 Medidas Corretivas	36
4.5 Recuperação do Manancial	37
5 MÉTODOS DE AMOSTRAGEM E ANÁLISE	38
5.1 Amostragem.....	38
5.2 Metodologia analítica	42
6 SISTEMA DE QUALIDADE	43
7 RECOMENDAÇÕES FINAIS	46
BIBLIOGRAFIA	48
APÊNDICE A – Glossário.....	53

APRESENTAÇÃO

O rápido crescimento da população, a formação de aglomerados urbanos e o aumento da produção agrícola e industrial resultaram no aumento do despejo de poluentes nos corpos d'água, principalmente matéria orgânica e nutrientes como nitrogênio e fósforo, tornando-os cada vez mais eutrofizados. Este fenômeno propicia a proliferação excessiva de algas e cianobactérias potencialmente tóxicas (florações) em reservatórios e corpos hídricos usados para abastecimento público. Esses eventos têm sido cada vez mais frequentes, causando sérios problemas econômicos e de saúde pública.

A presente publicação é fruto do esforço dos técnicos para atender uma das atribuições da Companhia Ambiental de São Paulo (CETESB), que é a transferência de tecnologia. As informações contidas nesse manual podem ser utilizadas por profissionais que trabalham em outras entidades ambientais, prestadores de serviço, além de pesquisadores de Universidades e Institutos de Pesquisa.

1 INTRODUÇÃO

As atividades humanas vêm causando um crescente enriquecimento artificial dos ecossistemas aquáticos (eutrofização) por nutrientes como nitrogênio e fósforo, advindos da utilização de fertilizantes na agricultura, da descarga de esgotos industriais e domésticos sem tratamento adequado, destruição da mata ciliar dos mananciais, alta taxa de urbanização e falta de saneamento básico. Esse processo produz mudanças na qualidade da água, como a redução do oxigênio dissolvido, morte de peixes, decréscimo na diversidade de espécies da comunidade fitoplanctônica e aumento da incidência de florações de algas e cianobactérias potencialmente produtoras de toxinas. Outros fatores, como a baixa profundidade média do corpo d'água, o grande tempo de residência e a intensa ocupação urbana e agropastoril nas áreas de entorno de reservatórios também favorecem este fenômeno.

Como principal consequência da eutrofização destaca-se a proliferação excessiva de organismos fitoplanctônicos, fenômeno conhecido como floração ou “bloom”, sendo as cianobactérias os organismos mais frequentes em florações de águas continentais (foto 1).

As cianobactérias são organismos procariontes e podem ser filamentosas ou cocóides, ocorrendo isoladamente ou em colônias. São cosmopolitas e apresentam grande tolerância às condições ambientais e climáticas, podendo ser encontradas na maioria dos ecossistemas terrestres e aquáticos, principalmente na água doce, além de ambientes extremos, como fontes termais, neve e deserto. A bainha de mucilagem e a formação de aerótopos em algumas espécies são estruturas que conferem vantagens sobre outros grupos. Além disso, algumas espécies de cianobactérias podem ser fixadoras de nitrogênio, por meio de uma estrutura denominada heterocito, o que também representa uma vantagem sobre outras espécies.

Foto 1 - Floração de cianobactérias do gênero *Microcystis* no reservatório de Barra Bonita.



Fonte: CETESB (2006)

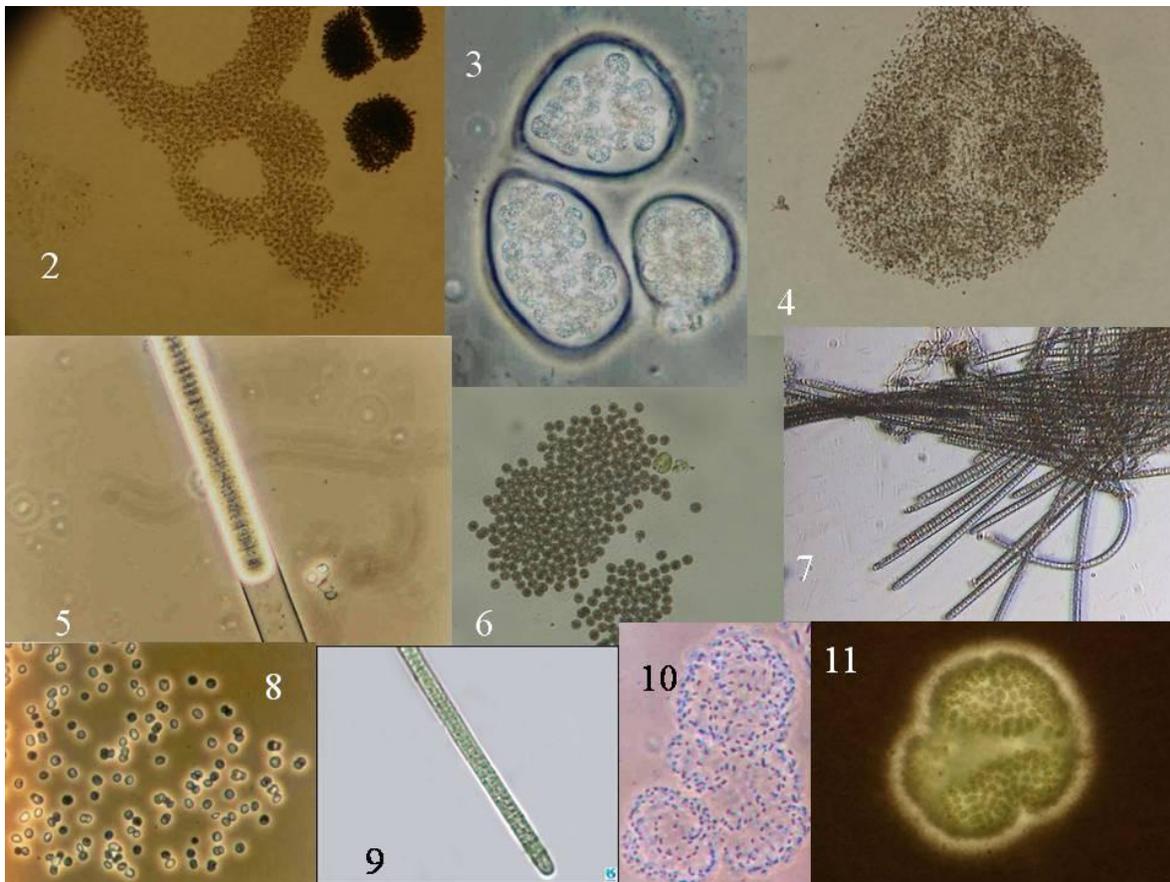
As florações podem ser de dois tipos: as denominadas "scums", ou natas, que apresentam elevada concentração de clorofila *a*, duração de poucas horas ou dias e espessura de poucos milímetros, e as "hyperscums" - com massa flutuante de células de espessura variando entre 50 e 75 cm, densamente compactada, que impede o movimento de água entre as células. A duração dessas últimas varia de semanas até muitos meses. No entanto, algumas florações, nas quais a densidade de algas é elevada, podem apresentar uma nata conspícua apenas em algumas horas, apresentando uma distribuição mais uniforme na coluna d'água ao longo do dia.

Muitas florações já foram reportadas em corpos d'água brasileiros, inclusive em reservatórios utilizados para o consumo humano. A ocorrência de florações de cianobactérias nos corpos d'água utilizados para abastecimento urbano pode representar um sério risco à saúde da população, em razão da capacidade destes organismos produzirem potentes toxinas. As florações também podem interferir no equilíbrio dos ecossistemas aquáticos, pois criam um biofilme superficial que

altera a transparência do meio, podendo conduzir à desoxigenação do corpo d'água. Além disso, representam um sério problema para as estações de tratamento de água, pois podem causar perda de carga dos filtros e alteração no odor e no sabor da água tratada, pela produção de geosmina e o MIB - 2-metil-isoborneol que são compostos metabólicos desses organismos. O estudo das florações e o conhecimento de suas causas são essenciais para sua prevenção e manejo.

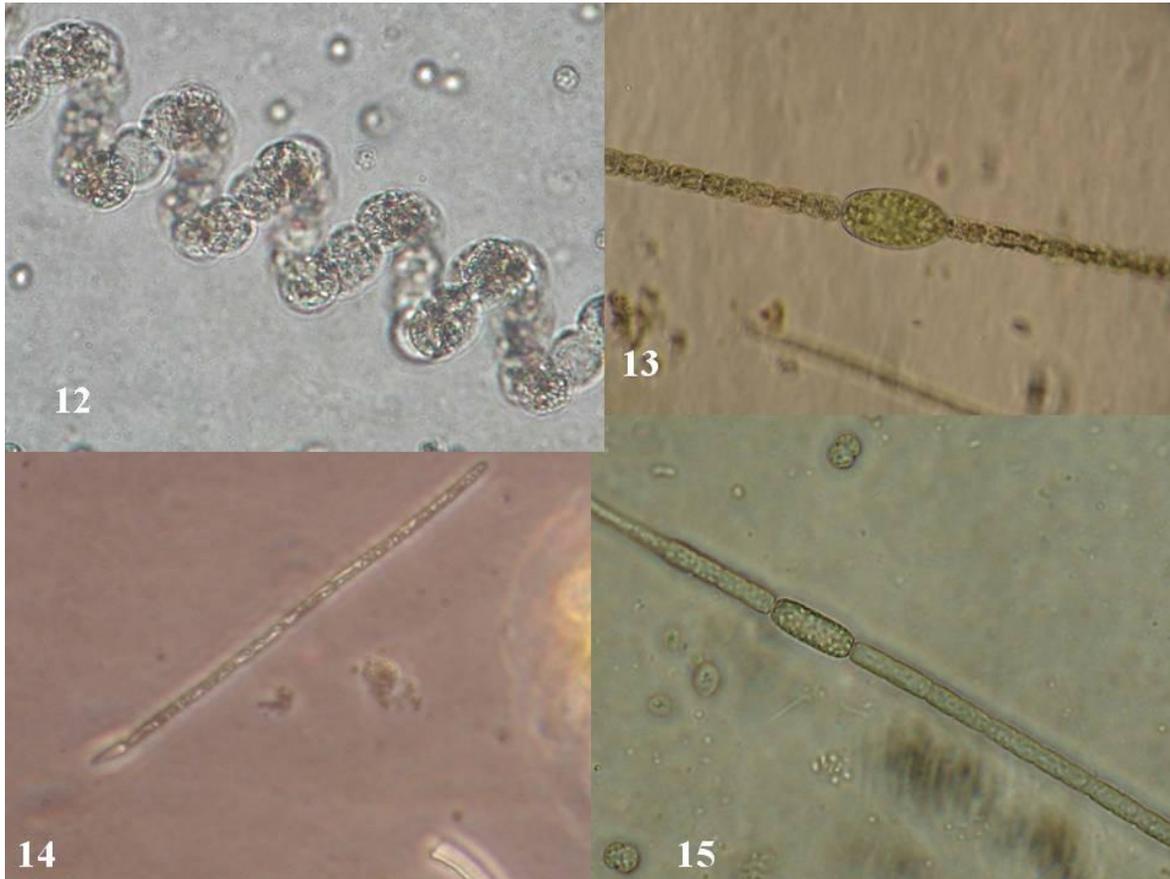
No Brasil, várias cianobactérias já foram relatadas como potenciais produtoras de toxinas, como espécies de *Microcystis*, *Cylindrospermopsis*, *Dolichospermum* (antiga *Anabaena*), *Planktothrix*, *Aphanizomenon*, entre outras (fotos 2 a 15).

Fotos 2 a 11 - Cianobactérias que ocorrem no Estado de São Paulo.



Legenda: 2- *Microcystis aeruginosa*; 3- *M. wesenbergii*; 4 – *M. panniformis*; 5 – *Lyngbya* sp.; 6 – *Radiocystis fernandoi*; 7 – *Trichodesmium* sp.; 8 – *Microcystis protocystis*; 9 – *Planktothrix* sp.; 10 – *Cyanodictyon iac*; 11 – *Woronichinia* sp.
 Fonte: Carvalho (2012)

Fotos 12 a 15 - Cianobactérias que ocorrem no Estado de São Paulo.



Legenda: 12- *Dolichospermum crassum* (*Anabaena*); 13 – *Dolichospermum planctonicum* (*Anabaena*); 14 – *Cylindrospermopsis raciborskii*; 15 – *Cuspidothrix* sp. Fonte: Carvalho (2012).

Vários gêneros e espécies de cianobactérias que formam florações são citados na literatura como potenciais produtores de toxinas altamente potentes, denominadas cianotoxinas (tabela 1). As cianotoxinas podem ser neurotóxicas, hepatotóxicas ou dermatotóxicas. A maioria corresponde a endotoxinas, pois somente são liberadas para o meio externo por rompimento da parede celular, o que acontece por senescência das células ou sob a ação de algicidas, como o sulfato de cobre. Outras, como a cilindrospermopsina, podem ser excretadas pela célula em condições fisiológicas normais.

As neurotoxinas são compostos alcalóides de ação rápida, produzidos por vários gêneros de cianobactérias, cuja característica é o bloqueio neuromuscular.

Provocam a morte de animais no intervalo de poucos minutos a poucas horas, devido à parada respiratória. Três tipos foram descritos até o momento: anatoxina-a, anatoxina-a(s) e saxitoxinas.

As hepatotoxinas receberam maior atenção por serem as causadoras mais comuns de intoxicações. Essas toxinas apresentam ação mais lenta, causando a morte entre poucas horas e poucos dias, em decorrência de hemorragia hepática e choque hipovolêmico. Nesse grupo até o momento, foram descritas: as microcistinas, nodularinas e cilindrospermopsinas.

Os lipopolissacarídeos (LPS) são componentes da membrana celular das cianobactérias, e são endotoxinas pirogênicas, capazes de produzir irritações na pele e alergias. Esses compostos são importantes especialmente nos locais com risco de exposição às células de cianobactérias, como os destinados à balneabilidade.

Alguns estudos vêm associando o aminoácido não-protéico β -N-metilamino-L-alanina (BMAA), uma neurotoxina que pode ser produzida por alguns gêneros de cianobactérias, como a possível causa de esclerose amiotrófica lateral (ALS), grave doença neurológica que se caracteriza por paralisia progressiva associada ao Mal de Parkinson e à doença de Alzheimer, atualmente designada pela sigla ALS-PDC (complexo ALS-Parkinson-demência). Algumas cianobactérias planctônicas foram testadas e 97% das amostras eram produtoras do BMAA, a maioria pertencente aos gêneros relacionados a florações de *Microcystis*, *Dolichospermum* e *Cylindrospermopsis*. Também vem sendo pesquisada a biomagnificação dessa toxina.

Tabela 1 - Características gerais dos principais grupos de cianotoxinas, seu alvo primário em mamíferos e gêneros produtores.

GRUPO DA TOXINA	ALVO PRIMÁRIO EM MAMÍFEROS	GÊNEROS DE CIANOBACTÉRIAS
Peptídeo cíclico		
Microcistinas	Fígado	<i>Dolichospermum (Anabaena), Anabaenopsis, Aphanocapsa, Arthrospira, Hapalosiphon, Microcystis, Nostoc, Oscillatoria, Planktothrix, Radiocystis, Snowella, Woronichinia</i>
Nodularina	Fígado	<i>Nodularia</i>
Alcalóides		
Anatoxina-a, Homoanatoxina-a	Nervo Simpático	<i>Dolichospermum (Anabaena), Aphanizomenon, Arthrospira, Cylindrospermum, Microcystis, Oscillatoria, Planktothrix, Phormidium, Raphidiopsis.</i>
Anatoxina-a(S)	Nervo Simpático	<i>Dolichospermum (Anabaena)</i>
Aplisiotoxina, Debromoaplisiotoxina	Pele, trato gastrointestinal	<i>Lyngbya, Schizothrix, Planktothrix</i>
Cilindrospermopsinas	Órgãos múltiplos (fígado, rim, baço, trato gastrointestinal, coração, timo, pele)	<i>Dolichospermum (Anabaena), Cylindrospermopsis, Aphanizomenon, Raphidiopsis, Umezakia</i>
Lyngbyatoxina-a	Pele, trato gastrintestinal	<i>Lyngbya</i>
Saxitoxinas	Nervo axônico	<i>Dolichospermum (Anabaena), Aphanizomenon, Lyngbya, Cylindrospermopsis, Planktothrix</i>
Lipopolissacarídeos (LPS)	Potencial irritante; afeta qualquer tecido exposto	Todos

Fonte: Modificado de Deberdt (2002, apud Agujaro, 2007) e Stewart *et al.* (2006, apud Agujaro, 2007)

Mortandades de peixes podem estar associadas às florações de cianobactérias, embora esses organismos sejam considerados menos suscetíveis às cianotoxinas quando comparados aos mamíferos. A depleção de oxigênio pode ser outro fator relevante nessas mortandades, tendo em vista o processo de respiração das cianobactérias durante a noite, além da decomposição de matéria orgânica. Há também evidências de que o excesso de cianobactérias pode causar a morte de peixes por asfixia e pela obstrução das brânquias.

Apesar de não ser o foco deste manual, é importante citar algumas cianobactérias marinhas nocivas, já que as florações desses organismos podem trazer impactos econômicos severos à pesca, aquacultura e turismo.

No Brasil, o gênero *Trichodesmium* já foi identificado em várias áreas da região litorânea. Entre janeiro e fevereiro de 2000, a CETESB realizou, nas águas costeiras do estado de São Paulo, o monitoramento de uma floração de cianobactérias que se iniciou no Paraná e que, devido às condições de vento e correnteza, acabaram atingindo o litoral paulistano. A espécie identificada na ocasião foi *T. erythraeum*, e segundo resultados de análises da CETESB, não foi considerada tóxica. Florações deste gênero, quando tóxicas, são responsáveis pelo sintoma de “febre de Tamandaré”. O simples contato com os aerossóis liberados pelas ondas é suficiente para que o banhista apresente sintomas referentes a problemas respiratórios.

2 RISCOS PARA A SAÚDE PÚBLICA

A presença de cianotoxinas na água de consumo humano implica em sérios riscos à saúde pública, já que são hidrossolúveis e passam pelo sistema de tratamento convencional, sendo inclusive resistentes à fervura. Assim, o monitoramento das cianobactérias tóxicas e cianotoxinas nos mananciais de água para abastecimento público é imprescindível para identificar os locais com risco potencial. Também são

necessários estudos epidemiológicos em populações de risco, para quantificar os efeitos adversos à saúde. Ressalta-se que estas publicações são periodicamente revisadas, sendo importante verificar sempre se existem versões atualizadas dessas regulamentações.

O primeiro relato de intoxicação de animais causada por floração de cianobactérias é de 1878, na Austrália, com a morte de diversos animais. Desde então, os registros de ocorrência de florações em reservatórios utilizados para abastecimento público têm sido frequentes no mundo todo. As intoxicações de populações humanas pela ingestão de água contaminada por cianobactérias já foram descritas em diversos países, como Austrália, Inglaterra, China e África do Sul. Em 1983, a população de uma cidade rural na Austrália foi abastecida com água de um reservatório com uma densa floração de *Microcystis aeruginosa*. O corpo d'água foi tratado com o algicida sulfato de cobre, o que causou a lise celular e liberou a toxina na água, causando sérios danos hepáticos à população. Num outro evento em 1979, em Palm Island, Austrália, cerca de 140 crianças e 10 adultos foram hospitalizados após ingestão de água de um pequeno reservatório tratado com sulfato de cobre para resolver os problemas de gosto e odor. Em uma semana, muitas pessoas apresentavam hepatoenterite severa, com cerca de 20 casos necessitando terapia intravenosa. Não houve mortes e investigações posteriores levaram à caracterização do gênero *Cylindrospermopsis* e da cianotoxina cilindrospermopsina. No Brasil, em 1996, foi confirmado o primeiro caso de mortes humanas causadas por uma cianotoxina, com o envenenamento de pacientes em hemodiálise numa clínica na cidade de Caruaru - PE. Esses pacientes, tratados durante uma semana, sofreram doença hepática severa após a hemodiálise, resultando na morte de cerca de 70 pessoas. As investigações subsequentes revelaram que houve problemas no tratamento da água tornando o uso da água impróprio para consumo, resultando na contaminação dos filtros da clínica com dois tipos de cianotoxinas: microcistina e cilindrospermopsina. Microcistinas foram detectadas no sangue e fígado dos indivíduos envenenados.

Assim como ocorre em humanos, os animais domésticos e silvestres que bebem

água em açudes com floração de cianobactérias podem se intoxicar e até morrer ao ingerir células tóxicas.

3 USO DOS CORPOS D'ÁGUA E LEGISLAÇÃO

Os reservatórios podem ser utilizados para diversas finalidades, mas o abastecimento público e a recreação são as atividades que requerem uma maior atenção, já que as principais formas de exposição às cianotoxinas incluem a via oral e dérmica, por meio da ingestão ou do uso recreacional da água. Acredita-se que a inalação de aerossóis (durante o banho, prática de esportes aquáticos, entre outros) também pode ser uma importante via de exposição, dependendo da toxicidade da cianotoxina, mas essa relação ainda precisa ser melhor estudada.

Nos últimos anos, em diversos locais do Brasil, tem ocorrido um aumento expressivo de florações de cianobactérias, com a presença de cianotoxinas e outros compostos, incluindo substâncias causadoras de gosto e odor. Em função dos riscos potenciais à saúde e à preservação da vida aquática, este tema vem ganhando espaço na legislação nacional. Ressalta-se que estas legislações ou publicações são periodicamente revisados, sendo importante verificar sempre se existem versões atualizadas dessas regulamentações. O gerenciamento e controle das cianobactérias em ambientes aquáticos para atendimento de legislações requer a implementação de programas de monitoramento.

3.1 Abastecimento público

No Brasil, a Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Sua primeira versão, em 2000, foi pioneira ao inserir numa norma legal a obrigatoriedade do monitoramento das cianobactérias no manancial. A portaria em vigor exige que os

responsáveis pelo controle da qualidade da água de sistemas de abastecimento supridos por mananciais superficiais monitorem as cianobactérias no ponto de captação de água mensalmente, quando o número de células de cianobactérias não exceder 10.000 células/mL e semanalmente, quando o número de células de cianobactérias exceder este valor. Também exige que sempre que o número de cianobactérias no ponto de captação exceder 20.000 células/mL seja realizada a análise semanal das cianotoxinas. Nesse caso, é exigida a análise de microcistinas e saxitoxinas, devido ao seu efeito agudo e carcinogênico. As microcistinas ocorrem com frequência e podem chegar a altas concentrações na água bruta. Um exemplo é a represa de Barra Bonita, onde em 2006 foram detectados valores de microcistinas de aproximadamente 400 µg/L, em um episódio de floração de *Microcystis*. As saxitoxinas são neurotóxicas e sua presença vem sendo detectada em diferentes mananciais brasileiros.

Os limites máximos admissíveis - LMA de cianotoxinas nas águas de abastecimento público foram propostos por vários pesquisadores, a fim de evitar os efeitos danosos à saúde pública (Tabela 2). A Organização Mundial da Saúde - OMS adotou como valor máximo permitido 1,0 µg/L de microcistina em água potável, e este valor também foi incluído na Portaria MS 2914/2011, como valor máximo aceitável em água para abastecimento público no Brasil. O LMA para saxitoxina estabelecido pela Portaria do Ministério da Saúde também segue o valor da OMS: 3,0 µg/L. A literatura mais recente tem reavaliado esses valores, havendo uma tendência para se consolidarem propostas de alteração dos limites considerados seguros, por isso é importante se manter atualizado no que tange a essas publicações.

Em relação à cilindrospermopsina, a Portaria do Ministério da Saúde recomenda essa análise sempre que for detectada a presença de gêneros potencialmente produtores, observando o valor máximo aceitável de 1,0 µg/L. Também existe recomendação para a análise da presença de anatoxina-a(s) quando for detectada a presença de gêneros de cianobactérias potencialmente produtores no monitoramento de cianobactérias, porém sem estabelecimento de um LMA.

Quando os valores do LMA na água bruta forem atingidos ou ultrapassados, há a necessidade do uso de estratégias para evitar a intoxicação da população.

Tabela 2 - Limites máximos admissíveis para cianotoxinas, segundo a Portaria 2914/2011.

Parâmetro	Condição	Limites Máximos Admissíveis
Microcistina	Análise obrigatória em água para consumo humano	1,0 µg/L
Saxitoxinas (STX)		3,0 µg/L de equivalente STX
Cilindrospermopsina	Recomendação de análise em água para consumo humano quando forem observadas cianobactérias potencialmente produtoras	1,0 µg/L
Anatoxina-a(s)		Não foi estabelecido valor

Fonte: Portaria 2914/11

3.2 Preservação da vida aquática

Quanto à manutenção da integridade dos ecossistemas aquáticos, a Resolução CONAMA 357/2005, do Ministério do Meio Ambiente dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, com o objetivo de preservar o equilíbrio dos ambientes e das comunidades aquáticas (Tabela 3).

Mesmo sendo exigidas as análises do número de células de cianobactérias e clorofila *a* nesta Resolução, não há indicação da implementação de pontos de monitoramento sistemático, nem das frequências a serem adotadas para avaliar a clorofila *a*, células de cianobactérias e suas toxinas.

Tabela 3 - Classificação dos corpos d'água e padrões para água doce.

CLASSES (USO DESTINADO)	CLOROFILA <i>a</i> ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	CIANOBACTÉRIA ($\text{céls.mL}^{-1}/\text{mm}^3.\text{L}^{-1}$)	FÓSFORO TOTAL (mg.L^{-1})
1 (abastecimento após tratamento simplificado, recreação de contato primário, irrigação de hortaliças consumidas cruas).	10	20.000 / 2	0,020 (lêntico) 0,025(intermediário) 0,1 (lótico)
2 (abastecimento após tratamento convencional, recreação de contato primário, irrigação de hortaliças e frutíferas, aqüicultura e pesca).	30	50.000 / 5	0,030 (lêntico) 0,050(intermediário) 0,1 (lótico)
3 (abastecimento após tratamento convencional ou avançado, recreação de contato secundário, dessedentação de animais).	60	100.000 / 10 50.000 / 5 (dessedentação de animais)	0,05 (lêntico) 0,075(intermediário) 0,15 (lótico)

Fonte: Resolução CONAMA 357/2005

3.3 Balneabilidade

Um aspecto bastante preocupante do efeito das cianotoxinas na saúde humana está relacionado ao uso das águas para fins recreacionais. Estudos de avaliação de risco à saúde humana em águas recreacionais, planos de monitoramento e ações mitigadoras em ambientes impactados por cianobactérias devem ser implementados pelos órgãos ambientais e gestores de recursos hídricos. Há carência de estudos epidemiológicos com informações sobre os efeitos agudos e crônicos das cianotoxinas em humanos para embasar avaliações de risco que possam protegê-los. Valores máximos permitidos - VMP de cianotoxinas em águas

recreacionais são mais difíceis de estabelecer em função das muitas vias de exposição pelos usuários.

No Brasil, a Resolução CONAMA 274/2000, do Ministério do Meio Ambiente, que define os critérios para a classificação de águas destinadas à recreação de contato primário (aquela de contato direto e prolongado com a água - natação, mergulho, esqui-aquático, na qual a possibilidade do banhista ingerir água é elevada), não contempla valores orientadores para florações de cianobactérias. No entanto, seu texto considera passíveis de interdição, pelos órgãos de controle ambiental, trechos dos corpos d'água em que ocorra toxicidade ou formação de nata decorrente de florações de algas, e estabelece como uma das condições impróprias para banho a ocorrência de floração de algas e/ou outros organismos que oferecem risco à saúde humana.

Apenas a inspeção visual adotada na Resolução CONAMA 274/2000 não oferece garantias à população de uma exposição segura. Considera-se a ocorrência de uma floração quando o número de células de cianobactérias ultrapassa 10.000 céls/mL; entretanto, dependendo da espécie, não ocorre nenhuma alteração de coloração ou formação de espumas. Neste caso, a população pode estar sendo exposta ao risco sem o conhecimento das autoridades de saúde pública.

O manual da OMS considera três vias de exposição às cianobactérias em águas recreacionais: contato direto de partes expostas do corpo (incluindo ouvidos, olhos, boca, garganta e áreas cobertas com roupa de banho que podem capturar e concentrar células), a ingestão acidental e a inalação de água contendo células de cianobactérias.

Tabela 4 - Valores orientadores para a proteção da saúde humana em águas recreacionais.

PROBABILIDADE DE EFEITO ADVERSO À SAÚDE	
VALORES ORIENTADORES OU SITUAÇÕES	
Baixa – Nível 1	
Microcistina (µg/L)	2-4 (valor esperado)*
Clorofila <i>a</i> (µg/L)	10
Células de cianobactérias (célis./mL)	20.000
Riscos à Saúde	Efeitos adversos agudos (ex. irritações da pele e sintomas gastrointestinais) são pouco prováveis
Ações Recomendadas	Sinalização e informação às autoridades pertinentes
Moderada – Nível 2	
Microcistina (µg/L)	20 (valor esperado)*
Clorofila <i>a</i> (µg/L)	50
Células de cianobactérias (célis./mL)	100.000
Riscos à Saúde	Efeitos adversos agudos resultam em irritações na pele e sintomas gastrointestinais em baixas frequências; potencial para efeitos crônicos, quando algumas espécies estão presentes.
Ações Típicas	Procurar natas, restringir banhos, sinalizar o local, alertando para riscos moderados, informar autoridades locais e posteriormente investigar os perigos.
Alta – Nível 3	
Microcistina (µg/L)	sem valores
Clorofila <i>a</i> (µg/L)	sem valores
Células de cianobactérias (célis./mL)	nata, milhões de células.
Riscos à Saúde	Potencial para envenenamentos agudos severos; Potencial para enfermidades crônicas, dependendo da espécie presente; Efeitos adversos agudos: irritações cutâneas e enfermidades gastrintestinais
Ações Típicas	Ações imediatas para prevenir contato com nata, sinalizar o local, alertando para riscos altos, informar às autoridades locais.

Fonte: Modificado de WHO (2003).

*Valores esperados para essa concentração de células e clorofila *a*, caso as cianobactérias presentes sejam produtoras de cianotoxinas.

4 PLANEJAMENTO E AÇÕES

A Organização Mundial de Saúde recomenda que as entidades gestoras do sistema de abastecimento público de água desenvolvam planos para garantir a qualidade da água, incorporando metodologias de monitoramento e um plano de contingência para gestão de riscos relativos à presença de cianobactérias. Dessa forma, privilegia-se uma abordagem focada na prevenção, garantindo a proteção da saúde pública.

A garantia da qualidade das águas para abastecimento público está intimamente relacionada à proteção da respectiva fonte de água bruta. A gestão das causas de contaminação das águas naturais traduz-se em maior disponibilidade com menor grau de contaminação, implicando num menor esforço no processo de tratamento. Quanto melhor a qualidade da água afluyente a uma Estação de Tratamento de Água - ETA, menos dispendiosos os meios necessários à salvaguarda da saúde pública.

4.1 Prevenção de Florações de Cianobactérias

As ações de prevenção do processo de eutrofização nos mananciais de abastecimento são extremamente importantes e devem se basear no controle dos fatores que contribuem para o processo. Algumas ações elencadas a seguir são formas de diminuir o impacto nos corpos d'água e o enriquecimento artificial dos mesmos:

- Regulamentação do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica;
- Ordenamento da ocupação territorial;
- Adoção de boas práticas na agricultura e pecuária;
- Controle da erosão e do uso de fertilizantes e herbicidas;
- Preservação das matas ciliares;

- Tratamento em nível terciário do esgoto doméstico e efluentes industriais brutos;
- Avaliação do regime de operação de reservatórios, como o tempo de residência e o fluxo da água, que podem influenciar as condições hidrodinâmicas.

As ações preventivas incluem ainda o monitoramento e registro das populações de cianobactérias, e para águas recreacionais, limitações de uso durante as florações e recomendações para lavar o corpo e equipamentos após as atividades de contato primário e secundário.

4.2 Monitoramento Preventivo

Não apenas efeitos adversos da ocorrência das cianobactérias devem ser avaliados, mas também seu importante papel na estrutura e funcionamento dos ecossistemas aquáticos como produtores primários, fixadores de nitrogênio atmosférico e bioindicadores de qualidade da água.

Os programas de monitoramento de florações de cianobactérias e cianotoxinas representam um desafio especial, pois estes organismos se multiplicam no ambiente e podem concentrar-se em determinadas porções de lagos e reservatórios pela ação do vento. Assim, a formação e dispersão de florações podem mudar em dias ou mesmo horas, tornando difícil a avaliação dos perigos associados.

O planejamento de um programa de monitoramento deve considerar o objetivo a ser alcançado e as características do corpo d'água avaliado.

Em ambientes lênticos (represas e lagos) ocorrem consideráveis populações de cianobactérias, que encontram condições ideais para seu desenvolvimento. Nestes locais deve-se considerar a heterogeneidade espacial e temporal de sua distribuição para fins de amostragem.

Já em sistemas lóticos (rios e riachos), com uma dinâmica hidrológica intensa e curto tempo de residência, não existem condições ideais para a ocorrência de cianobactérias planctônicas formadoras de florações, mas podem apresentar cianobactérias bentônicas, aderidas em substratos como rochas, plantas aquáticas, troncos, e nesses casos podem ser utilizadas com sucesso como indicadores biológicos da qualidade da água. A presença significativa de cianobactérias planctônicas nestes ambientes pode estar associada a fontes externas, como barramentos à montante, lagoas marginais, despejos de lagoas de tratamento ou tanques de piscicultura.

Programas de monitoramento podem incluir ainda:

- Avaliação dos perigos à saúde causados por cianobactérias/cianotoxinas;
- Identificação de áreas suscetíveis;
- Desenvolvimento de regulamentações em relação aos locais destinados ao abastecimento e recreação;
- Informação e educação para o público;
- Desenvolvimento de um programa de controle de poluição por nutrientes, entre outros.

O monitoramento de cianobactérias pode contemplar diferentes níveis de complexidade. Uma simples inspeção visual do corpo d'água, com mudança de coloração ou formação de natas, já indica a necessidade de um monitoramento mais sistemático. Variáveis como o fósforo total e a clorofila *a* também podem ser monitoradas, como prevenção e um indício para o aparecimento de florações. A presença de toxinas só é avaliada após a constatação da presença de células de cianobactérias em densidade significativa no ambiente (acima de 10.000 céls./mL). É importante ressaltar que a bacia hidrográfica, assim como os fenômenos naturais ou antrópicos afetando esta bacia, devem ser avaliados em sua totalidade.

A frequência do monitoramento está relacionada ao tempo de divisão celular das cianobactérias. Apesar da Portaria 2914/2011 exigir uma frequência mensal quando as concentrações estão abaixo de 10.000 céls./mL, recomenda-se o monitoramento quinzenal em uma primeira avaliação do ambiente. Os monitoramentos em períodos mais curtos podem ser necessários para avaliar tendências de florações já estabelecidas ou seu deslocamento vertical na coluna d'água em diferentes horários. A predominância de diferentes espécies de cianobactérias está relacionada às condições ecológicas, hidrológicas e ao manejo do local estudado.

Para o monitoramento das cianotoxinas, deve-se considerar que a persistência no ambiente varia com o tipo de toxina. As microcistinas apresentam degradação mais lenta: estudos demonstraram que foi necessário um período de 30 dias para degradação de 90% da microcistina dissolvida no ambiente. Esta característica é importante porque, apesar de determinado local não conter um número significativo de células de cianobactérias, as toxinas podem estar presentes em concentrações elevadas. Considera-se também que uma mesma cepa de cianobactéria pode produzir mais de um tipo de cianotoxina, com diferentes tempos de permanência no ambiente.

No monitoramento é importante avaliar a variabilidade do conteúdo de cianotoxinas ao longo do desenvolvimento das cianobactérias, pois a toxicidade cumulativa das microcistinas representa um perigo potencial. Se a concentração de toxinas mostra pouca variação durante várias semanas, ou meses, de florações para certas espécies chave, predições podem ser baseadas em contagens de células. Assim, as análises de toxinas, que tem um custo mais elevado ou uma complexidade analítica maior, podem ser realizadas esporadicamente.

Um importante aspecto a ser observado no monitoramento voltado para a balneabilidade é a dificuldade de se realizar amostragens exatamente nas margens com florações mais intensas, devido à grande heterogeneidade espacial resultante da dispersão da nata superficial.

Para fins de abastecimento público, o monitoramento deve ser na tomada de água, em perfil vertical, para acompanhar o deslocamento das cianobactérias pela coluna d'água. Pontos dispersos pelo manancial podem ser interessantes para avaliar potenciais fatores responsáveis pela produção das florações e seu deslocamento em função de ventos e fatores hidrodinâmicos.

A CETESB realiza monitoramento sistemático em vários corpos d'água no Estado de São Paulo e utiliza índices que contemplam cianobactérias para avaliação da qualidade da água tanto com vistas ao abastecimento público quanto à preservação da vida aquática que podem ser consultados nos Relatórios Anuais de Qualidade das Águas Interiores (disponível no site www.cetesb.sp.gov.br).

4.3 Planos de Contingência

Os Planos de Contingência têm como objetivo descrever as medidas a serem tomadas numa situação de emergência. Eles contemplam ações de monitoramento e gerenciamento e estabelecem um sistema de níveis de alerta, estipulando uma sequência de respostas graduadas na ocorrência de uma floração de cianobactérias. Essas ações devem ser apropriadas para o local considerado. Existem muitos planos de contingência propostos na literatura, cada um definido em função das características do local monitorado.

Qualquer desenvolvimento em massa de cianobactérias pode representar um risco em potencial para a saúde, pois estima-se que muitas toxinas ainda não identificadas possam ser produzidas por estes organismos e podem ter impacto na saúde da população. Os alertas à população são de extrema importância para esclarecimento quanto aos riscos aos quais estão expostas.

Como parte dos Planos de Contingência, as ações de monitoramento - como a avaliação preliminar da floração - incluem as inspeções de cor e odor do local, observação de natas, presença de partículas na água, verificação da ocorrência ou não de mortandade de peixes, e outras informações do local que possam ser importantes para a avaliação final. A inspeção visual pode gerar resultados

rápidos sobre a presença das florações, principalmente quando observadas mudanças de coloração. Entretanto não é totalmente eficaz, pois as natas podem se dispersar ou se acumular em curtos períodos de tempo. Além disso, populações metalimnéticas ou bentônicas podem ser subestimadas.

A avaliação das características físicas (morfometria e ventos) e químicas (nutrientes) de determinado corpo d'água e seu potencial para o desenvolvimento das florações são uma etapa importante do monitoramento eficiente, que deve incluir amostragens para identificação das espécies de cianobactérias envolvidas, além da análise da presença e concentração de cianotoxinas na água.

A partir desses resultados, é possível fazer uma avaliação dos riscos para a saúde humana e animal, contato com os órgãos públicos responsáveis pelo corpo d'água e pela comunicação dos riscos à população. O treinamento de gestores para o enfrentamento de episódios críticos desse tipo é indispensável.

Os protocolos que têm sido utilizados para implementação de Planos de Contingência em geral contemplam três níveis de alerta, que são definidos em função do local avaliado. A OMS, por meio do guia "*Toxic Cyanobacteria in Water: a guide to their public health consequences, monitoring and management*", apresenta alguns valores de referência a serem utilizados em programas de monitoramento e estabeleceu três níveis de alerta relativos ao uso da água para abastecimento público e orientações a serem seguidas após a identificação de cianobactérias nos corpos d'água. A Portaria 2914/2011 se baseou nesses dados da OMS para definir os valores de referência no Brasil.

Segundo a OMS, o **Nível de Vigilância** se instala quando, no monitoramento, for detectada uma colônia ou cinco filamentos de cianobactéria em 1 mL da amostra de água, quando o monitoramento passa a ser semanal. Entretanto, o documento informa que esse valor deve ser adaptado de acordo com o conhecimento do local avaliado e com o histórico do monitoramento. A Portaria 2914/2011 estabelece que o monitoramento deve ser semanal quando a contagem de células de cianobactérias exceder 10.000 céls/mL ou forem detectados gosto e odor

diferentes na água de abastecimento, pois estes podem ser indícios de uma floração. Neste caso as medidas necessárias são:

- Aumentar a frequência de coletas para pelo menos semanal;
- Inspecionar a entrada de água na captação, para observar a presença de natas de cianobactérias;
- Aplicar medidas corretivas necessárias;
- Realizar tratamento adequado para remoção do gosto/odor;
- Avaliar as ações implementadas e tomada de decisão em função desses resultados. Se o número de células de cianobactérias diminuir, volta-se ao monitoramento regular; se esse resultado não for atingido, deve-se passar ao Alerta de Nível 1.

O **Alerta de Nível 1** se instala a partir da confirmação de uma floração de cianobactérias potencialmente nocivas, que podem causar problemas ao abastecimento de água. A OMS considera que os limites para esse nível de alerta são valores superiores a 2.000 céls./mL ou 1,0 µg/L de clorofila a, assumindo que a espécie é considerada potencialmente tóxica pela literatura (como *Microcystis aeruginosa*, *Dolichospermum (Anabaena) circinalis*, *Cylindrospermopsis raciborskii*, entre outras). Nesse caso, as ações envolvem:

- Coleta de amostras para testes de toxicidade e confirmação da identificação das cianobactérias envolvidas na floração. Essa identificação deve ser feita por um profissional especialista. É interessante também fazer essas coletas na água já tratada, para confirmação da não contaminação e eficiência de remoção.
- Verificação da eficiência do processo de contenção da floração.
- Alerta às autoridades locais;
- Manutenção do monitoramento, pelo menos semanal. Se possível, coletar amostras em outros locais próximos para estabelecer variabilidades.

A tomada de decisão depende dos resultados observados nessa etapa. Se após três amostras sucessivas for diagnosticada tendência de estabilização da floração, ou se as espécies envolvidas no evento não forem tóxicas, o Alerta de Nível 1 é mantido, até que a floração desapareça.

Os limites considerados para um **Alerta de Nível 2** (número de células de cianobactérias igual ou superior a 100.000 cels/mL ou 50 µg/L de clorofila *a*, com presença de toxinas confirmada por análises químicas ou bioensaios) descrevem uma floração tóxica estabelecida. Essas condições são indicativas de um aumento significativo no risco de efeitos adversos à saúde humana pelo abastecimento de água não tratada, ou tratada por um sistema ineficiente, mesmo se a exposição for de curta duração. O uso de algicidas nesse caso pode agravar o problema, podendo aumentar a concentração de toxinas na água em função da lise celular.

Se não for possível tratar a água com métodos avançados, como o uso de carvão ativado, deve ser utilizado um plano de contingência para evitar o consumo da água. O plano pode envolver, por exemplo, a mudança da captação para um reservatório alternativo.

As medidas imediatas nesse caso incluem o aumento da frequência de monitoramento de amostras e dos testes de toxicidade, além da análise da água tratada para toxinas livres relacionadas à espécie dominante da floração. Caso a análise não esteja disponível, a água deve ser considerada imprópria para consumo. As autoridades locais devem ser notificadas, e a população deve ser orientada. O uso de placas indicativas do problema é recomendado.

4.4 Medidas Corretivas

As medidas corretivas envolvem a intervenção no ponto de captação (manejo da captação de água bruta) e a remoção desses organismos e compostos no sistema de tratamento de água. Devem também ser avaliados o uso de aeradores ou misturas artificiais da coluna d'água e a utilização de barreiras mecânicas para isolamento das natas.

No ponto de captação, várias medidas podem ser tomadas para diminuir o risco de contaminação da água que alimenta a estação de tratamento. A escolha do local de alocação do ponto de captação deve ser feita longe de zonas abrigadas e de baixa circulação, onde as florações tendem a se acumular. A distribuição das populações de cianobactérias e algas deve ser levada em conta e pode influenciar na profundidade da tomada de água, evitando a captação no ponto de máxima densidade de células de cianobactérias, ou estabelecendo alternativas em diferentes locais ou profundidades.

As cianotoxinas são intracelulares e, em condições normais, apenas uma pequena proporção é liberada pelas células viáveis para o ambiente. Porém, quando ocorre a lise da célula, as toxinas são liberadas de forma significativa para a coluna d'água. Por isso, a remoção de cianobactérias e cianotoxinas nas estações de tratamento deve ser feita de forma cuidadosa e planejada. Os processos de tratamento de água para abastecimento público devem remover as células viáveis sem promover a sua lise, além de remover a fração dissolvida das cianotoxinas.

4.5 Recuperação do Manancial

No caso de recuperação de um corpo d'água já eutrofizado, o controle das fontes externas de nutrientes deve ser complementado pelo controle interno de nutrientes e cianobactérias, ou seja, o tratamento do próprio corpo d'água. Esse controle pode envolver métodos físicos (circulação artificial da água, aeração do hipolímnio, dragagem de sedimentos), métodos químicos (uso de algicidas, precipitação do fósforo) e métodos biológicos, com o uso da biomanipulação.

Um dos métodos químicos mais utilizados no mundo todo, inclusive no Brasil, é a aplicação de algicidas. Porém, a utilização dessa técnica deve ser muito cuidadosa, pois induz a lise das células e liberação das cianotoxinas no corpo d'água. No Brasil, o uso de algicidas para o controle do crescimento de cianobactérias em mananciais de abastecimento de água foi proibido pela Portaria 2914/11. Essa portaria estabelece que as autoridades ambientais e de recursos

hídricos devem definir a regulamentação das excepcionalidades sobre o uso de algicidas. No Estado de São Paulo a Resolução Conjunta SMA/SSRH nº 004/2012 estabelece essa regulamentação.

5 MÉTODOS DE AMOSTRAGEM E ANÁLISE

A seguir serão descritos os métodos de coleta e análise com ilustração dos principais equipamentos e acessórios necessários para a coleta e análise.

5.1 Amostragem

A adoção de técnicas adequadas de coleta constitui um dos requisitos básicos em estudos quantitativos e qualitativos das cianobactérias. No entanto, a escolha da metodologia depende do problema a ser analisado e senso crítico na adequação dos métodos. É fundamental a obtenção de amostras representativas da comunidade, seja utilizando aparelhos sofisticados ou adaptando dispositivos mais simplificados.

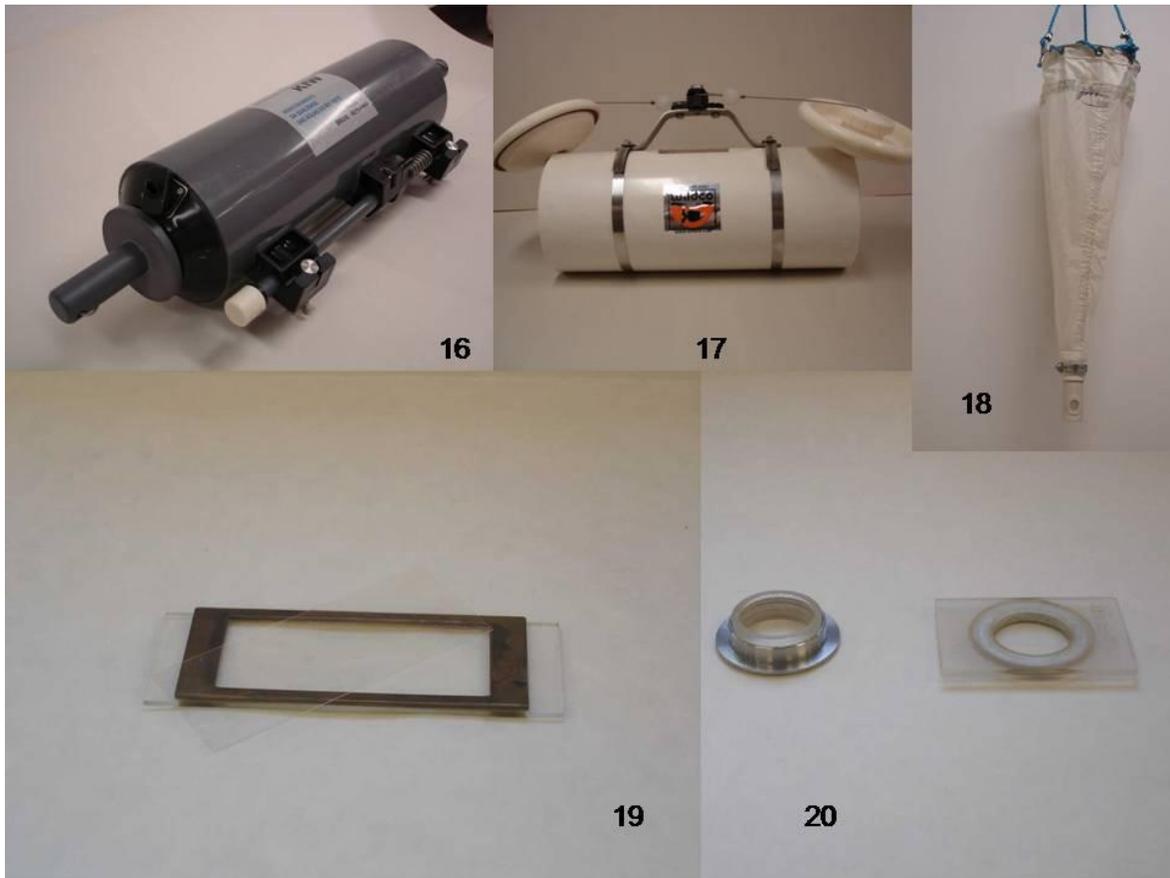
O planejamento amostral também irá depender dos objetivos a serem alcançados, do esforço requerido e das condições espaciais locais. Entretanto, algumas recomendações são extremamente importantes e deverão sempre ser levadas em conta, como considerar a variabilidade do sistema a ser estudado, que reflete a distribuição espacial, vertical e horizontal das cianobactérias, a frequência e os aspectos temporais relacionados às características ambientais nas diferentes épocas do ano.

Para amostragens de monitoramento é indicado consultar o Guia nacional de coleta e preservação de amostras, publicado pela CETESB e pela Agência Nacional de Águas – ANA em 2012, que possui informações úteis para campanhas de monitoramento.

Para amostragem quantitativa, geralmente utiliza-se garrafas adaptadas com dispositivo de fechamento. São garrafas cilíndricas que descem abertas e presas a um cabo graduado até a profundidade desejada, onde são fechadas automaticamente por meio de um peso (mensageiro), acionando o dispositivo de fechamento. As garrafas mais comumente utilizadas são as do tipo Kemmerer, Niskin, Nansen e van Dorn (fotos 16 e 17). Essas garrafas são utilizadas para amostragem composta da coluna d'água ou em diferentes profundidades, devido a heterogeneidade vertical na distribuição destes organismos. As amostras de superfície podem ser coletadas com garrafas do tipo van Dorn horizontal (foto 17) ou apenas utilizar baldes ou frascos de vidro.

Para a determinação de presença ou ausência de cianotoxinas recomenda-se a escolha de um local com maior concentração de cianobactérias, podendo ser utilizada rede de plâncton com abertura de malha de 20 μ m (foto 18) ou um galão, se no local houver grande concentração de organismos na superfície. Deve-se, também, observar, em campo, a ocorrência de ventos ou chuva, que podem prejudicar a amostragem.

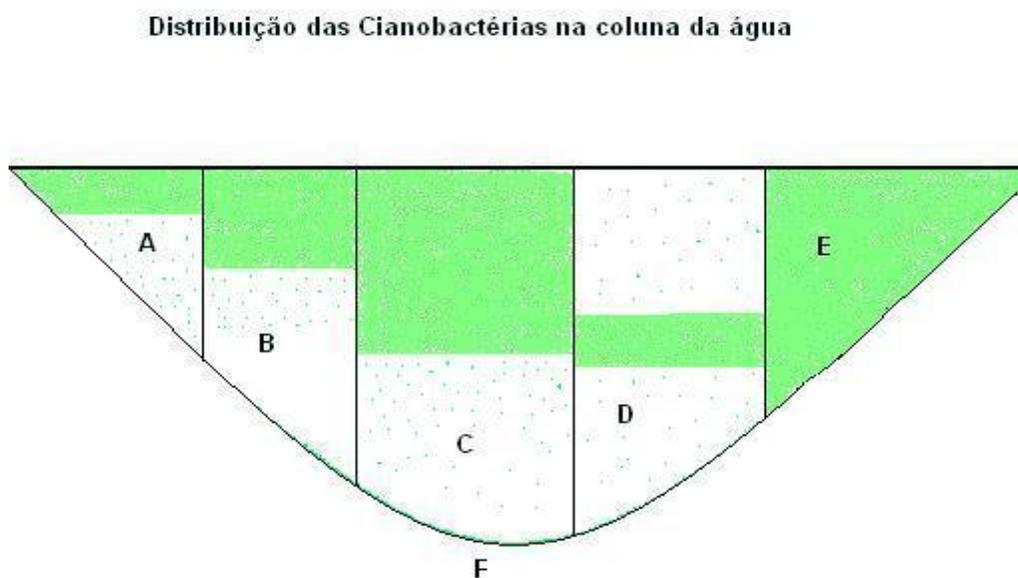
Fotos 16 a 20 - Equipamentos e acessórios utilizados na Amostragem e Análise



Legenda: 16 e 17 – Garrafa de van Dorn; 18 – Rede de Plâncton; 19 – Câmara de Sedgwick-Rafter; 20 – Câmara de Utermöhl.
Fonte: Carvalho (2012).

A distribuição vertical das cianobactérias pode variar em períodos curtos de tempo - horas ou dias. Assim, a localização da amostra na coluna de água pode ter um efeito substancial sobre os resultados. Por exemplo, se as cianobactérias forem coletadas em profundidade na coluna de água, e amostras para outras variáveis forem coletadas na superfície os resultados podem ser incoerentes. As distribuições das cianobactérias na coluna da água podem ser observadas na figura a seguir.

Figura 1 – Distribuição esquemática de florações



Legenda: **A:** as cianobactérias acumulam nas margens, local associado às coletas de balneabilidade. **B:** mesma distribuição em toda zona fótica ou limnética. **C:** profundidade específica na zona fótica, principalmente em locais rasos onde a luz penetra até o fundo. **D:** florações metalimnéticas. Este é um caso especial de uma população mantendo uma determinada profundidade na zona fótica. Florações metalimnéticas são evidenciadas pelos fortes aumentos do oxigênio em profundidade, geralmente perto da interface do epilímnio e metalímnio. São preocupantes no abastecimento de água potável porque as populações não são visíveis e podem estar localizadas na mesma profundidade de locais que são utilizados para captação de água. **E:** distribuição em toda a coluna da água. **F:** cianobactérias no sedimento.

Fonte: Adaptado de Graham *et al.*, (2008)

Cuidados durante a coleta são necessários, tendo em vista o potencial de produção de toxinas e que o contato com a pele pode causar irritação. Assim, o uso de luvas durante a coleta torna-se necessário. Atenção especial deve ser dada aos respingos nos olhos e inalação de aerossóis durante a amostragem, fazendo uso de máscaras e óculos quando necessário.

5.2 Metodologia analítica

A correta identificação de cianobactérias possibilita a avaliação imediata sobre o potencial tóxico da água e serve de orientação para a escolha de metodologia para detecção de cianotoxinas.

A contagem de cianobactérias requer algumas estratégias que são descritas em Chorus e Bartram (1999) e Norma Técnica CETESB L5.303 (2013, *in prelo*).

Em caso de caracterização de florações, que representam risco à saúde pública, é necessário considerar que pode ocorrer uma menor precisão da contagem em função da maior rapidez de resposta.

As amostras podem ser preparadas pelos métodos de centrifugação ou sedimentação, utilizando microscópio normal ou invertido.

Amostras preparadas por centrifugação podem sofrer perdas dos organismos e rompimento de células. Se a concentração for muito elevada, a contagem será mais trabalhosa e demorada. A análise do material centrifugado pode ser feita em câmaras de Sedgwick-Rafter (foto 19). Em casos excepcionais pode-se utilizar uma lâmina normal com lamínula selada com esmalte transparente, desde que conhecido o volume avaliado.

O método de sedimentação é realizado em Câmara de Utermöhl (foto 20), em que é realizada uma sub-amostragem de volumes de 10, 5 ou 2 mL. A câmara deverá permanecer em local plano para fornecer distribuição homogênea e em ambiente úmido para evitar a evaporação durante o tempo de sedimentação. Neste caso é necessária a utilização de um microscópio invertido para a contagem.

Para amostras provenientes de ambientes com alta concentração de cianobactérias não é necessário concentrar a amostra. Em alguns casos, é necessário diluir a amostra caso haja muito material em suspensão, observando que procedimentos de diluição devem ser considerados para cálculo da densidade ao final da contagem.

Outra estratégia que pode facilitar a contagem de colônias de cianobactérias é a

desintegração das colônias e eliminação da mucilagem pela hidrólise alcalina com KOH (Hidróxido de Potássio) ou NaOH (Hidróxido de Sódio) a quente, levando-se em conta, para o cálculo do resultado final, a diluição empregada no ensaio.

6 SISTEMA DE QUALIDADE

O controle de qualidade laboratorial e da amostragem permitem que em todas as etapas do ensaio sejam realizadas verificações sistemáticas que garantam a representatividade, exatidão e consistência dos dados gerados.

Para que se possa entender a dinâmica de sistemas de qualidade, deve-se primeiramente reconhecer a importância dos dados gerados, uma vez que ações serão tomadas a partir dos resultados ao final do processo.

Sistemas da qualidade são implementados e estabelecidos baseados em normas referenciadas e na garantia da qualidade regularmente avaliada.

Dos principais requisitos organizacionais para a implementação de um sistema da qualidade ressaltam-se a declaração da política da qualidade, manual da qualidade, procedimentos padronizados, controle de documentos, análises críticas sistemáticas, atendimento ao cliente, ações corretivas, ações preventivas, controle de trabalho não-conforme e auditorias internas. Como requisitos técnicos assinalam-se a qualificação do pessoal, sua avaliação e treinamentos constantes, condições ambientais, metodologias referenciadas (ou validadas) e revisões periódicas das mesmas, validação de métodos, equipamentos, rastreabilidade, controle da qualidade e apresentação dos dados.

A tabela 5 apresenta um resumo das verificações sistemáticas que podem ser realizadas a fim de garantir a qualidade em todas as fases do processo analítico.

Tabela 5 – Resumo das verificações para o controle da qualidade

Amostragem	Definição de um plano de amostragem; Verificações sistemáticas dos equipamentos e frascarias; Controle da temperatura e da luminosidade no acondicionamento e transporte.
Preservação	Amostras preservadas em campo devem ser checadas quanto à possíveis alterações químicas do preservativo, que pode perder sua função. Tampas devem permitir total vedação da amostra; Para permitir visualização de mobilidade de algumas espécies de cianobactérias é necessária também a coleta de material sem o uso de preservativos.
Aclimatação	A temperatura da amostra, do local do ensaio e dos equipamentos deve ser similar para garantir uma distribuição aleatória na câmara de sedimentação para efetuar a contagem dos organismos/células.
Homogeneização	A agitação manual do frasco de amostragem para a homogeneização das partículas deve ser padronizada.
Preparo da Câmara	O preenchimento da câmara após homogeneização da amostra deve ser realizado delicadamente para permitir uma distribuição aleatória dos organismos/células.
Contagem	Fazer uma avaliação preliminar (boa sedimentação, distribuição e espécies presentes), percorrendo toda a câmara; Definir o tipo de leitura, transectos ou campos. O número de transectos ou campos é determinado pelo técnico, conforme definição do erro aceitável e em função do objetivo do ensaio.
Repetitividade	Grau de concordância entre os resultados de um mesmo mensurando efetuadas sob as mesmas condições de medição. Observações 1) Condições de repetitividade incluem: - mesmo procedimento de medição; - mesmo observador; - mesmo instrumento de medição utilizado nas mesmas condições; - mesmo local; - repetição em curto período de tempo.
Reprodutibilidade	Grau de concordância entre os resultados das medições de um mesmo mensurando efetuadas sob condições variadas de medição.

(continua)

Tabela 5 – Resumo das verificações para controle da qualidade (*continuação*)

Reprodutibilidade (<i>continuação</i>)	Observações: 1) Para que uma expressão da reprodutibilidade seja válida, é necessário que sejam especificadas as condições alteradas que incluem: - princípio de medição; - método de medição; - observador; - instrumento de medição; - padrão de referência; - local; - condições de utilização; - tempo.
Interlaboratorial	Avaliar periodicamente a precisão entre os técnicos por meio de um ensaio de uma mesma amostra aplicado a diferentes laboratórios.

A Figura 2 apresenta uma sugestão de ações de controle da qualidade em laboratórios de ensaio de fitoplâncton e cianobactérias.

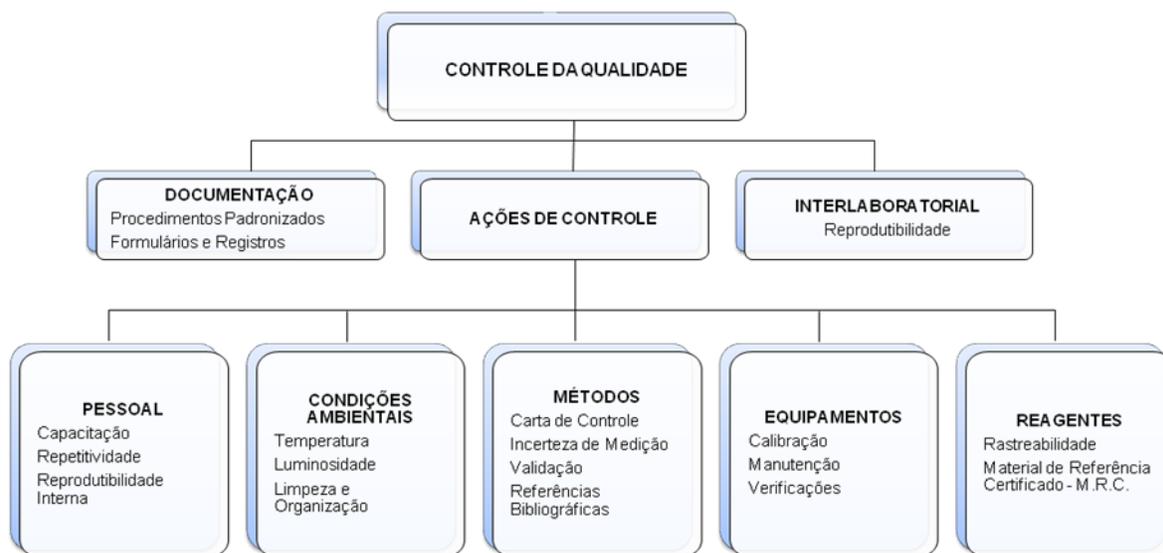


Figura 2 – Requisitos sugeridos para controle da qualidade em laboratórios de ensaio de fitoplâncton e cianobactérias.

7 RECOMENDAÇÕES FINAIS

A presença de toxinas naturais coloca em risco a manutenção da qualidade da água, seja para a agropecuária, uso recreacional ou abastecimento público.

As florações, na sua maioria, além de produzirem substâncias tóxicas, produzem gosto e odor indesejáveis na água, que não são eliminados pelo sistema de tratamento convencional. A remoção de algumas substâncias tóxicas ou organolépticas da água por carvão ativado é um procedimento bastante conhecido e deve ser utilizado durante períodos de florações. A técnica de remoção de toxinas mais adequada deve ser avaliada caso a caso. Em períodos de florações de cianobactérias, não é aconselhável a pré-cloração da água bruta, pois a grande quantidade de matéria orgânica aumenta a probabilidade de formação de compostos do grupo de trihalometanos, que tem potencial cancerígeno além do possível rompimento das células, liberando toxinas.

Em ambientes utilizados para recreação é importante a interdição de locais onde ocorram florações e deve ser alertado à população que:

- Florações de cianobactérias podem ser tóxicas e causar irritabilidade aos olhos e pele, bem como causar distúrbios gastrintestinais, hepatoenterites e outros efeitos tóxicos ao homem;
- Nadar em praias onde as águas têm coloração verde ou massa de cianobactérias na superfície da água, ou beber essa água sem os devidos tratamentos, pode causar danos à saúde;
- A fervura da água não remove ou destrói toxinas de cianobactérias;
- O consumo de peixes e outros organismos de águas com florações deve ser evitado.

É importante lembrar que há a necessidade de diminuir ou mesmo eliminar os lançamentos de cargas poluentes no ambiente aquático, principalmente esgotos domésticos, que são a fonte primária de nutrientes para os corpos hídricos, visando evitar a recorrência de florações.

O controle da poluição ambiental, associado ao reflorestamento de matas ciliares, é fundamental para evitar que o uso de águas superficiais para consumo humano caminhe para um colapso. O uso racional dos mananciais aliado às medidas de recuperação de águas eutrofizadas, minimizariam a proliferação exagerada de cianobactérias, inclusive nas regiões favoráveis para a floração.

BIBLIOGRAFIA

AGUJARO L.F. **Subsídios para um plano de monitoramento de cianobactérias em reservatórios com vistas à balneabilidade. Estudo de Caso: Reservatório Salto Grande, Americana, SP.** [Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo] Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Campinas - UNICAMP, Campinas, 2007.

APHA; AWWA; WEF. **10200 A - F: Plankton.** In: *Standard methods for the examination of water and wastewater on line.* Washington, DC, 2006. Approved by SM Committee 2011. Disponível em: <<http://www.standardmethods.org>>. Acesso em: nov. 2012.

AUSTRALIAN GOVERNMENT. National Health and Medical Research Council. **Guidelines for managing risks in recreational water.** Canberra, AU, 2008. 216 p. Disponível em: <<http://www.nhmrc.gov.au/>>. Acesso em: nov. 2012.

AZEVEDO, S.M.F.O. Toxinas de cianobactérias: causas e consequências para a saúde pública. **Medicina on Line:** Revista Virtual de Medicina, Uberlândia, v. 1, n. 3, jul./set. 1998. Disponível em: <http://www.medonline.com.br/med_ed/med3/microcis.htm>. Acesso em: nov. 2012.

BRASIL Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA N° 274, de 29 de novembro de 2000. Revisa os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 25 jan. 2001. Seção 1, p. 70-71. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=272>>. Acesso em: jan. 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n° 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. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, n. 53, 17 mar. 2005. Seção 1, p. 58-63. Alterada pelas Resoluções n° 370, de 2006, n° 397, de 2008, n° 410, de 2009, e n° 430, de 2011. Complementada pela Resolução n° 393, de 2009. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: jan. 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n° 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 14 dez. 2011. Seção 1, p. 39-46.

CARMICHAEL, W.W. Cyanobacteria secondary metabolites: the cyanotoxins. **Journal of Applied Bacteriology**, v. 72, p. 445-459, 1992.

CARMICHAEL, W.W. et al. Human fatalities from cyanobacteria: chemical and biological evidence for cyanotoxins. **Environmental Health Perspectives**, v. 109, p. 663-668, 2001.

CETESB. **Florações de algas azuis (*Trichodesmium erythraeum*) no litoral dos estados de São Paulo e Paraná**. [Relatório Técnico]. São Paulo, 2000.

BRANDÃO, Carlos Jesus et al. (Org.) **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011. 325 p. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/arquivos/20120321181900_Guia_Nacional_de_Coleta.pdf>. Acesso em: nov. 2012.

CETESB. **L5.303: Fitoplâncton de água doce: métodos qualitativo e quantitativo**. São Paulo, 2013. No prelo.

CHORUS, I.; BARTRAM, J. (Ed.) **Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management**. London, GB: E&FN Spon: WHO, c1999. 416 p. Disponível em: http://www.who.int/water_sanitation_health/resources/toxiccyanbact/en/. Acesso em: jan. 2013.

CHORUS, J.; REES, G. **Monitoring bathing waters; a practical guide to the design and implementation of assessments and monitoring programmes**. Londres: E&FN Spon, 2000.

CODD, G.A. et al. Cyanobacterial toxins, exposure routes and human health. **European Journal of Phycology**, v. 34, p. 405-415, 1999.

COX, P.A. et al. Diverse taxa of cyanobacteria produce β -N-methylamino-L-alanine, a neurotoxic amino acid. **PNAS**, v. 102, n. 14, p. 5074-78, 2005.

FALCONER, I.R. et al. Using activated carbon to remove toxicity from drinking water containing Cyanobacterial blooms. **Journal of the American Water Works Association**, v. 81, n. 2, p. 102-5, 1989.

FALCONER, I.R.; HUMPAGE, A.R. Health Risk Assessment of Cyanobacterial (Blue-green algal) toxins in drinking water. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, v. 2, n. 1, p. 43-50, 2005.

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 p.

GRAHAM, J.L. et al. . **Guidelines for design and sampling for cyanobacterial toxin and taste-and-odor studies in lakes and reservoirs**. Kansas, US: Geological Survey, 2008. 39 p. (Scientific Investigations Report 2008–5038).

HART, J.; FAWELL, J.K.; CROLL, B. The fate of both intra- and extracellular toxins during drinking water treatment. **Water Supply**, v. 16, p. 611-616, 1998.

JOCHIMSEN, E.M. et al. Liver failure and death after exposure to microcystins at a hemodialysis Center in Brazil. **The New England Journal of Medicine**, n. 338, p. 873-878, 1998.

JONASON, S. et al. A novel Cyanobacterial toxin (BMAA) with potential neurodegenerative effects. **Plant Biotechnology**, v. 25, p. 227-232, 2008.

KAMOGAE, M. et al. Monitoramento de microcistinas em água para consumo humano na região de Itaipu, Paraná – Brasil. **Braz. J. Food Technol.**, v. 5, p.109-116, 2002.

LEMES, G.A.F.; YUNES, J.S. O ambiente e as cianobactérias. **Ecos**, v. 25, p. 9-11, 2006.

MAFRA-JUNIOR, L.L.; FERNANDES, L.F.; PROENÇA, L.A.O. Harmful algae and toxins in Paranaguá Bay, Brazil: bases for monitoring. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 54, p. 107-121, 2006.

MATSUZAKI, M. **Transposição das águas do braço Taquacetuba da represa Billings para a represa Guarapiranga: aspectos relacionados à qualidade de água para abastecimento**. 183 p. [Tese de Doutorado em Saúde Ambiental]. Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

OLIVER, R.L.; GANF, G.G. Freshwater blooms. In: WHITTON, B. A.; POTTS, M. **The ecology of cyanobacteria**. Netherlands: Kluwer Academic, 2000. p. 149-194.

PÁDUA, V.L. (Coord.) **Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano**. Belo Horizonte, MG: PROSAB, 2006. 503 p.

PEREIRA, L.P.F.; MERCANTE, C.T.J. A amônia nos sistemas de criação de peixes e seus efeitos sobre a qualidade de água: uma revisão. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 81-88, 2005.

PEREIRA-NAVAS, D. Eutrofização e floração de fitoplâncton marinho. **Ambiente: Revista CETESB de Tecnologia**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 38-48, 1994.

PILOTTO, L.S. et al. Health effects of exposure to cyanobacteria (blue-green algae) due to recreational water-related activities. **Australian and New Zealand**

Journal of Public Health, v. 21, p. 562–566, 1997.

REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (Org.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3. ed. São Paulo: Escrituras, 2006.

REYNOLDS, C.S. **The ecology of freshwater phytoplankton**. Cambridge: Cambridge University Press, 1984. 384 p.

SANT'ANNA, C.L. et al. **Manual Ilustrado para identificação e Contagem de Cianobactérias Planctônicas de Águas Continentais Brasileiras**. Rio de Janeiro: Interciência, 2006. 58 p.

TUNDISI, J.G.; TUNDISI, T.M. Eutrofication of lakes and reservoirs: a comparative analysis, case studies, perspectives. In: CORDEIRO-MARINO, M. et al (Ed.). **Algae and environment: a general approach**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Ficologia, 1992. p. 1-33,

WATZIN, M.C. et al. Application of the WHO Alert Level Framework to Cyanobacterial Monitoring of Lake Champlain, Vermont. **Environmental Toxicology**, v. 21, p. 278-288, 2006.

WHO **Guidelines for safe recreational water environments** . Genebra,2003. 219 p. v. 1: coastal and fresh waters, Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/bathing/srwe1/en/>. Acesso em: jan. 2013.

WHO **Guidelines for drinking Water Quality. Addendum to volume 1: recommendations**. Genebra, (2004). 36 p. Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq2004web.pdf>. Último acesso em jan. 2013.

YUNES, J. et al. Florações de cianobactérias tóxicas: mãos à obra ao problema. In: ROLAND, Fábio; CESAR, Dionéia. MARINHO, Marcelo (Ed). **Lições de Limnologia**, São Carlos: Rima, 2005. p. 299-323.

ZAGATTO, P.A. et al. **Manual de orientação em casos de florações de algas tóxicas: um problema ambiental e de saúde pública**. São Paulo: CETESB, 1997. 24 p.

ZOHARY, T.; ROBERTS, R.D. Diurnal mixed layers and the long-term dominance of *Microcystis aeruginosa*. **J. Plankton Res.**, v. 11, p. 25-48, 1989.

APÊNDICE A – Glossário

Aerótopos: vesículas gasosas que ocorrem especialmente em cianobactérias planctônicas e auxiliam na sua flutuação.

Bainha de mucilagem: camada mucilagenosa que envolve células ou tricomas, formada por polissacarídeos excretados pelas células. Nas cianobactérias coloniais é frequentemente chamada de envelope mucilagenoso.

Biofilme: comunidade biológica com alto grau de organização, na qual os organismos formam comunidades estruturadas, coordenadas e funcionais. Estas comunidades encontram-se embebidas em matrizes poliméricas produzidas por elas mesmas. A associação dos organismos em biofilmes constitui uma forma de proteção ao seu desenvolvimento, favorecendo relações simbióticas e permitindo a sobrevivência em ambientes hostis.

Cianotoxinas: Toxinas produzidas por cianobactérias que causam efeitos adversos à saúde do homem e de alguns animais.

Cocóide: esférico.

Cosmopolita: diz-se do organismo que ocorre em todos os continentes ou águas oceânicas.

Endotoxina: toxinas que estão presentes no interior das células, e que somente são liberadas para o meio após o rompimento da parede celular. Isso pode ocorrer devido ao envelhecimento da célula ou à utilização de compostos químicos que atuem sobre essa parede.

Epilímnio: Camada de água superior à termoclina.

Eutrofização: é o processo de enriquecimento das águas de ecossistemas aquáticos por meio do aumento da concentração de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo. Pode ser um processo natural, devido à falta de mistura

entre as camadas superficiais e profundas de um ecossistema aquático, ou artificial, com o aporte de efluentes agrícolas, urbanos ou industriais nos corpos d'água. Este enriquecimento produz mudanças na qualidade da água, como a redução do oxigênio dissolvido, morte de peixes, decréscimo da diversidade de espécies das diferentes comunidades e aumento da incidência de florações de cianobactérias.

Filamento: conjunto constituído pela bainha mucilagenosa e pela fileira de células (tricoma).

Fitoplâncton: constituído pelos organismos aquáticos microscópicos fotossintetizantes do plâncton. É responsável pela base da cadeia trófica em ambientes aquáticos, por meio da fotossíntese.

Fotossíntese: Processo de conversão de dióxido de carbono para carbono orgânico (carbohidrato) que ocorre ao nível dos cloroplastos, pela ação da energia luminosa absorvida pelos pigmentos fotossintetizantes, especialmente clorofila.

Lêntico: Ambientes de água parada, como lagos e reservatórios.

Lise: dissolução ou destruição da célula, com rompimento da membrana celular e liberação do conteúdo citoplasmático.

Lótico: Ambientes de água corrente, como rios.

Manancial: é uma fonte de água, superficial ou subterrânea, utilizada para abastecimento humano e manutenção de atividades econômicas. As áreas de mananciais compreendem as porções do território percorridas e drenadas pelos cursos d'água, desde as nascentes até os rios e represas.

Mata Ciliar: Formação vegetal localizada nas margens dos rios, córregos, lagos, represas e nascentes, essencial ao equilíbrio ambiental. É considerada pelo Código Florestal Federal como "área de preservação permanente", com

diversas funções ambientais, devendo respeitar uma extensão específica de acordo com a largura do rio, lago, represa ou nascente.

Metalímnio: Zona de um corpo d'água, ocupada pela termoclina e situada entre o hipolímnio e epilímnio.

Monitoramento: observação, medição e avaliação contínua ou repetida do ambiente para propósitos definidos, considerando a variação espacial e temporal, utilizando métodos comparáveis para a coleta e medição dos dados.

Montante: todo local que se situa antes de um ponto referencial qualquer de um curso d'água. Por exemplo: a nascente de um rio é o seu ponto mais a montante.

Plâncton: comunidade de organismos microscópicos, que vivem em suspensão, flutuando livremente ou com movimentos fracos, mas sem capacidade de movimentação ativa contra correntes.

Procarionte: organismo cujo DNA e tilacóides estão livres no citoplasma, ou seja, não possuem membrana envolvendo o núcleo e o plasto.

Técnica de Utermöhl: técnica utilizada para contagem de fitoplâncton. Os organismos são concentrados diretamente em câmaras de sedimentação – as câmaras de Utermöhl – e são observadas no microscópio invertido.

Tempo de Residência: É o tempo médio que a massa de água fica retida em um compartimento antes de ser transportada para o compartimento adjacente. O tempo de residência (TR) constitui um indicador importante do comportamento ecológico e da capacidade de auto-limpeza de sistemas estuarinos e costeiros.

Zona fótica: Camada de um corpo d'água onde a luz pode penetrar o suficiente para que se dê a fotossíntese.

