



CAPTAR
ciência e ambiente para todos

volume 7 • número 1 • p 15-25

Cianobactérias: problemática e estratégias de gestão em sistemas dulçaquícolas com uso recreativo

Cianobactérias são organismos procariotas capazes de realizar fotossíntese. Em determinadas condições ambientais, estes organismos podem multiplicar-se e atingir densidades muito elevadas – blooms. Estes blooms contribuem negativamente para a qualidade da água, podendo conduzir a problemas ecológicos, económicos, ou representar um risco para a saúde pública, devido à capacidade de algumas espécies produzirem toxinas. Os relatos de envenenamento devido à presença de cianotoxinas na água são cada vez mais comuns e com registos em todo o mundo. Num contexto de alterações climáticas, com o aumento da temperatura e da eutrofização por ação humana, as condições de excelência para a formação dos blooms tornam-se mais frequentes. Neste domínio, Portugal não é uma exceção, tendo vindo a ser registados blooms frequentes, principalmente em lagos e albufeiras, com predominância de espécies potencialmente tóxicas. Este facto constitui um motivo de preocupação e um alerta para a necessidade de adoção de estratégias de gestão. Neste sentido, vários documentos legais têm sido criados para a proteção das massas de água e da saúde pública. Este trabalho teve como objetivo enquadrar a problemática relacionada com a presença de cianobactérias em sistemas aquáticos dulçaquícolas, bem como os mecanismos legais disponíveis para a sua gestão em águas para uso recreativo.

Palavras-chave

cianobactérias
estratégias de gestão
saúde pública

Inês P.E. Macário¹

Bruno B. Castro^{2,4}

Isabel M.S. Nunes^{2,3}

Fernando Gonçalves^{1,2}

Daniela R. de Figueiredo^{1,2*}

¹ Departamento de Biologia, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.

² CESAM (Centro de Estudos do Ambiente e do Mar), Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.

³ Departamento de Ambiente e Planeamento, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.

⁴ Centro de Biologia Molecular e Ambiental (CBMA) & Departamento de Biologia, Universidade do Minho, Braga, Portugal.

* inese@ua.pt

Introdução

As cianobactérias são organismos procariotas de dimensões microscópicas, que apresentam uma coloração característica verde-azulada devido à presença de um pigmento chamado ficocianina. Por este motivo, estes microrganismos têm na sua designação o termo “ciano”, tendo sido também denominados anteriormente de algas verde-azuladas. Contudo, estes organismos não são algas, mas sim bactérias gram-negativas capazes de realizar fotossíntese (Newcomb, 2009). Apesar de a maioria utilizar a luz solar como fonte de energia (através da fotossíntese), algumas espécies podem sobreviver na escuridão completa e outras podem até ser heterotróficas (Fay, 1965). Estas características permitem-lhes viver em quase todos os tipos de habitat, e desta forma ser encontradas em todos os continentes, em águas doces, salinas e salobras, em florestas tropicais, desertos e outros habitats terrestres, mas também no ar. São, portanto, organismos muito adaptáveis que podem sobreviver mesmo em condições adversas e em regiões afetadas pela seca e outras flutuações climáticas (Chorus e Bartram, 1999).

As cianobactérias podem ocorrer isoladamente ou em colónias, e a sua densidade populacional pode aumentar para níveis tão elevados que podem alterar a cor da água e formar uma espessa camada verde (scum) à superfície (Merel et al., 2013). Elevadas densidades de cianobactérias, comumente designadas por florescências ou blooms cianobacterianos, encontram-se normalmente associadas a elevadas temperaturas, águas pouco agitadas e com níveis altos de pH e condutividade, transparência reduzida e baixos níveis de azoto e fósforo dissolvidos (Codd, 2000; de Figueiredo et al., 2006). Quando comparadas com outros organismos fitoplanctónicos, as cianobactérias apresentam baixas taxas de crescimento, necessitando que a massa de água apresente tempos de retenção longos para formar blooms. Muitas espécies formadoras de blooms possuem vesículas gasosas intracelulares (Walsby, 1994) que lhes permitem regular a sua migração vertical na coluna de água. A perda da regulação da flutuabilidade (e.g., por foto-oxidação) pode levar a uma acumulação densa de células na superfície, potenciando a formação de scum (Oliver e Ganf, 2000), que é arrastada para as margens pela ação do vento. Em casos extremos, estas aglomerações podem tornar-se muito densas e adquirir uma consistência gelatinosa (Chorus et al., 2000). A degradação das células faz libertar o seu conteúdo para a água, onde os pigmentos intracelulares podem conferir à água uma coloração cobre azulada; de seguida, a decomposição bacteriana pode levar a uma rápida putrefação deste material. Este cenário resulta muitas vezes em acumulações de material com aspeto repulsivo e potencialmente tóxico, situação esta que pode mudar rapidamente, numa questão de horas, ou permanecer inalterada durante semanas (WHO, 2003).

O fenómeno das alterações climáticas tem potenciado a frequência de episódios de precipitação extrema e seca, colocando em risco a qualidade da água em massas de água doce (Bond et al., 2008). Nos últimos anos tem-se assistido a um aumento global da frequência, gravidade e duração de blooms de algas nocivas, tanto em águas salgadas como doces (Codd et al., 2005). Apesar de as razões por detrás dessa expansão ainda não serem completamente claras, o aquecimento global e a degradação da qualidade da água por ação humana, são apontados como duas causas principais (Chorus e Bartram, 1999; Codd et al., 2005). As atividades humanas (e.g., a agricultura e o tratamento inadequado de águas residuais) podem ser responsáveis pela eutrofização de muitas massas de água (Carmichael, 2008) e, desta forma, potenciar a proliferação excessiva de microalgas e cianobactérias, com um impacto negativo na qualidade da água (WHO, 2003).

Em regiões temperadas, a dominância de cianobactérias é mais pronunciada durante os meses de verão, coincidindo com o período de maior procura de sistemas aquáticos para uso recreativo (WHO, 2003). Esta procura pode representar riscos para a saúde humana, devido à possível produção de toxinas por parte de muitas espécies de cianobactérias formadoras de blooms (Chorus e Bartram, 1999; de Figueiredo et al., 2004; Codd et al., 2005). De acordo com os efeitos tóxicos manifestados em mamíferos, estas toxinas podem ser classificadas como neurotoxinas, hepatotoxinas, citotoxinas, irritantes ou toxinas gastrointestinais (Metcalf e Codd, 2012). Contudo, a toxicidade não é uma característica específica de certas espécies, sendo que a mesma espécie pode apresentar estirpes tóxicas e não tóxicas (WHO, 2003). Uma vez que os efeitos das supramencionadas cianotoxinas podem ser agudos ou crónicos, é importante existirem medidas de proteção contra exposições a curto e a longo prazo. No caso de exposições a curto prazo, os possíveis efeitos na saúde podem ser reversíveis (e.g., exposições cutâneas que podem levar a irritações da pele e a reações alérgicas), enquanto as exposições a longo prazo podem resultar em danos de diversos órgãos (Funari e Testai, 2008).

Não é apenas a saúde humana que é passível de ser afetada pelos blooms. Os efeitos negativos também se verificam através da redução da biodiversidade e morte de alguns organismos devido à desoxigenação da coluna de água, perda de oportunidades de pesca e custos associados a doenças humanas, o que pode levar à desclassificação de pontos turísticos (Merel et al., 2013). Pretende-se com este trabalho teórico enquadrar a problemática relacionada com a presença de cianobactérias em sistemas aquáticos dulçaquícolas, bem como os mecanismos legais que se encontram em vigor para a sua gestão em águas para uso recreativo.



Mecanismos de gestão de águas balneares

As atividades recreativas praticadas tanto em águas interiores como marinhas encontram-se em expansão por todo o mundo (WHO, 2003). Estas utilizações vão desde atividades de contacto corporal com a água (como é o caso da natação, surf e canoagem) às atividades onde não há contato direto (tais como a pesca, caminhadas, observação de aves e piqueniques) (WHO, 2003). Uma vez que podem ocorrer efeitos negativos para saúde dos utilizadores relacionados com problemas na qualidade da água, é importante desenvolver diretrizes e estratégias de gestão que garantam um ambiente seguro, saudável e esteticamente agradável (WHO, 2003). A gestão e regulamentação de água potável, bem como banear, estão a aumentar em muitos países, e a preocupação com a problemática das cianobactérias é cada vez mais crescente, tanto no seio das organizações de saúde como da comunidade científica (Chorus, 2012).

Numa lógica de gestão, é importante ter em conta que a presença de cianobactérias deve ser tratada com precaução, até que a ausência de toxicidade seja confirmada. Essa é a razão para a criação de um modelo de gestão designado por Alert Level Framework (ALF) (Ministry of Health, 2016). O ALF consiste numa sequência de monitorização e de ações que os operadores e os reguladores podem usar numa resposta gradual ao aparecimento de blooms potencialmente tóxicos. O conceito do ALF foi inicialmente desenvolvido para a gestão de algas na Austrália, em 1991 (Newcomb, 2009). Posteriormente, este modelo foi adotado e utilizado internacionalmente pela Organização Mundial de Saúde (OMS), como um sistema modelo para a resposta a blooms de cianobactérias, bem como por outras organizações para a monitorização de águas balneares e agrícolas (Newcomb, 2009). Em 1999, a OMS (WHO, 2003) criou

recomendações internacionais para a vigilância de cianobactérias em águas balneares, e estabeleceu três níveis de alerta associados a medidas de gestão específicas (ver Tabela 1). Segundo a OMS, um único valor de referência não seria apropriado, mas sim uma série de orientações associadas à gravidade progressiva e à probabilidade da existência de efeitos adversos para a saúde (Chorus e Bartram, 1999; WHO, 2003).

TABELA 1: Descrição dos três níveis de alerta propostos pela OMS para águas balneares.

Nível 1 Probabilidade relativamente baixa de ocorrência de problemas de saúde	>20 000 células cianobacterianas/mL; >10 µg/L clorofila <i>a</i> (para esta densidade é possível esperar entre 2-4 µg/L de microcistinas)	Dentro destes valores, os danos devidos à presença de microcistinas são improváveis. Desta forma, é suficiente informar os visitantes. É também recomendável que as autoridades sejam informadas, para que possam realizar uma nova vigilância ao local.
Nível 2 Probabilidade moderada de ocorrência de problemas de saúde	>100 000 células cianobacterianas/mL; >50 µg/L clorofila <i>a</i> (se estiver presente um bloom de <i>Microcystis</i> sp. é possível esperar 20 µg/L de microcistinas)	Devido aos riscos de uma rápida formação de scum, a monitorização deve ser realizada diariamente. Aconselham-se campanhas de informação do público para que evitem o contacto com scum. Em alguns casos, deve haver restrições à prática do banho; as autoridades de saúde devem ser notificadas.
Nível 3 Risco elevado de ocorrência de problemas de saúde	Presença de bloom, tapete ou camada espessa verde à superfície da água (normalmente designada por scum)	Recomendam-se ações imediatas para controlar o contato com a scum e possível proibição de atividades de contacto com a água.

Os parâmetros utilizados para monitorizar a presença de cianobactérias diferem de país para país: enquanto a OMS recomenda a contagem de células de cianobactérias e a estimativa de clorofila *a*, em locais como a Austrália é apenas utilizada a contagem de células de uma única espécie (*Microcystis aeruginosa*) ou métricas como o biovolume de cianobactérias, ou análises à cianotoxina mais comum (microcistina), à semelhança do que é feito na Holanda (Brient et al., 2008).

Todavia, é extremamente importante otimizar estratégias de monitorização que permitam avaliar, no momento adequado, o risco de contaminação de uma massa de água. Neste sentido, vários métodos têm sido utilizados para a quantificação do fitoplâncton (cianobactérias incluídas), mas a concentração de clorofila *a* é a mais comum, juntamente com a análise taxonómica e as contagens de células através do microscópio. No entanto, estes métodos são morosos, requerem um especialista (em particular para a identificação taxonómica) e os resultados estão apenas disponíveis vários dias após a amostragem (Gregor e Maršálek, 2005). Além disso, a clorofila *a* pode não ser o parâmetro mais adequado para a avaliação de um bloom de cianobactérias, uma vez que este pigmento não é exclusivo deste grupo, estando também presente noutros organismos fotossintéticos, como várias microalgas (clorófitas, diatomáceas ou dinoflagelados). Outro problema associado ao uso da clorofila *a* é o facto de esta não aumentar de um modo linear com o número de células cianobacterianas, apesar de os programas de monitorização atuais se basearem neste princípio (Chorus e Bartram, 1999). Assim, o uso de pigmentos específicos deste grupo (e.g., ficocianina) parece ser mais aconselhado. A ficocianina é um pigmento fotossintético acessório das cianobactérias que emite fluorescência, o que significa que pode ser facilmente quantificado através de técnicas fluorimétricas (Lee et al., 1995). Quando comparada com outras técnicas analíticas, a fluorimetria apresenta uma elevada sensibilidade, especificidade, simplicidade e baixo custo. Além disso, esta técnica

não exige que seja feito nenhum tratamento especial da amostra, o que a torna ideal para a monitorização *in situ* ou mesmo para sistemas de monitorização remota, com sistemas on-line com recolha de dados em tempo real (Srivastava et al., 2013). Por esta razão, vários autores (Ahn et al., 2002, 2007; Brient et al., 2008; Bastien et al., 2011; Macário et al., 2015) trabalharam no desenvolvimento de valores de referência de ficocianina para serem usados em programas de monitorização, apesar de nenhum ter sido ainda legalmente reconhecido.

Informação ao Público

Uma vez efetuada a monitorização, os resultados devem estar disponíveis em tempo útil para que os utilizadores possam tomar decisões informadas e os reguladores possam tomar decisões de gestão adequadas. Como medida de precaução, a OMS sugere que as seguintes orientações sejam fornecidas aos utilizadores recreativos de albufeiras e lagos, mormente em zonas balneares (WHO, 2003):

1 • evitar áreas com cianobactérias ou algas em concentrações visíveis ou com a presença de scums tanto em água como em terra (ver Figura 1), uma vez que o contacto direto e ingestão de quantidades apreciáveis de água representam um risco elevado para a saúde;

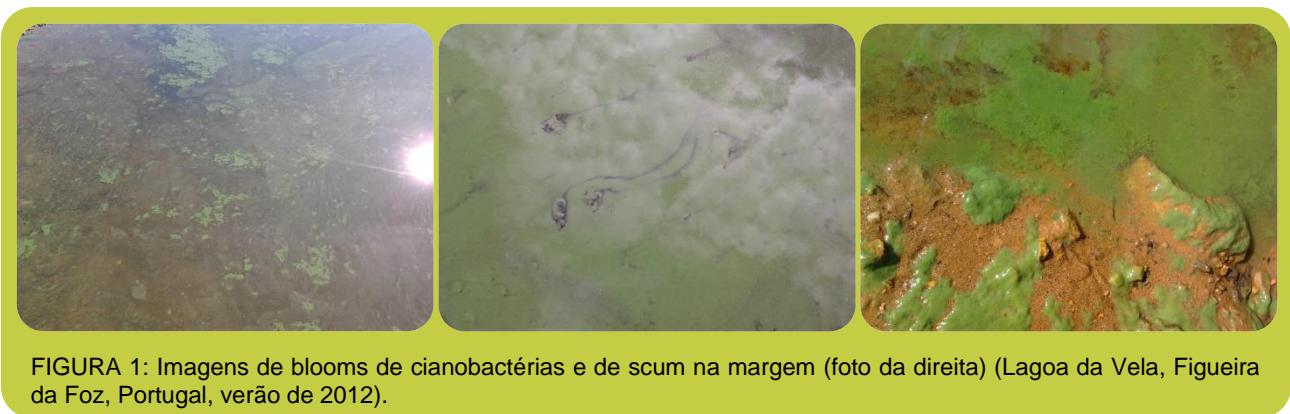


FIGURA 1: Imagens de blooms de cianobactérias e de scum na margem (foto da direita) (Lagoa da Vela, Figueira da Foz, Portugal, verão de 2012).

2 • em locais onde não é visível scum, mas a água apresenta uma forte coloração esverdeada e turbidez, a prática do banho deve ser evitada;

3 • em locais onde a água apresenta um tom esverdeado e seja visível scum, desportos como o ski aquático devem ser evitados, devido à potencial pulverização de algas e cianobactérias;

4 • a utilização de fatos para desportos aquáticos pode conduzir a um maior risco de erupções cutâneas, devido ao perigo de cianobactérias ou material algal ficarem presos dentro deste tipo de vestuário, e consequentemente ficar em contacto com a pele por longos períodos;

5 • os velejadores devem ter em atenção a ingestão acidental de quantidades consideráveis de água, especialmente os iniciantes ou em caso de tempestade;

6 • depois de chegar a terra, recomenda-se tomar banho, de forma a remover a presença de possíveis cianobactérias ou algas;

7 • as roupas e equipamentos devem ser lavados com água limpa após qualquer contacto com águas com blooms cianobacterianos, algais ou com scum;

8 • caso a pessoa que esteve em contacto com a água sinta qualquer efeito na saúde, deve procurar conselho médico e as autoridades públicas devem ser informadas.

Em caso da ocorrência de um bloom, um alerta que pode ser utilizado para informar e envolver a população é a divulgação da seguinte mensagem: "Se caminhar pela água até os joelhos, com cuidado, sem revolver os sedimentos, e não puder observar os seus pés devido a uma coloração esverdeada, não deve nadar e deve informar a autoridade local..." (traduzido de Chorus e Bartram, 1999). É também importante referir a natureza temporária e a distribuição local variável da scum, de forma a demonstrar que as restrições às atividades de lazer são apenas temporárias e muitas vezes locais; é também aconselhável informar o público de locais próximos onde possa ser encontrada água não contaminada (NHMRC, 2008).



Instrumentos legais aplicáveis em Portugal

Em Portugal, os blooms de cianobactérias são cada vez mais comuns e muitas vezes formados por espécies potencialmente tóxicas, tais como *Microcystis* spp. (Vasconcelos et al., 1993; de Figueiredo et al., 2006), *Aphanizomenon flos-aquae* (Vasconcelos, 1995; Ferreira et al., 2001; de Figueiredo et al., 2006; Saker et al., 2007; Vasconcelos et al., 2011), *Aphanizomenon gracile* (de Figueiredo et al., 2009), *Anabaena flos-aquae* (Vasconcelos, 1995; Vasconcelos et al., 1996, 2011) e *Cylindrospermopsis raciborskii* (Saker et al., 2003; Valério et al., 2005; Moreira et al., 2011). As cianobactérias tóxicas pertencentes aos géneros *Microcystis* e *Cylindrospermopsis* são normalmente encontradas em águas doces que são utilizadas para consumo humano ou para fins recreativos (Saker et al., 2003). Apesar de intoxicações agudas serem raras, em 1993 morreram pacientes de diálise devido a uma contaminação por *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena* sp. e *Oscillatoria* sp., no sistema aquático de extração utilizado para abastecimento público, pertencente à Bacia Hidrográfica do Rio Guadiana (Oliveira, 1995).

À semelhança de outros países, em Portugal está a aumentar o papel das estruturas de gestão de risco para a regulamentação da segurança da água potável e de uso recreativo. Para a Comunidade Europeia, a principal legislação relativa à gestão da água é apoiada pela "Diretiva-Quadro da Água", que em Portugal foi transposta para a "Lei da Água". No entanto, no caso das águas balneares, a Diretiva 2006/7/CE é o documento legal principal, que em Portugal foi transposta para o Decreto-Lei 113/2012. Especificamente no caso de contaminação por cianobactérias existe o "Programa de Monitorização de Cianobactérias", que deve ser realizado para avaliar o risco que estas podem representar para a saúde pública.

Diretiva Quadro da Água e Lei da Água

A Diretiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de outubro de 2000, conhecida por Diretiva Quadro da Água (DQA), é o documento de política europeia mais importante em matéria de gestão da água. Este documento estabelece um quadro de ação comunitária no domínio da política da água e utiliza uma abordagem abrangente e integrada de proteção e de gestão dos recursos hídricos, com o objetivo de alcançar o bom estado de todas as massas de água inicialmente até 2015, agora até 2027 (2000/60/CE, 2000). Para atingir este objetivo, o referido diploma introduz o conceito de "estado ecológico", como uma forma de expressar a qualidade estrutural e funcional dos ecossistemas aquáticos, baseando-se no "desvio ecológico" relativamente a condições de referência, ou seja, a condições sujeitas a pressões humanas pouco significativas (INAG, 2009). Em Portugal, a Diretiva Quadro da Água foi inicialmente

transposta para o direito interno pela Lei nº 58/2005, de 29 de dezembro. Contudo, após algumas alterações é republicada de novo em 2012 (Decreto-Lei nº130/2012, de 22 de junho) e estabelece as bases para uma gestão sustentável dos recursos hídricos e define o quadro institucional para este setor. Prevê a criação de instrumentos de gestão, como os planos especiais de ordenamento do território, planos de recursos hídricos e medidas de proteção e valorização dos recursos hídricos, que visam aliar a proteção e a utilização sustentável dos recursos hídricos à proteção de pessoas e bens (DL 130/2012, 2012).

Diretiva para a Gestão da Qualidade das Águas Balneares e Decreto-Lei 113/2012

Em 2006 a Comissão Europeia (CE) adotou uma nova diretiva para as águas balneares, que exige padrões mais rigorosos e reduz o número de testes laboratoriais exigidos nos planos de monitorização de rotina de 19 para apenas 2 indicadores bacterianos (*Escherichia coli* e *Enterococos intestinais*), substituindo as antigas políticas da Diretiva Águas Balneares CE que existiam desde 1976 (Mansilha et al., 2009). Portugal segue esta nova Diretiva e, com este documento, a vigilância da proliferação de cianobactérias torna-se necessária. Contudo, embora proponha um protocolo claro para controlar os riscos de contaminação fecal, não fixa qualquer quadro para a monitorização dos riscos associados ao desenvolvimento de proliferações de cianobactérias (Brient et al., 2008). A Diretiva 2006/7/CE de 15 fevereiro de 2006 foi transposta para o direito nacional pelo Decreto-Lei nº 135/2009 de 3 de junho, alterado pelo Decreto-Lei nº 113/2012 de 23 de maio. Este último diploma, entre outras alterações, define a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), Instituto Português (I.P.), como autoridade competente pela sua coordenação e fiscalização, e estabelece o regime de identificação, monitorização e classificação da qualidade das águas balneares e de prestação de informação ao público sobre as mesmas (DL 113/2012, 2012).

Assim, é da responsabilidade da APA I.P. o estabelecimento de programas de monitorização que permitam a análise da qualidade das águas balneares. Estes programas consistem numa avaliação microbiológica baseada na análise de bactérias fecais (*Enterococos intestinais* e *Escherichia coli*) para os quais o Decreto-Lei nº113/2012 apresenta os valores em percentil, usados na classificação da qualidade das águas balneares. Com base nestes programas de monitorização, as águas são avaliadas e classificadas como “má”, “aceitável”, “boa” ou “excelente”, tendo em conta critérios definidos pelo respetivo Decreto-Lei (DL113/2012, 2012).

Para além destas análises, compete ao diretor do Departamento de Saúde Pública, em articulação com as unidades de saúde pública, desenvolver ações de vigilância sanitária que complementem a avaliação da qualidade das águas balneares (DL 113/2012, 2012), sempre que este considere que estas são necessárias para a avaliação do risco. Estas ações consistem na avaliação da presença de cianobactérias e/ou *Salmonella*. É também da responsabilidade do diretor da Direção Geral da Saúde (DGS) efetuar ações de vigilância sanitária em áreas onde, embora não tendo sido identificadas como águas balneares, a Autoridade de Saúde considere que pelo número de utilizadores ou pelas condições locais ofereçam riscos para a saúde (Circular Normativa nº11/ DSAO).

Deste modo, no que diz respeito às cianobactérias, o artigo 13º do Decreto-Lei nº113/2012 indica que, quando o perfil das águas balneares revelar um risco potencial de proliferação de cianobactérias, deve ser realizada uma monitorização apropriada de modo a permitir identificar os riscos para a saúde. No caso de águas balneares, pode esperar-se que ocorram efeitos moderados na saúde (que se podem agravar

progressivamente) a partir de cerca de 20 000 células cianobacterianas por mL ou de valores de clorofila a superiores a 10 µg/mL, com predomínio de cianobactérias, que poderão corresponder a valores de microcistinas na ordem de 2 a 10 µg/L, dependendo da toxicidade do bloom (Lopes e Santos, 2007).

Programa de monitorização de cianobactérias

Os Departamentos de saúde pública têm a responsabilidade de promover o Programa de Monitorização de Cianobactérias (Circular Normativa no11/ DSAO). Este programa deve ser implementado apenas em locais onde, pelo historial ou pelas características atuais das massas de água, seja previsível a ocorrência de cianobactérias e suas toxinas. Além disso, este programa pode ser implementado tanto em sistemas de abastecimento de água com origem superficial para consumo humano, como em águas balneares interiores (Lopes e Santos, 2007). De acordo com o programa referido, a observação visual constitui um aspeto essencial, uma vez que é possível suspeitar ou reconhecer a presença de cianobactérias através da observação de:

- cor da água com tonalidades esverdeada ou azul-esverdeada;
- deposição de uma camada seca de cor azul, rosa ou verde nas margens;
- animais mortos (peixes, aves, etc.) no interior ou ao redor da massa de água.

A avaliação da presença de cianobactérias deve ser mensal e realizada de maio a outubro. Contudo, sempre que se registre um acontecimento excecional que o justifique, esta avaliação deverá ser reforçada (Lopes e Santos, 2007). Sempre que as análises revelarem um número de células superior a 20 000 células cianobacterianas por mL, deve ser realizada a caracterização das toxinas através de bioensaios (ARH, 2012).

Assim, sempre que forem detetadas visualmente cianobactérias em águas balneares deve proceder-se à avaliação do risco que estas possam representar para a saúde pública. Sempre que esse risco seja detetado, o delegado de saúde regional deve informar imediatamente a APA, I.P., que, por seu turno, deve tomar as medidas de gestão adequadas. O risco resultante da presença de cianobactérias deve ser comunicado ao público, sendo que a disponibilização de informação ao público no local é da competência da APA, I.P. e do delegado de saúde regional, com a colaboração do Serviço de Proteção da Natureza e do Ambiente e (SEPNA), da Autoridade Marítima e das autarquias locais (DL 113/2012, 2012). Por precaução, a presença de blooms implica a interdição da zona balnear seguida de avaliação de risco (ARH, 2012).



CONSIDERAÇÕES FINAIS

O crescimento massivo de cianobactérias é um problema global cada vez mais frequente e com consequências graves para os ecossistemas e a saúde pública. Regra geral, são apenas tomadas medidas após o desenvolvimento dos blooms, pondo em risco os utilizadores dos sistemas aquáticos contaminados. Isto mostra a necessidade da existência de planos de monitorização que permitam antecipar a ocorrência de blooms cianobacterianos. Neste sentido, o uso de pigmentos específicos de cianobactérias poderá ajudar a avaliar o estado de desenvolvimento de um bloom de uma forma simples e rápida. É igualmente importante conhecer previamente as condições ambientais e ecológicas dos corpos de água, de forma a compreender as circunstâncias nas quais um bloom se pode desenvolver, permitindo às autoridades competentes tomar medidas antecipadamente. Assim sendo, para além dos planos de monitorização

atualmente em vigor, a incorporação dos aspetos acima descritos poderá melhorar a qualidade da monitorização. Isto torna-se especialmente importante num cenário de alterações climáticas, que não só favorece o aparecimento de blooms, como dificulta a previsão dos mesmos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahn CY, Chung AS, Oh HM (2002). Rainfall, phycocyanin and N:P ratios related to cyanobacterial blooms in a Korean large reservoir. *Hydrobiologia* 474: 117–124.
- Ahn CY, Joung SH, Yoon SK, Oh HM (2007). Alternative alert system for cyanobacterial bloom, using phycocyanin as a level determinant. *The Journal of Microbiology* 45: 98–104.
- ARH Norte (2012). Orientações para a execução do programa “Vigilância sanitária das zonas balneares interiores.” Ministério da Saúde. Portugal
- Bastien C, Cardin R, Veilleux E, Deblois C, Warren A, Laurion L (2011). Performance evaluation of phycocyanin probes for the monitoring of cyanobacteria. *Journal of Environmental Monitoring* 13: 110–118.
- Bond NR, Lake PS, Arthington AH (2008). The impacts of drought on freshwater ecosystems: an Australian perspective. *Hydrobiologia* 600: 3–16.
- Brient L, Lengronne M, Bertrand E, Rolland D, Sipel A, Steinmann D, Baudin I, Legeas M, Le Rouzic B, Myriam B (2008). A phycocyanin probe as a tool for monitoring cyanobacteria in freshwater bodies. *The Royal Society of Chemistry* 10: 248–255.
- Carmichael WW (2008). A world overview — One-hundred-twenty-seven years of research on toxic cyanobacteria — Where do we go from here? In: Hudnell HK (ed), *Cyanobacterial Harmful Algal Blooms: State of the Science and Research Needs. Advances in Experimental Medicine and Biology*: 105–125.
- Chorus I (2012). Current approaches to Cyanotoxin risk assessment, risk management and regulations in different countries. Federal Environment Agency, Germany
- Chorus I, Bartram J (1999). *Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management*. E & FN Spon, London.
- Chorus I, Falconer IR, Salas HJ, Bartram J (2000). Health risks caused by freshwater cyanobacteria in recreational waters. *Journal of Toxicology Environmental Health Part B: Critical Review* 3: 323–347.
- Codd G, Azevedo S, Bagchi S, Burch M, Carmichael W, Harding W, Kaya K, Utkilen H, 2005. CYANONET A Global Network for Cyanobacterial Bloom and Toxin Risk Management. Initial Situation Assessment and Recommendations. International Hydrological Programme (IHP) of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Paris, 1–5.
- Codd GA (2000). Cyanobacterial toxins, the perception of water quality, and the prioritisation of eutrophication control. *Ecological Engineering* 16: 51–60.
- de Figueiredo D, Alves A, Pereira MJ, Correia A (2009). Molecular characterization of bloom-forming *Aphanizomenon* strains isolated from Vela Lake (Western Central Portugal). *Journal of Plankton Research* 32: 239–252.
- de Figueiredo D, Azeiteiro UM, Esteves SM, Goncalves FJ, Pereira MJ (2004). Microcystin-producing blooms - a serious global public health issue. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 59: 151–163.
- de Figueiredo D, Reboleira ASSP, Antunes SC, Abrantes N, Azeiteiro U, Gonçalves F, Pereira MJ (2006). The effect of environmental parameters and cyanobacterial blooms on phytoplankton dynamics of a Portuguese temperate lake. *Hydrobiologia* 568: 145–157.
- Fay P (1965). Heterotrophy and nitrogen fixation in *Chlorogloea fritschii*. *Microbiology* 39: 11–20.
- Ferreira, FMB, Soler JMF, Fidalgo ML, Fernandez-Vila P (2001). PSP toxins from *Aphanizomenon flos-aquae* (cyanobacteria) collected in the Crestuma-Lever reservoir (Douro river, northern Portugal). *Toxicon* 39: 757–761.
- Funari E, Testai E (2008). Human health risk assessment related to cyanotoxins exposure. *Critical Reviews in Toxicology* 38: 97–125.
- Gregor J, Maršálek B (2005). A simple in vivo fluorescence method for the selective detection and quantification of freshwater cyanobacteria and eukaryotic algae. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica* 33: 142–148.
- INAG Instituto Português (2009). Manual para a avaliação da qualidade biológica da água em lagos e albufeiras

- segundo a Directiva Quadro da Água. Protocolo de amostragem e análise para o Fitoplâncton. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Instituto da Água, I.P. Portugal
- Lee T, Tsuzuki M, Takeuchi T, Yokoyama K, Karube I (1995). Quantitative determination of cyanobacteria in mixed phytoplankton assemblages by an *in vivo* fluorimetric method. *Analytica Chimica Acta* 302: 81–87.
- Lopes R, Santos C (2007). Orientações para a monitorização de cianobactérias em águas superficiais. ARSC/CRSPC. Portugal
- Macário IE, Castro B, Nunes MS, Antunes S, Pizarro C, Coelho C, Gonçalves F, de Figueiredo D (2015). New insights towards the establishment of phycocyanin concentration thresholds considering species-specific variability of bloom-forming cyanobacteria. *Hydrobiologia* 757: 155–165.
- Mansilha CR, Coelho CA, Heitor AM, Amado J, Martins JP, Gameiro P (2009). Bathing waters: new directive, new standards, new quality approach. *Marine Pollution Bulletin* 58: 1562–1565.
- Merel S, Walker D, Chicana R, Snyder S, Baurès E, Thomas O (2013). State of knowledge and concerns on cyanobacterial blooms and cyanotoxins. *Environment International* 59: 303–327.
- Metcalf JS, Codd GA (2012). Cyanotoxins. In: Whitton, B. A. (ed), *The Ecology of Cyanobacteria II - Their Diversity in Space and Time*: 651–675. Springer Science+Business Media B.V. 2012
- Ministry of Health (2016) Guidelines for Drinking-water Quality Management for New Zealand. (2nd edn) New Zealand. Ministry of Health, Wellington, New Zealand. Pp.365
- Moreira C, Martins A, Azevedo J, Freitas M, Regueiras A, Vale M, Antunes A, Vasconcelos V (2011). Application of real-time PCR in the assessment of the toxic cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* abundance and toxicological potential. *Applied Microbiology and Biotechnology* 92: 189–197.
- Newcombe G. (Ed.) (2009) International Guidance Manual for the Management of Toxic Cyanobacteria. Global Water Research Coalition (UK) & Water Quality Research Australia. Australia.
- NHMRC, 2008. Guidelines for managing Risks in Recreational Water. Australian Government, National Health and Medical Research Council. Australia
- Oliveira FA (1995). Effects of cyanobacteria on drinking water and human health: An epidemiological study in Evora, Portugal. Proceedings of the International Symposium on Assessing and Managing Health Risks from Drinking Water Contamination: Approaches and Applications. Rome, Italy, 101–110.
- Oliver RL, Ganf GG (2000). Freshwater blooms. In: de Figueiredo D (2010). Caracterização molecular de cianobactérias de sistemas aquáticos portugueses. Tese de Doutoramento. Universidade de Aveiro. Aveiro, Portugal
- Saker ML, Nogueira ICG, Vasconcelos VM, Neilan BA, Eaglesham GK, Pereira P (2003). First report and toxicological assessment of the cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* from Portuguese freshwaters. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 55: 243–250.
- Saker ML, Vale M, Kramer D, Vasconcelos VM (2007). Molecular techniques for the early warning of toxic cyanobacteria blooms in freshwater lakes and rivers. *Applied Microbiology and Biotechnology* 75: 441–449.
- Srivastava A, Singh S, Ahn CY, Oh HM, Asthana RK (2013). Monitoring approaches for a toxic cyanobacterial bloom. *Environmental Scientific Technology* 47: 8999–9013.
- Valério E, Pereira P, Saker ML, Franca S, Tenreiro R (2005). Molecular characterization of *Cylindrospermopsis raciborskii* strains isolated from Portuguese freshwaters. *Harmful Algae* 4: 1044–1052.
- Vasconcelos VM (1995). Toxicologia de cianobactérias: Distribuição de cianobactérias tóxicas e suas toxinas em águas doces portuguesas: Bioacumulação em bivalves. Tese de Doutoramento. Universidade do Porto. Porto, Portugal.
- Vasconcelos VM, Evans WR, Carmichael WW, Namikoshi M (1993). Isolation of microcystin-LR from a *Microcystis* (cyanobacteria) waterbloom collected in the drinking water reservoir for Porto, Portugal. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Environmental Science and Engineering* 28: 2081–2094.
- Vasconcelos VM, Sivonen K, Evans WR, Carmichael WW, Namikoshi M (1996). Hepatotoxic microcystin diversity in cyanobacterial blooms collected in Portuguese freshwaters. *Water Research* 30: 2377–2384.
- Vasconcelos VM, Morais J, Vale M (2011). Microcystins and cyanobacteria trends in a 14 year monitoring of a temperate eutrophic reservoir (Aguieira, Portugal). *Journal of Environmental Monitoring* 13: 668–672.
- Walsby AE (1994). Gas Vesicles. *Microbiological Reviews* 58: 94–144.
- WHO (2003). Algae and cyanobacteria in fresh water Guidelines for safe recreational water environments. World Health Organization, Geneva, Switzerland: 136–158.

LEGISLAÇÃO

Circular Normativa nº11 de 31 de maio de 2010. Execução do Programa de Vigilância Sanitária das Zonas Balneares Interiores. Direção-Geral da Saúde, Portugal

Decreto-Lei n.º 113/2012, de 23 de maio de 2012. Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território. Diário da República nº100/2012, Série I

Decreto-Lei n.º 130/2012, de 22 de junho de 2012. Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território. Diário da República nº120/2012, Série I

Diretiva 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro 2000, que estabelece um quadro de ação comunitária no domínio da política da água. Journal Oficial das Comunidades Europeias L 327, 22.12.2000: 1-72.