



_ Novos valores-guia da Organização Mundial de Saúde para cianotoxinas em águas para consumo humano e balneares

New World Health Organisation cyanotoxin guideline values for drinking and recreational waters

Elsa Dias, Tânia Rosado, Carina Menezes

elsa.dias@insa.min-saude.pt

Departamento de Saúde Ambiental, Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge, Lisboa, Portugal

_Resumo

As cianobactérias são organismos procariotas fotoautotróficos, presentes numa variedade de habitats, designadamente nas águas doces superficiais. Sendo produtores primários, são essenciais nos ecossistemas, uma vez que estão na base da cadeia trófica e são uma das principais fontes de oxigénio. No entanto, produzem compostos tóxicos (cianotoxinas) que constituem um risco para a saúde pública, sendo a principal via de exposição humana a estas toxinas a ingestão de água contaminada. A legislação comunitária e nacional regulamenta o teor de cianotoxinas em água de consumo humano e em águas balneares, contemplando a microcistina-LR. Não obstante a evolução do conhecimento acerca das cianotoxinas, quer em termos toxicológicos, quer em termos analíticos, existem ainda muitas lacunas que não permitem elaborar legislação que abranja todos os tipos de cianotoxinas, pelo que a monitorização das massas de água está circunscrita às toxinas mais conhecidas e estudadas – as microcistinas. Recentemente, a Organização Mundial da Saúde procedeu a uma atualização dos valores-guia de cianotoxinas (incluindo cilindropermopsina, anatoxina e saxitoxina) para águas de consumo humano e balneares. Neste artigo apresentaremos um resumo destas novas orientações e discutiremos a sua relevância para o conhecimento e monitorização de cianobactérias tóxicas em águas doces superficiais nacionais.

_Abstract

Cyanobacteria are photoautotrophic prokaryotic organisms that live in diverse habitats, namely superficial water bodies. As primary producers, they constitute the basis of the food chain and play a primary role in oxygen production. However, they have also the ability to produce toxins (cyanotoxins) that pose a major threat to Public Health. The main route of exposure in humans is the ingestion of contaminated water. Implementation of European and national legislation has regulated the concentration of cyanotoxins in drinking and recreational waters, specifically of microcystin-LR. Regardless of the knowledge evolution concerning cyanotoxins, whether toxicological or analytic, there are still scientific gaps that impair the establishment of legislation that cover all toxin types. Water monitoring is therefore limited to the most common toxins, microcystins. Recently WHO has elaborated an update of the guidelines for cyanotoxins (including other toxins such as cylindrospermopsis, anatoxin and saxitoxin) in drinking and recreational waters. In this paper, we present a summary of these new guidelines and discuss their relevance for the knowledge and monitoring of toxic cyanobacteria in national superficial waters.

_Introdução

As cianobactérias são organismos procariotas fotoautotróficos, presentes numa variedade de habitats, designadamente nas águas doces superficiais. Sendo produtores primários, são essenciais nos ecossistemas, uma vez que estão na base da cadeia trófica e são uma das principais fontes de oxigénio. No entanto, produzem compostos tóxicos (cianotoxinas) que constituem um risco para a saúde pública, sendo a principal via de exposição humana a estas toxinas a ingestão de água contaminada.

A legislação comunitária e nacional regulamenta o teor de cianotoxinas em água de consumo humano e em águas balneares, contemplando a microcistina-LR. Não obstante a evolução do conhecimento acerca das cianotoxinas, quer em termos toxicológicos, quer em termos analíticos, existem ainda muitas lacunas que não permitem elaborar legislação que abranja todos os tipos de cianotoxinas, pelo que a monitorização das massas de água está circunscrita às toxinas mais conhecidas e estudadas – as microcistinas. Recentemente, a Organização Mundial da Saúde procedeu a uma atualização dos valores-guia de cianotoxinas (incluindo cilindropermopsina, anatoxina e saxitoxina) para águas de consumo humano e balneares.

_Objetivo

Neste artigo apresentamos um resumo das novas orientações da Organização Mundial da Saúde relativas a cianotoxinas e discutimos a sua relevância para o conhecimento e monitorização de cianobactérias tóxicas em águas doces superficiais nacionais.



Ocorrência de cianobactérias tóxicas em águas doces superficiais

Os recursos de água doce superficial nacionais são largamente usados para a produção de energia, irrigação, atividades recreativas e balneares, sendo fonte de água para consumo humano para cerca de 60% da população portuguesa (1,2). Uma proporção significativa desses recursos são reservatórios artificiais derivados de rios, tais como barragens e albufeiras. Essas barreiras artificiais alteram o fluxo natural dos rios e criam corpos de água lânticos que são vulneráveis à eutrofização (1). De notar que, cerca de 42% das albufeiras portuguesas estão eutrofizadas e muitas outras apresentam sinais de progressiva degradação do estado trófico (2). A eutrofização favorece a proliferação massiva de cianobactérias (3), fenómeno conhecido como *bloom*. As alterações climáticas, designadamente o aumento global da temperatura e a seca, também são fatores que contribuem para o agravamento deste fenómeno (4).

Os *blooms* cianobacterianos têm impactos ambientais negativos tais como a desoxigenação da água, a mortalidade de peixes por anoxia ou asfixia e a alteração da composição e diversidade da comunidade fitoplanctónica. Por outro lado, causam a alteração das características organolépticas da água devido à produção de compostos orgânicos voláteis (COVs) como a geosmina e o 2-Metilisoborneol (2-MIB) (5). Embora estes compostos sejam geralmente considerados como não tóxicos, a sua presença altera a perceção de segurança das populações relativamente à qualidade da água. No entanto, a característica mais negativa dos *blooms* é a capacidade das cianobactérias produzirem toxinas, o que acarreta riscos para a saúde humana e animal. A exposição a estas toxinas pode ocorrer através da ingestão de água para consumo indevidamente tratada ou da ingestão accidental de água bruta durante atividades recreativas, desportivas ou ocupacionais nas massas de água superficiais.

As cianotoxinas mais comuns a nível global são as microcistinas (hepatotoxinas potencialmente cancerígenas) (6). Em Portugal também ocorrem esporadicamente neurotoxinas, especificamente saxitoxina e derivados (7) e anatoxina-a (9).

Até à data, apenas foi registada uma ocorrência de cilindrospermopsina (citotoxina e genotoxina) (10).

A ocorrência de *blooms* cianobacterianos em águas doces superficiais portuguesas é frequente, estando muitas vezes associados a estirpes tóxicas, pelo que a monitorização de cianobactérias e cianotoxinas é uma questão relevante para a saúde pública (11). A monitorização destas ocorrências garante, não só, o controlo da qualidade da água, prevenindo riscos para a saúde, como também contribui para a implementação de medidas que visam reduzir os custos associados ao seu tratamento. O Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge (INSA) assegura desde 1996 a monitorização de cianobactérias e toxinas associadas em albufeiras nacionais, mantendo uma coleção de culturas de cianobactérias (Estela Sousa e Silva Algae Culture Collection – ESSACC) com estirpes isoladas de albufeiras nacionais, usadas em trabalhos de investigação.

Avaliação do risco de exposição humana a cianotoxinas

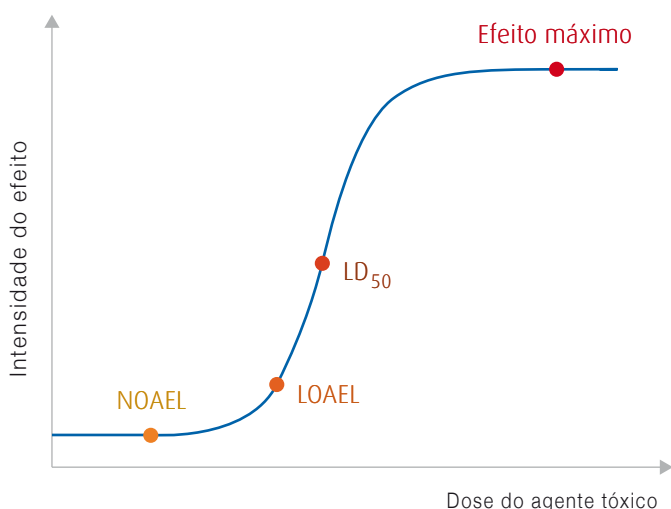
A avaliação do risco associado a cianotoxinas não é simples, pois embora a perigosidade destas toxinas esteja identificada, o risco que acarretam não é fácil de caracterizar e quantificar. Os efeitos causados pelas cianotoxinas são comuns a muitas patologias, pelo que é difícil estabelecer uma relação causa-efeito entre a exposição a água contaminada e a sintomatologia respetiva. Efetivamente, os dados epidemiológicos são escassos, e muitas vezes inconclusivos, e a ocorrência no meio hídrico estará provavelmente subavaliada, devido, também, a limitações analíticas. Por outro lado, não obstante a evolução do conhecimento da toxicologia destes compostos, desconhecem-se ainda mecanismos de ação e efeitos de muitas cianotoxinas (toxicodinâmica), bem como a forma como são absorvidas, distribuídas, metabolizadas e eliminadas (toxicocinética) pelo organismo. Por outro lado, está ainda pouco estudado o efeito das misturas de cianotoxinas, que muitas vezes coocorrem nas massas de água, uma vez que estirpes cianobacterianas da mesma espécie ou de espécies diferentes, produtoras de diferentes cianotoxinas, podem coexistir no mesmo *bloom*.



artigos breves_ n. 1

A avaliação do risco de exposição a cianotoxinas constitui, tal como para outros contaminantes e agentes tóxicos (12), um processo de análise faseado e que implica: i) identificação dos perigos associados às toxinas [informação toxicológica e epidemiológica que permite associar as toxinas a efeitos nocivos, ou seja, estabelecer a relação causa-efeito, e estimar a Dose Diária Aceitável (DDA)]; ii) a caracterização da relação dose-resposta [medida do efeito adverso em função da concentração do agente]; iii) avaliação da exposição às toxinas [identificação das vias e dose de exposição e determinação da Dose Diária Ingerida (DDI)]. A comparação entre a DDA e a DDI permite determinar o nível de risco para a saúde decorrente da exposição humana às toxinas através da água de consumo ou balnear e, conseqüentemente, adotar as medidas de gestão dos recursos hídricos adequadas à salvaguarda da Saúde Pública. Se o valor da DDI exceder o valor da DDA existe risco de exposição ao agente tóxico. A DDA é determinada através de parâmetros toxicológicos que fornecem indicação sobre a relação entre a dose do agente e a resposta do organismo, designadamente o NOAEL (dose máxima que não causa efeito) ou o LOAEL (dose mínima que causa efeito) (figura 1).

Figura 1: Relação dose-resposta do agente tóxico.



NOAEL – No Observed Adverse Effect Level; LOAEL – Lowest Observed Adverse Effect Level; LD₅₀ – Dose letal para 50% dos animais testados

Valores-guia para cianotoxinas

Não havendo informação suficiente para estabelecer valores paramétricos de referência (regulamentares) para as cianotoxinas, a Organização Mundial da Saúde (OMS) estabeleceu, em 1998, um Valor-Guia (VG) provisório para as microcistinas em água para consumo humano (13). Nessa altura apenas foi estabelecido um VG para estas cianotoxinas, por serem consideradas as mais comuns e sobre as quais havia mais informação epidemiológica e toxicológica. Este VG foi adotado como valor paramétrico na legislação de muitos países, como se exemplifica na tabela 1. No caso de alguns países, como o Brasil, a Austrália e a Nova Zelândia, foram também estabelecidos valores de referência para outras cianotoxinas (tabela 1), atendendo à sua ocorrência frequente e à sua associação a episódios de intoxicação humana e animal.

O Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de agosto, transposto da Diretiva 98/83/CE do Conselho Europeu de 3 de novembro de 1998 relativa à qualidade da água destinada ao consumo humano, estabelece o valor paramétrico de 1 µg/L para a microcistina-LR na água tratada colhida à saída da Estação de Tratamento. Porém, a legislação nacional não contempla valores paramétricos para outras cianotoxinas. Conseqüentemente, algumas destas cianotoxinas não são incluídas nos planos de monitorização, pelo que estarão certamente subestimadas. De referir, no entanto, que algumas entidades distribuidoras/gestoras de água para consumo humano estão sensibilizadas para o potencial tóxico das cianobactérias, pelo que, para além de microcistinas, também procedem à análise de outras cianotoxinas, para as quais ainda não foi estabelecido qualquer valor paramétrico. Coloca-se então a questão: Qual o significado do resultado e como proceder perante um resultado positivo? O estabelecimento de novos VG, para o maior número possível de cianotoxinas, ajuda a responder a esta questão, visto que constituem limites orientadores para a tomada de decisão sobre medidas preventivas, de remediação e de gestão do risco, por parte das entidades envolvidas na gestão da qualidade da água, de acordo com os sistemas de alerta de cianobactérias.



Tabela 1: ↓ Valores de referência para cianotoxinas em águas para consumo humano adotados em diferentes países (14-18).

País	Toxina	VG
África do Sul	ATX-a	n.d.
	CYL	n.d.
	NOD	n.d.
	MC	1 µg/L (VG)
	STX	n.d.
Austrália	ATX-a	n.d.
	CYL	n.d.
	NOD	1 µg/L (*)
	MC	1,3 µg/L (VG)
	STX	3 µg/L (*)
Brasil	ATX-a	n.d.
	CYL	15 µg/L (VG)
	NOD	n.d.
	MC	1 µg/L (VP)
	STX	3 µg/L (VG)
Canadá	ATX-a	3,7 µg/L (Quebec, CMAP)
	CYL	n.d.
	NOD	n.d.
	MC	1,5 µg/L (CMA)
	STX	n.d.
Espanha	ATX-a	n.d.
	CYL	n.d.
	NOD	n.d.
	MC	1 µg/L (VP)
	STX	n.d.
Finlândia	ATX-a	n.d.
	CYL	n.d.
	NOD	n.d.
	MC	>1 µg/L (RA) e >10 µg/L (PA)
	STX	n.d.
França	ATX-a	n.d.
	CYL	n.d.
	NOD	n.d.
	MC	1 µg/L (VP)
	STX	n.d.

País	Toxina	VG
Nova Zelândia	ATX-a	1 µg/L (VMP)
	CYL	1 µg/L (VMP)
	NOD	n.d.
	MC	1,3 µg/L (VMP)
	STX	3 µg/L (VMP)
Portugal	ATX-a	n.d.
	CYL	n.d.
	NOD	n.d.
	MC	1 µg/L (VP; DL 306/2007)
	STX	n.d.
República Checa	ATX-a	n.d.
	CYL	n.d.
	NOD	n.d.
	MC	1 µg/L (VP)
	STX	n.d.
Singapura	ATX-a	n.d.
	CYL	n.d.
	NOD	n.d.
	MC	1 µg/L (VP)
	STX	n.d.
Turquia	ATX-a	n.d.
	CYL	n.d.
	NOD	n.d.
	MC	1 µg/L (VP)
	STX	n.d.
Uruguai	ATX-a	n.d.
	CYL	n.d.
	NOD	n.d.
	MC	1 µg/L (VP)
	STX	n.d.

VG – Valor-guia; VP – Valor-padrão; CMAP – Concentração máxima aceitável provisória; CMA – Concentração máxima aceitável; RA – Restrições ao uso de água; PA - Proibição do uso de água; VMP – Valor máximo provisório; * – Valor indicativo baseado nos efeitos sobre a saúde; n.d. – não definido



artigos breves_ n. 1

Os novos VG vêm, também, colmatar lacunas relativamente à água destinada a atividades recreativas e balneares, uma vez que não tinha sido estabelecido previamente qualquer VG para cianotoxinas nesse meio de exposição. A legislação portuguesa (Decreto-Lei n.º 113/2012 de 23 de maio; Decreto-Lei n.º 135/2009 de 3 de junho), transposta da Diretiva 2006/7/CE do Parlamento e do Conselho Europeus de 15 de fevereiro de 2006, relativa à qualidade das águas balneares, apenas recomenda a monitorização das massas de água quando for detetado visualmente o potencial para a formação de *blooms*. Neste caso, é da responsabilidade do delegado de saúde local proceder à identificação de riscos para a saúde, competindo às autoridades de saúde e do ambiente gerir o risco e prevenir a exposição às toxinas.

Passados cerca de 20 anos do estabelecimento do VG para as microcistinas, e face à tendência crescente de ocorrência de *blooms* cianobacterianos tóxicos e de episódios de intoxicação por cianotoxinas, a OMS propôs novos VG provisórios para várias cianotoxinas, considerando diferentes cenários de exposição humana a estes compostos.

Os VG são calculados a partir da DDA (19-22), tendo em conta a sua alocação a diferentes vias de exposição. Espera-se que a exposição às cianotoxinas através das possíveis vias, ao longo da vida dos indivíduos, não acarrete risco para a sua saúde. Ou seja, o VG fornece informação quantitativa para o processo de avaliação de risco que, por sua vez, permitirá gerir o risco de forma a proteger a saúde humana.

O VG das cianotoxinas é calculado de acordo com a seguinte fórmula (19-22):

$$VG = \frac{DDA * pc * fa}{c}, \text{ em que } DDA = \frac{NOAEL \text{ ou } LOAEL}{fi}$$

DDA – dose diária aceitável ($\mu\text{g}/\text{Kg}_{\text{pc}}/\text{dia}$);

pc – peso corporal (60 kg para adultos; 5 Kg/15 Kg para bebés/crianças);

fa – fator de alocação (Apenas usado no caso de águas para consumo humano. Considera-se, no caso da exposição crónica, que 80% da exposição ocorre através da ingestão de água, sendo as outras fontes, como ar, alimentos e solo, consideradas pouco significativas. No caso da exposição aguda, considera-se que a exposição é alocada 100% à água contaminada. Assim, fa é 0,8 ou 1, respetivamente);

c – Consumo diário de água (2 L para adultos; 0,25 L/0,75 L para bebés/crianças);

NOAEL – Dose máxima que não causa efeito nocivo (*no observed adverse effect level*) ($\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{pc}}$);

LOAEL – Dose mínima que causa efeito nocivo (*lowest observed adverse effect level*) ($\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{pc}}$);

fi – fatores de incerteza (10 para variações interespécies, 10 para variações intraespécie, 10 para a limitação de informação sobre toxicidade crónica, 3 para limitação de dados).

O cálculo do VG das microcistinas baseou-se num valor de NOAEL de 40 $\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{pc}}$ por dia, valor obtido através de um estudo em murganhos (23). No caso da cilindrospermopsina, usou-se um valor de NOAEL de 30 $\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{pc}}$ por dia, também obtido num estudo com murganhos (24). O VG foi determinado para vários tipos de exposição. Assim, foram determinados o VG_{crónico} e o VG_{agudo} para água de consumo humano, correspondendo a uma exposição a longo termo e a curto termo, respetivamente. O cálculo destes valores difere, basicamente, nos fatores de incerteza. No caso do VG_{crónico}, usou-se um fator de incerteza de 1000, de forma a contemplar as variações inter e intra espécies e a limitação de informação sobre toxicidade crónica (19,20). No caso do VG_{agudo} para as microcistinas, usou-se um fator de incerteza de 100, correspondendo às variações inter e intra espécies (19). Em relação ao VG_{agudo} da cilindrospermopsina, usou-se um fator de incerteza de 300, correspondendo às variações intra e inter espécies e às limitações de dados (tabela 2) (20). Por outro lado, foi também estabe-



artigos breves_ n. 1

lecido o VG_{rec}, correspondendo à exposição por ingestão de água durante atividades recreativas em massas de água superficiais. Neste caso, o cálculo do VG baseou-se num cenário de exposição de crianças (15 Kg) às toxinas, através de ingestão acidental (0,25 L) de água bruta contaminada (tabela 2) (19,20).

À luz do conhecimento atual não é possível determinar um VG_{crónico} para a saxitoxina, uma vez que não há evidência de efeitos nocivos decorrentes da exposição continuada a este grupo de toxinas (21). O VG_{agudo} foi determinado com base no LOAEL de 1,5 µg STX_{eq}/kg_{pc}, de acordo com dados epidemiológicos referentes a casos de intoxicação humana com bivalves contaminados com este grupo de toxinas (25). Porém, e contrariamente às outras cianotoxinas, o VG foi derivado para bebés (5 Kg), considerando que são o sub-grupo mais sensível da população, podendo estar expostos através da alimentação por biberão (0,75 L), e atendendo a que a margem de segurança poderia ser muito baixa (21).

Neste caso aplicou-se um fator de incerteza de 3, por se usar o LOAEL em vez do NOAEL. O cálculo do VG_{rec} para a saxitoxina foi determinado com base na exposição de crianças, tal como no caso da microcistina e da cilindrospermopsina (tabela 2) (21).

A informação toxicológica disponível sobre a anatoxina-a não permite calcular um valor de NOAEL ou LOAEL, nem avaliar a exposição, de forma a calcular um VG_{crónico}, VG_{agudo} e VG_{rec} (22). De facto, os estudos de toxicidade aguda em animais induziram a morte dos indivíduos testados e os estudos de toxicidade subcrónica não permitiu identificar uma dose não letal mas com efeitos adversos duradouros (22). Porém, assumindo um resultado inconclusivo de um dos estudos em animais, poderá considerar-se um valor de NOAEL de 98 µg/kg_{pc} por dia, (26) e calcular um valor indicativo baseado nos efeitos observados (tabela 2). Este valor não é um verdadeiro VG e não pode ser usado para derivar limites regulamentares. Pode, no entanto, orientar medidas preventivas e de gestão

Tabela 2: ↓ Parâmetros usados no cálculo do valor guia de cianotoxinas, em diferentes cenários de exposição.

Cianotoxina	Tipo de exposição	NOAEL (µg/kg _{pc} /dia)	LOAEL (µg/kg _{pc} /dia)	pc (kg)	fi	fa	c (L)	DDA (µg/kg _{pc} /dia)
Microcistina	Crónica na água para consumo	40	-	60	1000	0,8	2	0,04
	Aguda na água para consumo	40	-	60	100	1	2	0,4
	Atividade recreativa	40	-	15	100	-	0,25	0,4
Cilindrospermopsina	Crónica na água para consumo	30	-	60	1000	0,8	2	0,03
	Aguda na água para consumo	30	-	60	300	1	2	0,1
	Atividade recreativa	30	-	15	300	-	0,25	0,1
Saxitoxina	Aguda na água para consumo	-	1,5	5	3	1	0,75	0,5
	Atividade recreativa	-	1,5	15	3	-	0,25	0,5
Anatoxina	Aguda na água para consumo	98	-	60	100	1	2	0,98
	Atividade recreativa	98	-	15	100	-	0,25	0,98



artigos breves_ n. 1

de risco. Trata-se de um valor abaixo do qual não se esperam efeitos adversos nos adultos, mas deve evitar-se a exposição de crianças, visto que estas ingerem um volume de água por peso corporal superior ao dos adultos (22).

Na tabela 3 indicam-se os novos VG estabelecidos pela OMS para as cianotoxinas.

Implicações para a monitorização de cianobactérias e cianotoxinas

No âmbito das novas recomendações da OMS, a monitorização de cianobactérias e toxinas associadas deverá ser alvo de algumas modificações, uma vez que a existência de VG para várias cianotoxinas implica alterações do sistema de alerta de cianobactérias e cianotoxinas.

Este sistema de alerta consiste numa sequência de procedimentos de monitorização e de gestão, organizado na forma de “árvore de decisão”, que permite delinear respostas imediatas e graduais no decurso da ocorrência de blooms cianobacterianos (14).

O primeiro nível de alerta (nível de vigilância), é acionado quando a densidade de cianobactérias é superior a 10 colónias ou 50 filamentos por mililitro, estão presentes espécies potencialmente tóxicas, a profundidade de Secchi é inferior a 2 m e/ou são detetados COVs (14). Ou seja, a determinação

deste nível de alerta pressupõe a realização de procedimentos de monitorização (identificação e quantificação de cianobactérias por microscopia, utilização do disco de Secchi e deteção de COVs cianobacterianos), contrariamente ao que estava estabelecido anteriormente para este nível de alerta, que exigia apenas a deteção visual de acumulações verdes ou de animais mortos nas massas de água (27).

Para o nível de vigilância, recomenda-se a monitorização semanal (em vez de regular, como previamente) e sempre que possível a quantificação de cianotoxinas. Para as microcistinas e cilindrospermopsina são considerados os novos VG da exposição crónica (tabela 3). Para a saxitoxina e anatoxina-a, consideram-se valores 10x abaixo do valor para a exposição aguda (tabela 3). Relativamente à biomassa cianobacteriana, é sugerido um valor mais elevado de biovolume do que as anteriores recomendações (0,3mm³/L em vez de 0,2 mm³/L), com base no pressuposto de que existe um rácio de 3:1 entre a quantidade de microcistinas (µg) e o volume celular (mm³). Se a biomassa cianobacteriana for expressa com base na clorofila-a, pressupõe-se um rácio de 1:1 entre a quantidade de microcistinas (µg) e de clorofila-a (µg). O valor de biovolume e de clorofila-a implicam, por isso, níveis de microcistinas no limiar do VG da exposição crónica (14). Para as outras cianotoxinas, não existe informação suficiente para determinar os rácios toxina/biomassa, mas assume-se que são similares aos das microcistinas.

Tabela 3: ↓ Valores-guia da OMS para cianotoxinas em águas para consumo humano e recreativas (19-22).

Cianotoxina	Valor Guia OMS (µg/L)		
	Água para consumo humano		Água bruta
	Exposição crónica	Exposição aguda	Exposição em atividades recreativas
Microcistinas	1	12	24
Cilindrospermopsina	0,7	3	6
Saxitoxina	---	3	30
Anatoxina	---	30*	60*

* Valor indicativo baseado nos efeitos sobre a saúde



artigos breves_ n. 1

Se estes parâmetros forem ultrapassados, é acionado o nível de alerta 1 (tabela 4), que já prevê a quantificação de cianotoxinas e, quando possível, a implementação de planos de contingência que envolvem normalmente a inclusão de etapas de tratamento de água mais avançadas, que permitam a remoção eficaz das toxinas (14). Comparativamente às recomendações anteriores, adotou-se uma abordagem mais conservadora relativamente aos limites para acionar o nível de alerta seguinte. Assim, o nível de alerta 2 (tabela 4), que corresponde a um nível de risco elevado para a saúde humana, é acionado quando o biovolume apresenta valores superiores a 4 mm³/L (versus 10 mm³/L, anteriormente) e a clorofila-a atinge 12 µg/L (versus 50 µg/L, anteriormente). Este nível de alerta corresponde aos valores de exposição aguda às cianotoxinas indicados na tabela 3. Nesta fase, os planos de contingência devem ser aplicados e medidas de gestão, tais como o tratamento avançado da água ou a procura de pontos de recolha da água alternativos, devem ser implementadas.

É de ressaltar que o sistema de alerta proposto pode (e deve) adaptar-se à situação particular de cada massa de água. De referir, também, que não obstante os níveis de alerta já não serem baseados na densidade celular (nas recomendações anteriores, 2000 cél/mL correspondiam ao alerta 1 e 100000 cél/mL ao alerta 2 (27)), a concentração de cianobactérias continua a revelar-se um parâmetro útil na monitorização.

A utilização preferencial do biovolume, em detrimento da densidade, está relacionada com a variabilidade do tamanho celular. Este fator tem implicações significativas na quantidade de toxina produzida por célula e por espécie. Aplicando os novos valores de biovolume, a três espécies do mesmo género – *Microcystis* – podemos verificar que existe uma variação de uma ordem de grandeza (14). Para o mesmo valor de biovolume (0,3 mm³/L) obtemos densidades entre 2400-20000 cél/mL. Por outro lado, considerando as cianobactérias de reduzidas dimensões, tal como a *Aphanocapsa holsatica*, 0,3 mm³/L de biovolume (nível de alerta 1) corresponde a 170000 cél/mL, para o qual seria anteriormente considerado o nível de alerta 2. Por outro lado, o valor de nível de alerta 2 (4 mm³/L) pode corresponder a 2000000 cél/mL (*A. holsatica*) ou 10000 cél/mL (*Dolichospermum crassum*) (tabela 5).

No caso das águas balneares, a anterior recomendação da OMS distinguia 2 níveis de referência baseados na densidade de cianobactérias ou na concentração de clorofila-a (27). As novas orientações propõem um sistema de alerta específico para águas balneares com 3 níveis (14). O nível de vigilância é atingido quando, por inspeção visual se observa uma profundidade de Secchi inferior a 1-2 m ou quando as análises laboratoriais revelam valores de biovolume de 1-4 mm³/L de clorofila-a 3-12 µg/L, sempre com a dominância de cianobactérias comprovada por observação microscópica.

Tabela 4: ⚠ Níveis de alerta para água para consumo humano e recreativa baseados na biomassa cianobacteriana (19-22).

Nível de Alerta	Biomassa cianobacteriana	
	Biovolume (mm ³ /L)	Clorofila-a (µg/L)
Nível de Alerta 1 para água de consumo	0,3	1
Nível de Alerta 2 para água de consumo	4	12
Nível de Alerta 1 para águas recreativas	4	12
Nível de Alerta 2 para águas recreativas	8	24



Tabela 5: Comparação entre densidades celulares e biovolumes de géneros de cianobactérias tóxicas com diferentes dimensões celulares.

Espécie	Nível de alerta 1 (0,3 mm ³ /L BV)	Nível de alerta 2 (4 mm ³ /L BV)	Volume celular do táxon
	Densidade (células/mL)		(µm ³)
<i>Aphanocapsa holsatica</i>	170000	2000000	1,8
<i>Microcystis ichthyoblabe</i>	20000	250000	15
<i>Microcystis aeruginosa</i>	4500	65000	65
<i>Microcystis wesenbergii</i>	2400	32000	125
<i>Dolichospermum crassum</i>	750	10000	412

Neste nível, é sugerida a intensificação da frequência de monitorização, a avaliação do potencial de formação de *blooms* e a avaliação da presença de cianobactérias tóxicas, assim como a informação às autoridades competentes. A passagem do nível de vigilância para os níveis de alerta, depende da observação de valores de biovolume até 4-8 mm³/L ou 12-24 µg/L de clorofila-a (nível de alerta 1). As cianotoxinas, omissas nas recomendações anteriores, são aqui consideradas para distinguir os níveis de alerta 1 e 2: Concentrações até 24 µg/L de microcistinas, 6 µg/L de cilindrospermopsina, 60 µg/L de anatoxina ou 30 µg/L de saxitoxina para o nível 1 e superiores a estas para o nível de alerta 2 (14).

Quando os níveis de alerta são acionados nas áreas utilizadas para atividades recreativas, as autoridades de saúde locais devem ser informadas e devem ser implementadas medidas de proteção da saúde pública, tais como a interdição de atividades que impliquem o contacto com a água. Este sistema de alerta, à semelhança do utilizado para águas de consumo, considera também o biovolume em detrimento da densidade celular. As cianotoxinas, omissas na recomendação anterior, foram agora incluídas na “árvore de decisão” uma vez que foram estabelecidos VG relativamente à exposição recreativa.

Considerações finais

O estabelecimento de valores-guia para várias cianotoxinas e de critérios mais objetivos nas recomendações da Organização Mundial da Saúde são uma ferramenta importante para a interpretação dos resultados da monitorização de cianobactérias e toxinas associadas.

Consequentemente, facilita a tomada de decisão na prevenção e gestão de riscos associados aos *blooms* cianobacterianos.

Por outro lado, estas novas orientações permitirão caracterizar de forma mais abrangente a ocorrência de cianotoxinas e contribuir para o conhecimento sobre a ocorrência de cianobactérias tóxicas nas águas doces superficiais portuguesas contribuindo assim para antecipar e prevenir situações de risco que coloquem em causa a saúde pública, animal e ambiental.

Referências bibliográficas:

- (1) Agência Portuguesa do Ambiente. Plano Nacional da Água (PNA), 2015. <https://www.apambiente.pt/agua/plano-nacional-da-agua>
- (2) Churro C, Dias E, Paulino S, et al. Importância da monitorização de cianobactérias em albufeiras portuguesas. Boletim Epidemiológico Observações. 2013;2(4):18-20. <https://repositorio.insa.pt/handle/10400.18/1541>
- (3) O’Neil JM, Davis TW, Burford MA, et al. The rise of harmful cyanobacteria blooms: The potential roles of eutrophication and climate change. Harmful Algae. 2012; 14:313-34. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2011.10.027>



artigos breves_ n. 1

- (4) Huisman J, Codd GA, Paerl HW, et al. Cyanobacterial blooms. *Nat Rev Microbiol.* 2018 Aug;16(8):471-83. <https://doi.org/10.1038/s41579-018-0040-1>
- (5) Suurnäkki S, Gomez-Saez GV, Rantala-Ylinen A, et al. Identification of geosmin and 2-methylisoborneol in cyanobacteria and molecular detection methods for the producers of these compounds. *Water Res.* 2015 Jan 1;68:56-66. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.09.037>
- (6) He X, Liu YL, Conklin A, et al. Toxic cyanobacteria and drinking water: impacts, detection, and treatment. *Harmful Algae.* 2016 Apr;54:174-193. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2016.01.001>
- (7) Pereira P, Li R, Carmichael W, et al. Taxonomy and production of paralytic shellfish toxins by the freshwater cyanobacterium *Aphanizomenon gracile* LMECYA40. *Eur J Phycol.* 2010;39:361-368. <https://doi.org/10.1080/09670260410001714723>
- (8) Dias E, Pereira P, Franca S. Production of paralytic shellfish toxins by *Aphanizomenon* sp. LMECYA 31 (CYANOBACTERIA) *J. Phycol.* 2002;38:705-12. <https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.2002.01146.x>
- (9) Osswald J, Rellán S, Gago-Martínez A, et al. Production of anatoxin-a by cyanobacterial strains isolated from Portuguese fresh water systems. *Ecotoxicology.* 2009 Nov;18(8):1110-5. <https://doi.org/10.1007/s10646-009-0375-5>
- (10) Moreira C, Mendes R, Azevedo J, et al. First occurrence of cylindrospermopsin in Portugal: a contribution to its continuous global dispersal. *Toxicon.* 2017 May;130:87-90. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2017.02.024>
- (11) Menezes C, Churro C, Dias E. Risk Levels of Toxic Cyanobacteria in Portuguese Recreational Freshwaters. *Toxins (Basel).* 2017 Oct 18;9(10):327. <https://doi.org/10.3390/toxins9100327>
- (12) World Health Organization, International Programme on Chemical Safety. (2010). WHO human health risk assessment toolkit: chemical hazards. Geneva: WHO, 2010. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44458>
- (13) World Health Organization, International Programme on Chemical Safety. Guidelines for drinking-water quality. Vol. 2, Health criteria and other supporting information, 2nd ed. (Addendum). Geneva: WHO, 1998. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/38551>
- (14) Chorus I, Welker M. Exposure to cyanotoxins: Understanding it and short-term interventions to prevent it. In Chorus I, Welker, M (eds). *Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management.* Geneva: World Health Organization, 2021, pp. 295-400. <https://www.who.int/publications/m/item/toxic-cyanobacteria-in-water---second-editionle/10665/38551>
- (15) American Water Works Association, Water Research Foundation. *A Water Utility Manager's Guide to Cyanotoxins.* Denver, CO: AWWA/WRF 2015. <https://www.awwa.org/Portals/0/AWWA/Government/WaterUtilityManagersGuideToCyanotoxins.pdf?ver=2018-12-13-101839-130>
- (16) Ibelings BW, Backer LC, Kardinaal WE, et al. Current approaches to cyanotoxin risk assessment and risk management around the globe. *Harmful Algae.* 2015 Dec;49:63-74. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2014.10.002>
- (17) Chorus I (ed). *Current Approaches to Cyanotoxin Risk Assessment. Risk Management and Regulations in Different Countries.* Dessau-Roßlau: Federal Environment Agency, 2021. <http://www.uba.de/uba-info-medien-e/4390.html>
- (18) Newcombe G (ed). *International guidance manual for the management of toxic cyanobacteria.* London: Iwa publishing, 2012. (GWRC Report Series). <https://www.iwapublishing.com/books/9781780401355/international-guidance-manual-management-toxic-cyanobacteria>
- (19) World Health Organization. Cyanobacterial toxins: microcystins: background document for development of WHO Guidelines for drinking-water quality and Guidelines for safe recreational water environments. Geneva: WHO, 2020. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/338066/WHO-HEP-ECH-WSH-2020.6-eng.pdf>
- (20) World Health Organization. Cyanobacterial toxins: cylindrospermopsins: background document for development of WHO Guidelines for drinking-water quality and Guidelines for safe recreational water environments. Geneva: WHO, 2020. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/338063/WHO-HEP-ECH-WSH-2020.4-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- (21) World Health Organization. Cyanobacterial toxins: saxitoxins. Background document for development of WHO Guidelines for drinking-water quality and Guidelines for safe recreational water environments. Geneva: WHO, 2020. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/338069/WHO-HEP-ECH-WSH-2020.8-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- (22) World Health Organization. Cyanobacterial toxins: anatoxin-a and analogues: background document for development of WHO Guidelines for drinking-water quality and Guidelines for safe recreational water environments. Geneva: WHO, 2020. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/338060/WHO-HEP-ECH-WSH-2020.1-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- (23) Fawell JK, Mitchell RE, Everett DJ, et al. The toxicity of cyanobacterial toxins in the mouse: I microcystin-LR. *Hum Exp Toxicol.* 1999 Mar;18(3):162-7. <https://doi.org/10.1177/096032719901800305>
- (24) Humpage AR, Falconer IR. Oral toxicity of the cyanobacterial toxin cylindrospermopsin in male Swiss albino mice: determination of no observed adverse effect level for deriving a drinking water guideline value. *Environ Toxicol.* 2003 Apr;18(2):94-103. <https://doi.org/10.1002/tox.10104>
- (25) European Food Safety Authority. Marine biotoxins in shellfish: saxitoxin group. *EFSA J.* 2019;7(4):1019. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.1019>
- (26) Fawell JK, Mitchell RE, Hill RE, et al. The toxicity of cyanobacterial toxins in the mouse: II anatoxin-a. *Hum Exp Toxicol.* 1999 Mar;18(3):168-73. <https://doi.org/10.1177/096032719901800306>
- (27) Bartram J, Burch M, Falconer IR, et al. Situation assessment, planning and management. In: Chorus I, Bartram J (eds). *Toxic Cyanobacteria in Water: a guide to their public health consequences, monitoring and management.* Geneva: World Health Organization, 1999. https://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/toxycyanbegin.pdf