

Relação entre clorofila-*a* e cianobactérias no estado de São Paulo

*Link between chlorophyll-*a* and cyanobacteria in the state of São Paulo*

- **Data de entrada:**
13/10/2014
- **Data de aprovação:**
24/06/2016

Ligia Marino

DOI: 10.4322/dae.2016.026

Resumo

Fatores como a intensidade de luz e nutrientes podem exercer influência na densidade e composição da comunidade fitoplanctônica e na quantidade de clorofila-*a* encontrada no ambiente. A Portaria 2914/11 considera a clorofila-*a* como indicador de potencial aumento de densidade de cianobactérias, no entanto, ela ocorre em outros grupos do fitoplâncton. A proposta deste trabalho é avaliar a correlação desses dois parâmetros com o objetivo de auxiliar a gestão de qualidade dos mananciais utilizados para abastecimento público. Foram avaliados cinco anos de dados de sistemas do estado de São Paulo das Classes 1 a 3 do CONAMA 357/05, aos quais foi aplicado cálculo de correlação entre dois conjuntos de dados com os quais foi realizada análise de sua viabilidade. Este procedimento evidenciou não ter havido boa correlação entre os dois parâmetros. Assim, pode ser dito que o aumento de clorofila-*a* na captação de sistemas de tratamento de água, no que tange às cianobactérias, não contribuiu para tomada de decisões para o controle de qualidade dos mananciais para fins de abastecimento público.

Palavras-chave: clorofila-*a*; cianobactérias, correlação.

Abstract

*Factors as intensity of light and nutrients, may influence the density and composition of phytoplankton and the amount of chlorophyll-*a* in the environment. The Ministry of Health Ordinance no 2914/2011 considers chlorophyll-*a* as an indicator of a potential increase in densities of cyanobacteria, however, it occurs in other groups of phytoplankton. The goal of this work is to assess the correlation between these two parameters to assist the management of quality of reservoirs used for public supply. Five-year data systems of the state of São Paulo Classes 1 to 3 of CONAMA 357/05 were evaluated by applying the calculation of correlation between two sets of data to analyze its viability. It became evident that there was not a good correlation between the two parameters. Thus the increase of chlorophyll-*a* in the catchment of water treatment systems in relation to cyanobacteria does not contribute to decision-making for quality control of water for public water supply purposes.*

Keywords: chlorophyll-*a*; cyanobacteria, correlation.

Ligia Marino – Bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade de Guarulhos (UNG). Especialização em Microbiologia Ambiental e Industrial pela Sociedade Brasileira de Microbiologia (SBM).

Endereço para correspondência – SABESP - Departamento de Controle da Qualidade dos Produtos Água e Esgoto, Rua Conselheiro Saraiva, 519, CEP 020037-021, São Paulo – SP. Email: lmarino@sabesp.com.br.

1 INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a qualidade da água para consumo humano, lazer e irrigação evidenciou a necessidade de maior atenção no que diz respeito ao controle de qualidade dos mananciais e sua gestão. Para isso, faz-se o monitoramento de alguns parâmetros essenciais do corpo hídrico, conforme exigências de legislações apropriadas para cada uso da água (Esteves, 1998).

Com base nas legislações atuais e com o crescente interesse quanto ao uso da água para abastecimento, este trabalho aborda o que é pertinente às captações de ETAs e à distribuição de água tratada. Atualmente, para classificação de corpos d'água há a Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005 e a Portaria 2914 do Ministério da Saúde, de 12 de dezembro de 2011. A Resolução CONAMA, publicada no DOU nº 053, de 18/03/2005 - alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011 - dispõe sobre a classificação dos corpos de água, trata de diretrizes para seu enquadramento e estabelece, também, as condições e padrões de lançamento de efluentes. A Portaria 2914, publicada no DOU nº 239, de 14/12/11, dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e sobre seu padrão de potabilidade. Os corpos de água são classificados quanto aos níveis de qualidade que devem possuir ao que compete ao seu principal uso. Este trabalho enfoca mananciais de Classes 1, 2 e 3 que - entre outros usos - podem ser destinados, entre outras atividades, ao abastecimento para consumo humano.

Entre os parâmetros necessários para o monitoramento da qualidade da água para fins de abastecimento público estão a clorofila-*a* e a densidade de cianobactérias. Para classificação dos corpos de água, esses dois parâmetros são obrigatórios; para atendimento aos padrões de potabilidade, no que tange à clorofila-*a*, é recomendado o monitoramento; a densidade de cianobactérias é a base orientadora para monitoramento de ciano-

toxinas no ponto de captação e água tratada no ponto de saída da ETA. A recomendação do monitoramento da clorofila-*a* no ponto de captação para abastecimento surgiu na Portaria 2914/11 e não constava na Portaria anterior, a 518/2004.

Essa recomendação supõe uma correlação entre esses dois parâmetros, uma vez que clorofila está presente também nas cianobactérias. Desta forma, considerada a clorofila-*a* como indicador de um potencial aumento de densidade de cianobactérias; considerado também o momento em que a concentração de clorofila-*a* é duplicada em duas semanas consecutivas, deve ser realizada nova coleta de amostra para quantificação de células de cianobactérias para ser reavaliada a frequência de amostragem para cianobactérias. Vale lembrar que quando em uma Portaria há uma recomendação, isso não torna obrigatório seu cumprimento.

Nesta pesquisa, os parâmetros clorofila-*a* e cianobactérias foram tratados sem o intuito de identificá-los nos pontos de amostragem, por não serem relevantes para o objetivo proposto, portanto, serão considerados apenas seus fatores analíticos.

2 OBJETIVOS

Este trabalho - com dados obtidos experimentalmente em mananciais do Estado de São Paulo - tem como objetivo avaliar a correlação entre clorofila-*a* e cianobactérias como fatores contribuintes na tomada de decisão de gestores, em função do monitoramento para controle de qualidade dos mananciais para fins de abastecimento público.

3 FUNDAMENTAÇÃO

O custo do tratamento da água utilizada para o abastecimento público depende da qualidade do manancial do qual ela foi captada. Portanto, é essencial que haja a conservação e proteção dos mananciais superficiais e subterrâneos, como garantia da redução de risco de contaminação com o propósito de evitar doenças por veiculação hí-

drica. Há legislações que estabelecem valores máximos admissíveis para cada parâmetro considerado importante para garantia da qualidade da água bruta e tratada. A clorofila-*a* e a densidade de cianobactérias estão entre esses parâmetros.

Segundo CONAMA 357/2005, sobre as condições e padrões de qualidade das águas, são estabelecidos limites individuais para cada substância em cada classe. As águas de classe 1, águas doces, para o parâmetro clorofila-*a* devem obedecer ao valor máximo de 10 µg/L; para Classe 2 deve ser até 30 µg/L, e para Classe 3, não deve ultrapassar 60 µg/L. Da mesma forma que clorofila, os limites para o parâmetro cianobactérias também são individuais em cada classe. Para águas de Classe 1, a densidade de cianobactérias deve obedecer ao valor máximo de 20.000 cel/mL ou 2 mm³/L; para Classe 2 até 50.000 cel/mL ou 5 mm³/L e para Classe 3 não deve ultrapassar o valor de 100.000 cel/mL ou 10 mm³/L, exceto no caso de uso para dessedentação de animais, para o qual deve ser mantido o valor da Classe 2.

O parâmetro clorofila-*a* segundo a Portaria 2914/2011, é abordado no capítulo sobre plano de amostragem, em complementação ao monitoramento da densidade de cianobactérias, para qual é recomendada a análise de clorofila-*a* no manancial, com frequência semanal, como indicador de potencial aumento da densidade de cianobactérias.

Nessa Portaria o objetivo do monitoramento de cianobactérias na captação do manancial superficial é minimizar os riscos de contaminação por cianotoxinas geradas pelas cianobactérias. A base do monitoramento de cianotoxinas na saída de tratamento está diretamente relacionada aos resultados de cianobactérias do ponto de captação de água para determinado sistema de abastecimento público. Quando a densidade de cianobactérias for ≤10.000 cel/mL, a frequência de monitoramento deve ser mensal, e quando for

>10.000 cel/mL deve ser semanal. Caso o número de células superar 20.000 cel/mL, segundo a Portaria 2914/11, é necessário realizar o monitoramento de cianotoxinas no ponto de captação de água para abastecimento. O VMP (valor máximo permitido) das cianotoxinas de monitoramento obrigatório, que são microcistina e saxitoxina equivalente (STX), deve ser o mesmo que é permitido para água tratada. Esses valores são de 1µg/L e 3µg de equivalente STX/L, respectivamente. Se os resultados das análises do ponto de captação ultrapassarem os valores permitidos, também deverão ser analisadas em amostras da saída da estação de tratamento. Quando detectada a presença de cianotoxinas na água tratada, os responsáveis pela produção de água deverão comunicar às clínicas de hemodiálises e indústrias de injetáveis que são abastecidas por aquele sistema de abastecimento.

Em um corpo de água vários fatores ambientais determinam a distribuição quantitativa e qualitativa dos organismos nesse ambiente. No entanto, existe um elemento cuja concentração assimilável por um dado organismo determinará sua densidade populacional. Esse elemento, em mínimo, é chamado fator limitante; sua presença não anula a dos outros fatores, apenas reduz a intensidade das suas influências. Sob o ponto de vista da turbidez no ambiente aquático, a luz é o mais importante fator limitante ao desenvolvimento de vegetais, pois sua penetração é dificultada pelas partículas em suspensão. Em águas pouco turvas, os principais fatores limitantes são elementos minerais como fósforo e nitrogênio (BRANCO, 1986).

A necessidade de estocar água através de represamento de rios a fim de abastecer a população com água de consumo humano, por consequência, leva ao aumento da concentração de nutrientes e à diminuição da turbulência, as quais, somadas às condições de elevadas temperaturas nos mananciais, tornam os corpos de água propícios para o desenvolvimento de microalgas e cianobacté-

rias. As consequências disso são, além de alterar a qualidade organoléptica da água, também, em caso de presença de cianobactérias, a produção de metabólitos secundários tóxicos, os quais podem chegar à água distribuída à população após tratamento, segundo SANT'ANNA *et al.*, (2006).

A preocupação em relação às cianobactérias é pelo fato de serem potencialmente produtoras de cianotoxinas. As cianotoxinas são classificadas em: hepatotoxinas – microcistinas, nodularinas e cilindropermopsina; neurotoxinas – anatoxina-a e anatoxina-a(S); e as dermatotoxinas. Embora sejam de origem aquática, a maioria das cianotoxinas parece ser mais danosa para os mamíferos que para a biota aquática (LAPOLLI *et al.*, 2011). Os primeiros estudos sobre essas cianotoxinas foram realizados nos gêneros *Microcystis*, *Anabaena* e *Anacystis* segundo SANT'ANNA *et al.*, (2006).

4 CIANOBACTÉRIAS

Cianobactérias fazem parte de um grupo bem definido de eubactérias que são capazes de produzir oxigênio como produto da fotossíntese. São consideradas como grupo mais antigo de produtores primários fotossintetizantes. Entre os organismos autotróficos, as cianobactérias se diferenciam por apresentar organização procariótica e pela ausência de flagelos e da maioria das organelas celulares. Cada tilacoide compreende um espaço distinto no citoplasma, e os fotossistemas são organizados em torno de centros de reação contendo clorofila-*a*. Clorofila-*a* e diversos pigmentos acessórios de proteção e ampliação de captação de luz, as ficobilinas e carotenoides, estão presentes associados à tilacoides membranosos (Lourenço, 2006). Segundo SANT'ANNA *et al.*, (2006), as cianobactérias contêm diferentes pigmentos fotossintéticos, tais como clorofila-*a*, que dá coloração esverdeada, ficocianina, que é azul, e algumas espécies possuem também um pigmento vermelho, a ficoeritrina.

Segundo LOURENÇO (2006), as cianobactérias possuem extrema capacidade de adaptação às alterações ambientais, quanto às flutuações de temperatura, salinidade, pH e disponibilidade de nutrientes. O autor atribui essa adaptação à condição de procarionte e à simplicidade de suas células. O número de espécies de cianobactérias, com base em limitações baseadas nas características morfológicas, é ainda desconhecido, devido às grandes semelhanças morfológicas entre as espécies – dentro de certos limites e, também, devido à existência de 150 gêneros e 2.000 espécies de cianobactérias na natureza. Segundo SANT'ANNA (2006), as espécies de água doce são importantes, devido aos problemas que podem causar nos ecossistemas aquáticos, tanto do ponto de vista ecológico quanto sanitário. As cianobactérias possuem clorofila-*a* e pigmento ficocianina distribuído em toda célula (BOURRELY, 1985).

No Estado de São Paulo, os principais gêneros de cianobactérias encontrados são *Microcystis*, *Dolichospermum*, *Radiocystis*, *Aphanothece*, *Synechocystis*, *Geitlerinema*, *Nostocaceae*, *Cyanogranis*, *Cylindrospermopsis*, *Cylindrospermum*, *Pseudanabaena*, *Aphanocapsa*, *Aphanizomenon*, *Merismopedia*, *Phormidium*, *Sphaerocavum*, *Chroococcus*, *Oscillatoria*, *Lyngbya*, *Raphidiopsis*, *Coelosphaerium*, *Phormidium*, *Planktothrix*.

As Figuras 01, 02, 03 e 04 são de algumas cianobactérias citadas acima.

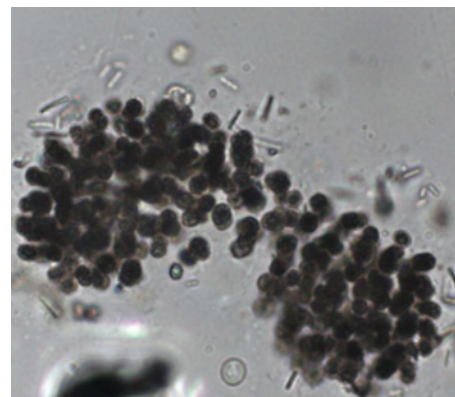


Figura 01 – *Microcystis sp*

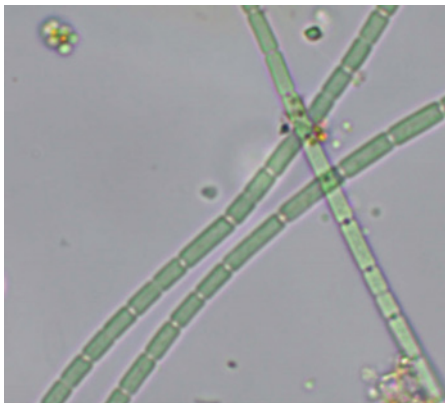


Figura 02 – *Pseudanabaena* sp

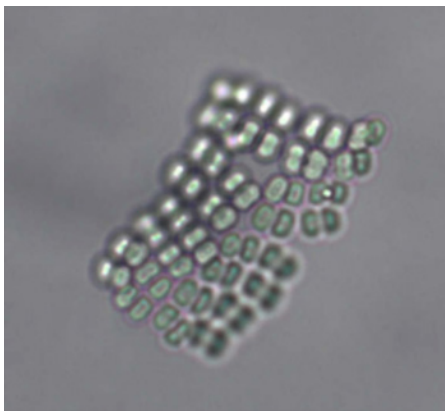


Figura 03 – *Merismopedia* sp

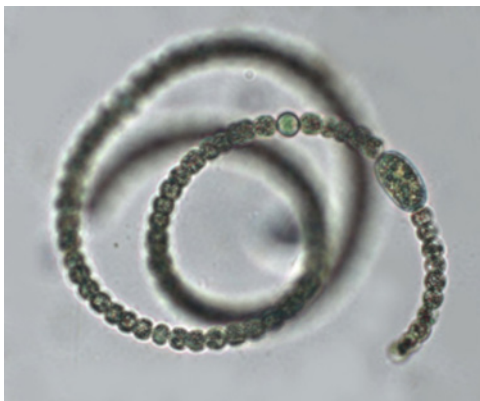


Figura 04 – *Dolichospermum* sp

5 CLOROFILA E OUTROS PIGMENTOS

Os comprimentos de onda de maior interesse ecológico abrangem as faixas do ultravioleta, do visível e do infravermelho, sendo que a visível participa no processo fotossintético, compreendendo a faixa entre 400 e 740 nm. Por ser aproximadamente a faixa sensível ao olho humano, é denominada luz e em ecologia vegetal, recebe o nome de radiação fotossinteticamente ativa, por ser a parte da radiação total que é absorvida pelas clorofilas. Da radiação que atinge a superfície da água, parte penetra, e parte é refletida, e retorna à atmosfera. A radiação refletida pode variar de 2% a 100%, dependendo das condições da superfície da água e, também, do ângulo de incidência. Ao penetrar na água, parte da radiação é absorvida e transformada em outras formas de energia, por exemplo, energia química pela fotossíntese, e energia calorífica, pelo aquecimento da água (ESTEVES, 1998).

Organismos clorofilados, em sua composição, possuem compostos capazes de absorver radiação; entre estes compostos merecem destaque as clorofilas e os carotenoides. A forma e estágio das células ou colônias são fatores que influenciam na eficácia de absorção da radiação (ESTEVES, 1998). Todas as espécies fotossintetizantes são dotadas de clorofila-*a* – o mais importante pigmento para a fotossíntese – e apresenta papel central no arranjo dos fotossistemas para captação de energia luminosa. Há, ainda, uma terceira classe de pigmentos fotossintetizantes, composta pelas ficobiliproteínas, presentes apenas nas cianobactérias (LOURENÇO, 2006).

Alguns fatores podem interferir na quantidade de clorofila encontrada no ambiente. Radiação em excesso leva à fotoinibição – função da radiação incidente, associada à taxa de extinção vertical da luz na coluna de água – assim, a intensidade, a qualidade e a duração da irradiação na superfície da água são variáveis importantes para a comunidade fitoplanctônica. Em ambiente bem ilumina-

nado, a maior densidade de organismos fitoplanctônicos e a maior intensidade de fotossíntese podem não ser realizadas na superfície da água, por consequência da fotoinibição. As populações fitoplanctônicas distribuem-se na coluna de água segundo um gradiente de luminosidade e profundidade. Muitos organismos do plâncton podem se deslocar muitos metros por dia, tanto horizontal quanto verticalmente. CALIJURI *et al.*, (2006) sugeriram que, sob altas intensidades luminosas, ocorre fotodestruição ou oxidação dos pigmentos.

A comunidade fitoplanctônica se adapta a altas ou baixas concentrações de energia radiante subaquática. Quando há turbulência no corpo d'água, os organismos podem ficar expostos a períodos de baixa ou alta energia radiante subaquática, dependendo da localização. O crescimento a baixas intensidades de energia radiante resulta em um aumento da concentração da clorofila por célula. Essa alteração em concentração de clorofila é a resposta da comunidade fitoplanctônica ao crescimento em baixas energias radiantes (TUNDISI, 2008).

6 METODOLOGIA

Em relação às coletas, as amostras de água de captações para abastecimento público e pontos a montante e jusante de estações de tratamento de esgoto foram coletadas em pontos pré-determinados para o monitoramento da qualidade da água, a 30 cm da superfície, conforme método referência 10.200B do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012), tanto para cianobactérias quanto para clorofila. Segundo as normas citadas, as amostras para cianobactérias devem ser coletadas com no mínimo 1000 mL e mantidas sob refrigeração abaixo de 8°C até a chegada ao laboratório; as amostras de clorofila, além de necessitarem da mesma refrigeração, devem ser protegidas da luz. Desta forma, o frasco de coleta deve ser âmbar e coberto com papel-alumínio protegido da luz.

6.1 Quantificação de cianobactérias e clorofila-*a*

O método para a quantificação de cianobactérias adotado neste estudo foi o de contagem em câmara de Sedgwick-Rafter, conforme referência 10.200F do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012), no qual é realizada a determinação da densidade e identificação de micro-organismos. Os resultados são expressos em Unidade Padrão de Área por mililitro (UPA/mL), número de organismos por mililitro (n° org/mL) e Células por mililitros (cel/mL). Esse parâmetro faz parte do monitoramento para gestão do recurso hídrico e enquadramento dos corpos de água, conforme determinação da legislação vigente.

Para a determinação de clorofila-*a* foi utilizado o método referência 10.200H do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012), utilizando acetona como solvente para extração de clorofila. Desde a coleta até a leitura do ensaio é tomado o cuidado em manter a amostra em abrigo da luz, bem como todo o processo analítico. Os pigmentos são extraídos do plâncton concentrado com a acetona aquosa, e a densidade óptica (absorbância) do extrato é determinada em espectrofotômetro com leitura em 664 nm.

6.2 Metodologia de comparação de resultados

Foram trabalhados 1742 resultados do período entre 2009 e 2013 de amostras de água bruta, de pontos de captações de abastecimento e pontos a montante e jusante de estações de tratamento de esgotos de sistemas atendidos pela Sabesp. A frequência de amostragem foi semestral. Os dados trabalhados são referentes aos limites desses parâmetros, seguindo a classificação do CONAMA 357/05, conforme Tabela 1. Não foram considerados os limites de quantificações dos métodos analíticos.

Este estudo abrange a correlação entre clorofila-*a* e cianobactérias, e também cianobactérias em relação à clorofila-*a*, demonstrados através de diagramas de dispersão. Foram utilizados como

critério de seleção de dados, os próprios limites de cada parâmetro pelo CONAMA. A partir dos diagramas e valores de R^2 foram calculados os coeficientes de correlação linear de Pearson entre dois conjuntos de dados.

7 RESULTADOS

Apesar de um grande número de dados terem sido analisados, um elevado número de amostras – 734, correspondente a 42% do total – apresentou valor zero de contagem de cianobactérias (Tabela 1). Dentro desse conjunto, 250 também apresentaram valor zero de concentração de clorofila-*a*, 460 apresentaram valores entre 0,1 a 10 $\mu\text{g/L}$, 18 de 10,1 a 30 $\mu\text{g/L}$ e 6 de 30,1 a 60 $\mu\text{g/L}$. As amostras com resultados positivos de contagem de cianobactérias foram incluídas na faixa de 1 a 10.000

cél/mL –713 amostras. O restante é composto por 28 dados na faixa de 10.001 a 50.000 e 10 na faixa de 50.001 a 100.000 cel/mL.

Os resultados obtidos mostraram que, para ambos os parâmetros, a maioria das amostras se encontra dentro da faixa de limite para Classe 1 do CONAMA, isto é, até 10.000 cel/mL de cianobactérias e até 10 $\mu\text{g/L}$ de clorofila-*a*. Os resultados das análises de correlação entre os parâmetros estudados são apresentados nos tópicos a seguir.

- a) Correlação das concentrações de clorofila em relação à densidade de cianobactérias
Os dados foram analisados em grupos separados por limites de clorofila-*a* em $\mu\text{g/L}$, sendo de 0 a 10, de 10,1 a 30 e de 30,1 a 60 $\mu\text{g/L}$.

Tabela 1 – Número de resultados de Clorofila-*a* e cianobactérias por classe do CONAMA

Densidade de cianobactérias (cel/mL)	Concentração de clorofila- <i>a</i> ($\mu\text{g/L}$)				Total	
	classe	0	0,1 a 10	10,1 a 30		30,1 a 60
		1		2		3
0		250	460	18	6	734
1-10.000	1	199	713	46	12	970
10.001-50.000	2	0	0	19	11	28
50.001-100.000	3	0	0	0	10	10

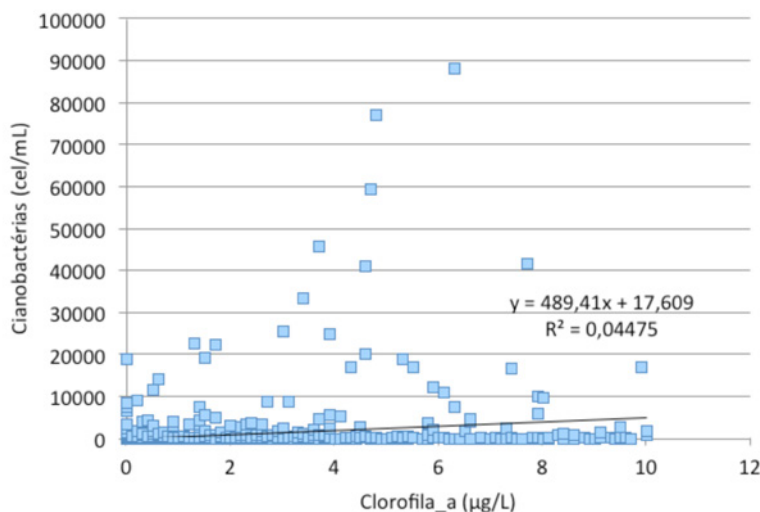


Figura 1 – Correlação de clorofila-*a* de 0 a 10 $\mu\text{g/L}$ em relação à cianobactérias

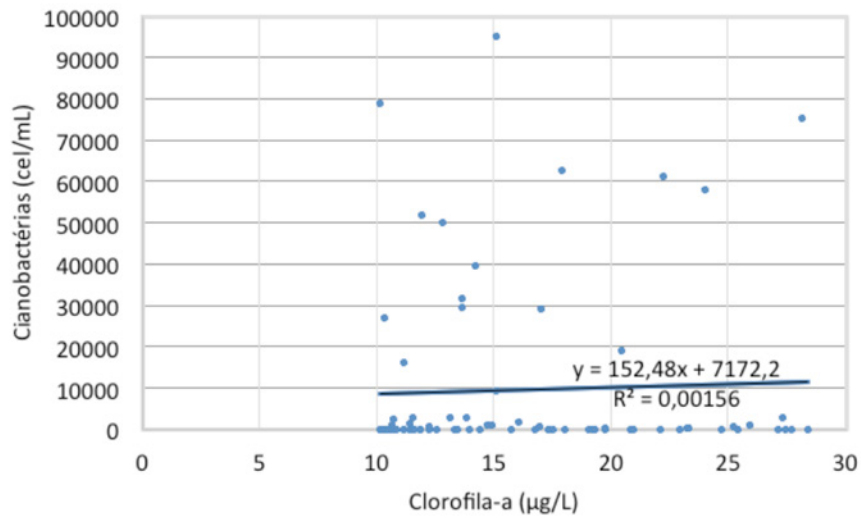


Figura 2 – Correlação de clorofila-a de 10,1 a 30 µg/L em relação às cianobactérias

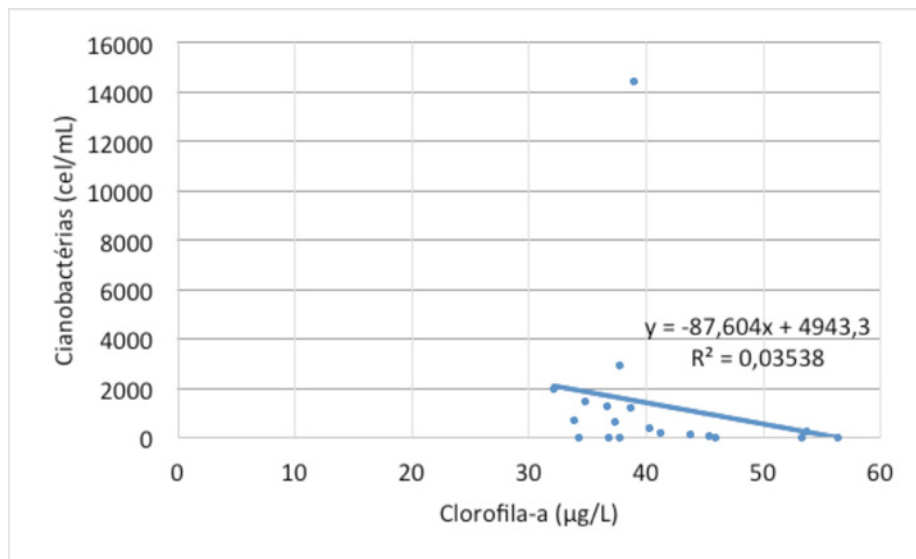


Figura 3 – Correlação de clorofila-a de 30,1 a 60 µg/L em relação às cianobactérias

A partir dos valores de R^2 obtidos nos diagramas acima, Figuras 1, 2 e 3, foram calculados os valores de coeficiente de correlação linear de Pearson entre dois conjuntos de dados (r) (Tabela 2). É possível observar que a correlação entre a concentração medida de clorofila-a e as densidades de cianobactérias foi muito fraca ou inexistente.

Tabela 2 – Correlação de clorofila-a em relação a cianobactérias

	Classe 1	Classe 2	Classe 3
	de 0 a 10 µg/L	de 10,1 a 30 µg/L	de 30,1 a 60 µg/L
R^2	0,0447	0,0016	0,0035
r	0,2114	0,0395	0,1881

b) Correlação da densidade de cianobactérias em relação às concentrações de clorofila-a

Os dados foram analisados em grupos separados por limites de número de células por mL, sendo de 0 a 10.000, de 10.0001 a 50.0000 e de 50.0001 a 100.000 cel/mL.

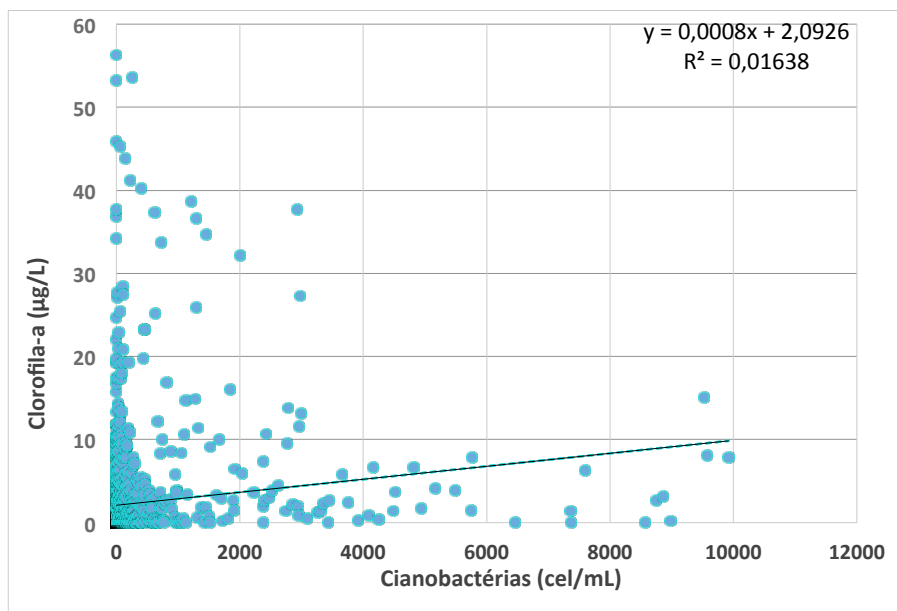


Figura 4 – Correlação de cianobactérias de 0 a 10.000 cel/mL em relação à clorofila

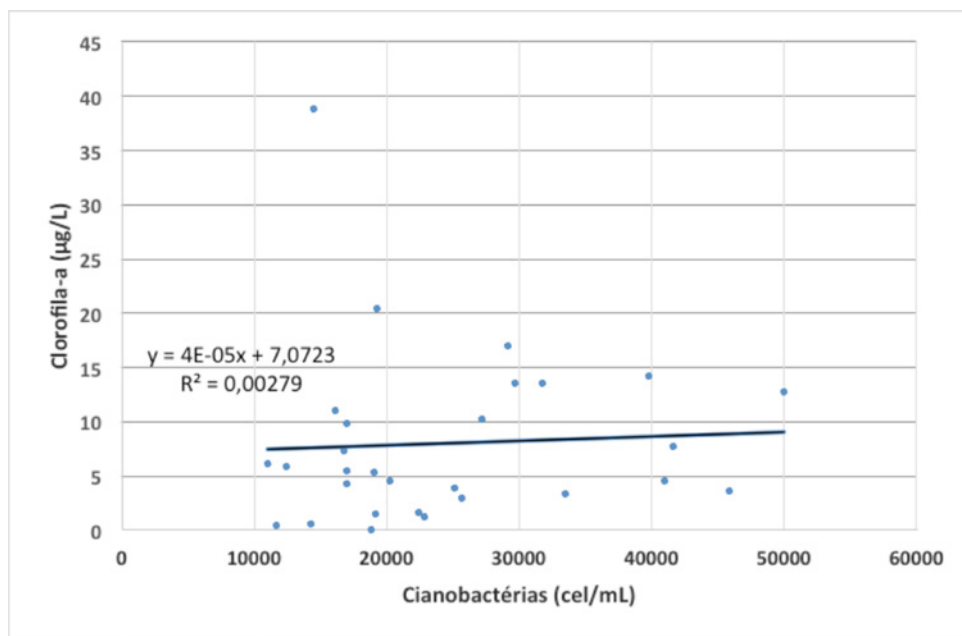


Figura 5 – Correlação de cianobactérias de 10.001 a 50.000 cel/mL em relação à clorofila

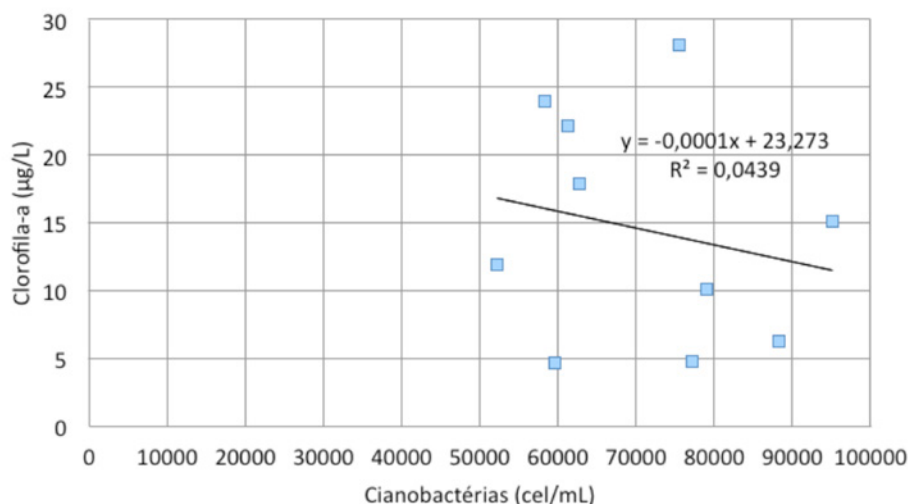


Figura 6 – Correlação de cianobactérias de 50.001 a 100.000 cel/mL em relação à clorofila

A partir dos valores de R^2 obtidos nos diagramas acima, Figuras 4, 5 e 6, foram calculados os valores de coeficiente de correlação linear de Pearson entre dois conjuntos de dados (r) (Tabela 3). Da mesma forma, a correlação entre a densidade de cianobactérias em relação aos dados de clorofila $-a$ foi muito fraca.

Tabela 3 – Correlação de cianobactérias em relação à clorofila- a

Correlação de cianobactérias em relação à clorofila- a			
	de 0 a 10.000 cel/mL	de 10.001 a 50.000 cel/mL	de 50.001 a 100.000 cel/mL
R^2	0,0175	0,0028	0,0499
r	0,1323	0,0529	0,2095

8 DISCUSSÃO

Os resultados analisados foram na maioria de valores baixos, em relação aos critérios de limites do CONAMA 357/05, estando enquadrados na Classe 1. Mesmo com muitos valores zero em ambos os parâmetros, não foi o suficiente para melhorar

a correlação entre os dois conjuntos de dados. Os resultados poderiam se apresentar com correlações ainda menores, caso os limites de detecção dos métodos fossem considerados.

A baixa correlação de clorofila- a em relação a cianobactérias pode ser interpretada como normal, já que a clorofila- a é encontrada em todos os grupos do fitoplâncton. Como nesse estudo não foram quantificados os outros grupos, não temos como avaliar o quanto foi de contribuição nos resultados atribuídos apenas às cianobactérias. Subtende-se que nos resultados com altos valores de clorofila e baixos de cianobactérias houve florações de outros grupos.

Neste estudo, a maior parte dos resultados foi de valores até 10µg/L de clorofila- a e até 10.000 cel/mL de cianobactérias, apresentando as correlações de 0,2114 de clorofila em relação à cianobactéria e 0,1323 de cianobactéria em relação à clorofila, sendo consideradas baixas correlações. Mesmo assim é possível avaliar que para esta faixa de resultados, a correlação de clorofila em relação

às cianobactérias é um pouco melhor. Há a inversão dessa análise quando são avaliados valores maiores para ambos os parâmetros, referentes à Classe 3 do CONAMA 357/05, isto é, apesar de baixa correlação entre os dois, a melhor correlação de cianobactérias em relação à clorofila é um pouco melhor – mesmo com apenas 10 resultados neste estudo – indicando melhor correlação.

FERNANDES *et al.*, (2005) avaliaram em seu estudo no Reservatório do Iraí no Estado do Paraná que houve uma correlação significativa entre clorofila -a e cianobactérias ou comunidade fitoplanctônica. Cabe lembrar que sua avaliação não foi apenas para cianobactérias, sendo assim, a melhora na correlação pode estar atribuída a outros grupos de fitoplâncton.

Não foram registrados neste estudo os dados de coleta, que poderiam ajudar a interpretar os resultados com maiores detalhes, como pelo menos dados de transparência, hora da coleta, chuvas, temperatura do ar e da água. Como já citado no desenvolvimento deste trabalho, alguns fatores fisiológicos e ambientais podem interferir na quantidade de clorofila encontrada. Portanto, se a coleta da amostra for realizada durante excesso de radiação, é possível que ocorra a fotoinibição, o que faz com que as populações fitoplanctônicas migrem na coluna d'água segundo um gradiente de luminosidade e profundidade, levando a variações de resultados analíticos.

Caberia para um próximo estudo, como complementação, analisar os fatores citados quanto à amostragem e também aumentar a frequência de monitoramento de sistemas com concentrações maiores desses dois parâmetros.

Há também a possibilidade dos métodos analíticos adotados não serem os mais adequados, quando se espera maior precisão nos resultados. As companhias de saneamento básico do país adotam para quantificação de cianobactérias o método por microscopia, pois mesmo não sendo tão preciso quan-

to por biologia molecular, o monitoramento desses micro-organismos potencialmente tóxicos é muito importante no acompanhamento do desenvolvimento, para que seus gestores possam agir de forma preventiva frente à população. Já para os métodos de quantificação de clorofila-a, a utilização de sondas pode ser um método mais preciso, apesar dos equipamentos de menor custo medir apenas clorofila-a, o que não permite diferenciar a comunidade fitoplanctônica. GREGOR e MARSALEK (2004) compararam três métodos de quantificação de clorofila: extração com etanol, método espectrofluorométrico e medições com sonda FluoroProbe, contendo cinco diodos para cobrir espectros de excitação para os principais pigmentos presentes em importantes grupos de fitoplâncton. Os três métodos apresentaram limitações, porém, a utilização da sonda foi o que mais apresentou benefícios, pois teve uma boa correlação com o método por extração com etanol, pôde responder com medições seletivas, isto é, permitiu diferenciar a comunidade fitoplanctônica e também atingiu grandes profundidades, além de ter demonstrado grande sensibilidade com níveis mais baixos de clorofila e comunidade fitoplanctônica variada. Um dos fatores limitantes para a utilização dessa sonda é a presença de muita matéria orgânica dissolvida no corpo d'água, resultando em falso positivo para clorofila, pois a cor amarelada pode ser considerada pela sonda como fitoplâncton. Também para cianobactérias as atualizações analíticas demonstram que a biologia molecular tem avançado muito, trazendo muitos benefícios à comunidade científica, sendo possível detectar cianobactérias mesmo em baixas concentrações e com mais precisão em relação à identificação das cepas. Entretanto, os custos associados à aplicação das técnicas moleculares é significativamente mais alto que as técnicas baseadas em microscopia, o que pode inviabilizar a sua implementação em companhias de saneamento com menor aporte de recursos.

É importante ressaltar que a Portaria 2914/11 inclui a recomendação de monitorar as concentrações de clorofila-a nas captações de

abastecimento como um indicador de um potencial aumento de densidade de cianobactérias e, assim, reavaliar a frequência de monitoramento de cianobactérias. Os dados obtidos neste estudo indicam que não necessariamente o aumento de clorofila-*a* significa o aumento de células na captação, o que pode levar ao estabelecimento de estratégias equivocadas de monitoramento da qualidade dos mananciais.

Dessa forma o aumento de clorofila-*a* na captação de sistemas de tratamento de água não contribui para a tomada de decisões para o controle de qualidade dos mananciais para fins de abastecimento público, quando referentes ao monitoramento de cianobactérias.

9 CONCLUSÕES

Os dados analisados são provenientes de amostras de mananciais Classe 1, que apresentaram baixos valores de clorofila-*a* e densidade de cianobactérias. Nestas condições, a correlação entre os parâmetros analisados foi insignificante. Sugere-se repetir o estudo analisando-se mais amostras de mananciais de Classe 2 e 3, que apresentam valores mais altos destes parâmetros para confirmar se o comportamento se repete.

O uso de métodos de biologia molecular e de sondas capazes de diferenciar pigmentos fotossintetizantes poderia aumentar a precisão das medidas e melhorar a correlação entre as medidas de clorofila-*a* e densidade de cianobactérias. Entretanto, a implementação desses métodos exigiria maiores investimentos, nem sempre compatíveis com o orçamento das companhias de saneamento.

A baixa correlação encontrada entre clorofila-*a* e densidade de cianobactérias encontradas no presente trabalho indica que o uso da concentração de clorofila-*a* como parâmetro para avaliar a frequência de monitoramento de cianobactérias deve ser revista, ou devem ser estabelecidos protocolos de análise que possam apoiar com

confiança a tomada de decisões para o controle de qualidade dos mananciais para fins de abastecimento público, quando se refere ao monitoramento de cianobactérias.

REFERÊNCIAS

- APHA; AWWA; WEF (2012). Standard methods for the examination of water and wastewater 22th edition. Washington DC: APHA.
- BOURRELLY, P. **Les Algues d'eau douce – Tome III: Eugéniens, péridiniens, algues rouges et algues bleues.** Paris. Société Nouvelle des Éditions Boubée. 1985, p.606.
- BRANCO, S. M. **Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária.** São Paulo: CETESB/ASCETESB. 1986. 640 p.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 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. Publicado no DOU de 12 de dezembro de 2011, seção 1, p. 39-46.
- BRASIL. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Publicada no DOU nº 053, de 18/03/2005, p. 58-63.
- CALIJURI, Maria. C. et al. **Cianobactérias e cianotoxinas em águas continentais.** São Carlos: RIMA,, 2006. 118 p.
- ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia.** Rio de Janeiro: Interciência. 1998. 602.
- FERNANDES, Luciano F. et al. Cianobactérias e cianotoxinas. In CLEVERSON, V. A.; CARNEIRO, C. (Org.). **Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados.** Curitiba. Capital Ltda Editora. 2005, p. 301-320.
- GREGOR, J.; MARSALEK, B. Freshwater phytoplankton quantification by chlorophyll *a*: a comparative study of *in vitro*, *in vivo* and *in situ* methods. **Water Res.**, vol. 38, nº. 3, p. 517-522, 2004.
- LAPOLLI, Flávio R. et al. Cianobactérias em Mananciais de Abastecimento – Problemática e Métodos de Remoção. **Revista DAE**, São Paulo, edição 185, p. 10- 17, jan. 2011.
- LOURENÇO, S.O. **Cultivo de microalgas marinhas: princípios e aplicações.** São Carlos: RiMa. 2006. 606 p.
- SANT'ANNA, Célia 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.; MATSUMURA, T. **Limnologia.** São Paulo: Oficina de textos. 2008. 631 p.