



ARTIGO

Diversidade de cianobactérias em mananciais da bacia do rio Sorocaba, com ênfase nas represas de Itupararanga e Ipaneminha, SP, Brasil

Ana Rita de Cassia Leite¹, Renata Cassemiro Biagioni² e Welber Senteio Smith^{1,3*}

Recebido: 27 de junho de 2017

Recebido após revisão: 14 de novembro de 2017

Aceito: 3 de janeiro de 2018

Disponível on-line em <http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/view/4002>

RESUMO: (Diversidade de cianobactérias em mananciais da bacia do rio Sorocaba, com ênfase nas represas de Itupararanga e Ipaneminha, SP, Brasil). Os mananciais de Itupararanga e Ipaneminha, que abastecem 85% da população de Sorocaba (SP) e região, foram monitorados de novembro de 2007 a janeiro de 2009, em cinco pontos de amostragem, com base em análises de cianobactérias e variáveis físicas e químicas, conforme a Resolução 357 do CONAMA e portaria 2914 do Ministério da Saúde. Os resultados demonstraram a ocorrência de cianobactérias na maioria dos pontos, com variações sazonais. A riqueza de cianobactéria esteve relacionada ao aumento do nitrogênio proveniente de fontes pontuais (esgoto) e difusas (agricultura) e a densidade celular não esteve correlacionada ao aumento do teor de fósforo. As elevadas ocorrências de *Dolichospermum solitarium*, *Aphanizomenon gracile*, *Cylindrospermopsis raciborskii* e *Microcystis aeruginosa*, espécies que ocorrem comumente em ambientes eutrofizados representam uma preocupação para os gestores dos mananciais e que demonstra um decréscimo na qualidade da água refletindo o desequilíbrio ambiental desse ecossistema, decorrente, em maior grau, das atividades antrópicas mencionadas.

Palavras-chave: Cianotoxina, eutrofização, mananciais de abastecimento, qualidade de água.

ABSTRACT: (Cyanobacterial diversity in water sources of the Sorocaba river basin, with emphasis on the Itupararanga and Ipaneminha dams, São Paulo state, southeastern Brazil). The Itupararanga and Ipaneminha rivers supply 85% of the population from the region of Sorocaba municipality (São Paulo state). These rivers were monitored from November 2007 to January 2009 in five sampling points, by analyzing cyanobacterial diversity therein as well as physical and chemical variables, following the procedures and quality criteria determined by CONAMA Resolution no. 357 and by Ordinance no. 2914 of the Brazilian Health Ministry. Our results revealed the occurrence of cyanobacteria in most points, with seasonal variation. Cyanobacterial richness was associated with increased nitrogen concentration resulting from point (sewage) and diffuse (agriculture) pollution sources. Cell density was not correlated to the increase in phosphorus content. The high occurrence of *Dolichospermum solitarium*, *Aphanizomenon gracile*, *Cylindrospermopsis raciborskii* and *Microcystis aeruginosa*, all of which are species that commonly occur in eutrophic environments, represents an issue for water resource managers, as it reveals a water quality impairment that reflects the occurrence of an environmental imbalance in the studied ecosystem mostly caused by the aforementioned human activities.

Keywords: Cyanotoxins, eutrophication, water quality, water sources.

INTRODUÇÃO

Desde a metade do século XX, a poluição e a introdução de macronutrientes tais como nitrogênio e fósforo nos corpos hídricos são reconhecidos como as principais causas da eutrofização artificial e das consequentes alterações da qualidade da água (Calijuri *et al.* 2006). Atualmente, grande parte dos corpos d'água do Brasil está eutrofizado (Trindade & Mendonça 2014), sendo as maiores incidências em locais próximos a centros urbanos e de áreas submetidas a atividades agrícolas, onde as descargas de nitrogênio e fósforo, nutrientes essenciais aos organismos autótrofos, são mais intensas (Tundisi & Tundisi 1992).

A principal consequência da eutrofização é a floração de espécies fitoplanctônicas caracterizada pelo crescimento exagerado de microalgas, especificamente cianobactérias (Pádua 2006). O interesse sobre as floras

de algas nocivas (FANs) tem aumentado ao longo dos últimos anos, sobretudo em função dos inúmeros problemas de saúde relacionados à ocorrência desses eventos e à limitação dos usos múltiplos da água (Freitas *et al.* 2012). Merece destaque as cianobactérias que são organismos procariontes (Sant'Anna *et al.* 2006), e entre elas as espécies planctônicas que são particularmente importantes em virtude dos problemas que podem causar nos ecossistemas aquáticos, tanto do ponto de vista ecológico quanto sanitário (Sant'Anna *et al.* 2006). Apresentam, preferencialmente, um melhor crescimento em águas neutroalcalinas (pH 6-9), temperatura entre 15 a 30°C e alta concentração de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo (FUNASA 2003).

Algumas espécies de cianobactérias são produtoras de grande biomassa em decorrência de condições favoráveis e também por apresentarem altas taxas de crescimento e quando em decomposição ou à noite, podem ocasionar

1. Laboratório de Ecologia Estrutural e Funcional, Universidade Paulista (UNIP), campus Sorocaba. Av. Independência, 752, Iporanga, CEP 18103-000, Sorocaba, SP, Brasil.

2. Laboratório de Ecologia Estrutural e Funcional de Ecossistemas, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), campus Sorocaba. Rod. João Leme dos Santos, Km 110, CEP 18052-780, Sorocaba, SP, Brasil.

3. Universidade de São Paulo (USP), Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais (CRHEA), Programa de Pós Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Linha de pesquisa Limnologia. Rodovia Domingos Innocentini, km 13, CEP 13560-970, Itirapina, SP, Brasil.

*Autor para contato. E-mail: welber_smith@uol.com.br

nar redução de oxigênio dissolvido, com danos à fauna aquática pela anoxia ou, no caso de peixes, pela obstrução de guelras (Panosso *et al.* 2007). No entanto, o principal problema relacionado às florações de cianobactérias em mananciais de abastecimento de água, é o fato de algumas espécies produzirem toxinas (cianotoxinas) que podem afetar a biota aquática e a saúde humana, seja pela ingestão de água, contato em atividades de recreação ou mesmo pelo consumo de pescado contaminado (Magalhães *et al.* 2003, Freitas *et al.* 2012).

Regiões abastecidas por mananciais que apresentam florações de cianobactérias tóxicas podem acarretar em maiores gastos relativos ao tratamento. Isso irá depender do método de captação, da sequência do tratamento da água e do controle operacional do sistema de abastecimento (FUNASA 2003). O controle das cianobactérias em mananciais de abastecimento é importante devido ao seu potencial tóxico. A portaria 2914 do Ministério da Saúde (BRASIL 2011) relativa às normas de qualidade, para água destinada ao consumo humano, estabelece que os órgãos responsáveis pelo tratamento e distribuição realizem análises mensais quando o número de células de cianobactérias não exceder 10.000, e semanal quando exceder 20.000 células/mL, além da realização de análises de cianotoxinas.

Um dos casos mais emblemáticos de contaminação por cianobactérias, sendo considerado o primeiro caso de morte humana, relatado no Brasil ocorreu em 1996, na cidade de Caruaru – Pernambuco, quando 123 pacientes de uma clínica de hemodiálise apresentaram quadro clínico de intoxicação hepática; desses, 60 pacientes morreram devido à utilização de água contaminada por hepatotoxina (Azevedo *et al.* 2002, Freitas *et al.* 2012).

Partindo do fato que, tanto as cianobactérias como suas toxinas, comprometem a qualidade da água fornecida à população, e por estarem inseridas nas normas da Resolução 357 do CONAMA e da portaria 2914 do Ministério da Saúde (BRASIL 2011), seu monitoramento e avaliação tornam-se imprescindíveis em mananciais utilizados para abastecimento público. Portanto, considerando o papel

fundamental das cianobactérias nos problemas de qualidade da água e a necessidade da ampliação dos estudos sobre esses organismos, este estudo pretende contribuir para o conhecimento da diversidade de cianobactéria e sua distribuição em dois mananciais que abastecem a cidade de Sorocaba e região, além de outros três pontos considerados controles.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

A área de estudo está localizada na bacia do rio Sorocaba (Fig. 1), estado de São Paulo e compreende as represas de Itupararanga e Ipaneminha, importantes mananciais de Sorocaba e região. A represa de Itupararanga, localizada no alto curso do rio Sorocaba, planalto cristalino da Serra de São Francisco, é formada pelos rios Sorocabuçu, Sorocamirim e Una. Sua extensão é de 40 km e a capacidade total do reservatório é estimada em 355.000.000 m³ de água, ocupando parcialmente os municípios de Ibiúna, Piedade, São Roque, Cotia, Vargem Grande Paulista, Mairinque, Alumínio e Votorantim (Smith 2003).

Na represa de Itupararanga estão localizados dois pontos da coleta: a prainha (SO01) e o Clube Náutico (SO02), ambos locais de recreação que possuem uma distância entre si de aproximadamente 6 km em linha reta. Um pequeno tributário que deságua na represa (RIA01) representa o terceiro ponto, sendo este, um controle de riachos que são tributários da represa. O quarto ponto de coleta está localizado na Cachoeira-da-Chave (SO03), localizada dentro da cidade de Votorantim e pertencente ao rio Sorocaba, localizado a jusante da represa de Itupararanga (Fig. 1).

A represa de Ipaneminha (IPA01), localizada na divisa entre Sorocaba e Votorantim, é um manancial de pequenas proporções utilizado como auxiliar em épocas de alto consumo de água e representa o quinto ponto de coleta. Esse manancial foi escolhido por ser utilizado pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) de Sorocaba e

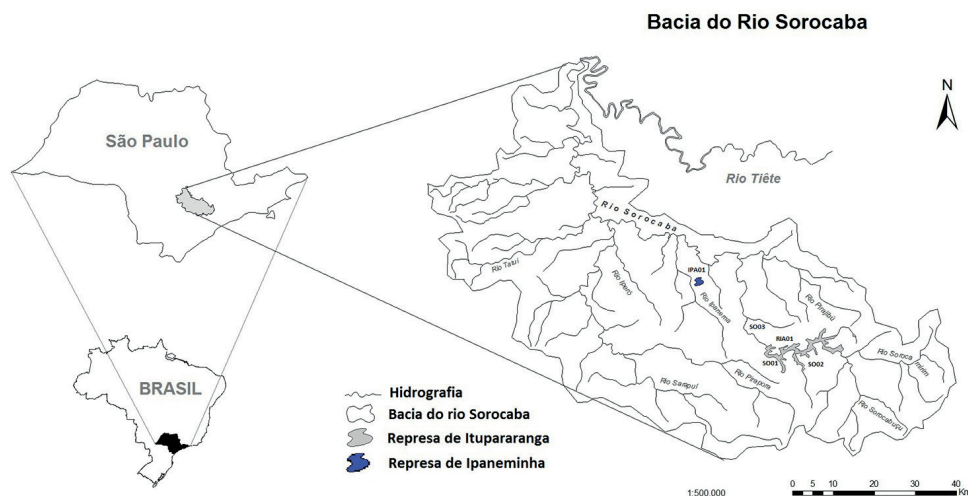


Figura 1. Bacia hidrográfica do rio Sorocaba, SP, e a localização dos pontos de coleta.

Tabela 1. Coordenadas geográficas dos pontos de coleta no município de Votorantim, SP, Brasil.

Ponto	Local de coleta	Corpo d'água	Latitude	Longitude
SO01	Prainha	Itupararanga	23°35'42"S	47°18'01"O
SO02	Clube Náutico	Itupararanga	23°37'13"S	47°24'14"O
SO03	Cachoeira-da-Chave	Rio Sorocaba	23°32'55"S	47°26'43"O
RIA01	Afluente	Tributário Itupararanga	23°35'29"S	47°23'51"O
IPA01	Represa de Ipaneminha	Ribeirão Ipanema	23°32'29"S	47°31'07"O

Votorantim, para a captação de água. Os cinco pontos de coleta são apresentados na Tabela 1 e representam locais de importância para abastecimento e com evidências de proliferação de cianobactérias.

Coleta das amostras

As coletas foram realizadas mensalmente entre novembro de 2007 e janeiro de 2009. As amostras foram obtidas entre a superfície e 30 cm do corpo d'água em duplicata (para visualização *in vivo* para análise qualitativa e outra preservada em solução de lugol 1%, para sedimentação dos organismos e análise quantitativa) utilizando garrafas cilíndricas de polietileno. Após a coleta, estas foram armazenadas em frascos apropriados e refrigeradas com um volume total de 300 mL (Bicudo & Menezes 2006, Sant'Anna *et al.* 2006).

Análise qualitativa e quantitativa

As cianobactérias foram classificadas taxonomicamente até o nível de espécie com o auxílio de chaves de identificação de Bicudo & Menezes (2006), Sant'Anna *et al.* (2006) e Komárek *et al.* 2014, com auxílio de microscópio óptico Carl Zeiss e aumentos de 400x e 1000x. A abundância de espécies foi estimada através da contagem verificada nas amostras e a riqueza, de acordo com o número de gêneros encontrados por pontos de amostragem.

A contagem das células de cianobactérias foi realizada em microscópio binocular, em câmara de Sedgwick-Rafter com retículo de Whipple acoplado na ocular de 10x, devidamente calibrado. A estimativa da densidade de cianobactérias foi feita utilizando a fórmula descrita na Norma Técnica L5.303 (CETESB 2006) e os resultados encontrados expressos em células por mililitro (cél/mL).

Caracterização ambiental

Para a caracterização física e química dos pontos de coleta foram registrados em campo: a temperatura através de termômetro de mercúrio, com escala de 0 a 50 °C, e o pH, com pHmetro portátil Hanna (HI991003). As análises de nitrogênio amoniacal e ortofosfato foram realizadas em laboratório, por método colorimétrico (Apha 2012), sendo a leitura realizada em Espectrofotômetro modelo DR 2800. O índice pluviométrico foi fornecido pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) de Sorocaba.

Análise estatística

Foi calculada a abundância relativa e, para sua interpretação, utilizou-se a escala segundo Dajoz (1978). Foi obtida ainda a frequência de ocorrência de acordo com Mateucci & Colma (1982) que é o percentual de ocorrência de uma espécie em relação a soma das frequências absolutas de todas as espécies: $FO = (FA / \sum FA) \times 100$, em que FO é a frequência de ocorrência (%), FA é a frequência absoluta que é o número de amostras onde a espécie ocorre dividido pelo número total de amostras. Análises estatísticas foram processadas para verificar a correlação entre os dados de densidade fitoplanctônica e o índice pluviométrico e entre a densidade fitoplanctônica e a riqueza de táxons com os valores de nitrogênio amoniacal e fosfato. Assim, com auxílio do software Past, os dados foram submetidos a Análise de correlação de Spearman, pois os dados não apresentaram normalidade, com nível de confiança de 95% ($p < 0,05$).

RESULTADOS

De acordo com os valores de pH obtidos, foram verificadas em todas as amostras uma variação ao longo dos meses, com mínimo de 6,0 e máximo de 8,3, principalmente no ponto IPA01, onde as variações do pH foram mais acentuadas. A temperatura registrada se manteve dentro do previsto para as diferentes épocas do ano com valores mais altos entre agosto a abril e decaindo nos meses de maio a julho (Figs. 2 e 3). A Figura 2 apresenta os valores médios de nitrogênio amoniacal e ortofosfato. Os maiores valores de nitrogênio amoniacal foram observados nos pontos SO03, IPA01 e SO01 (0,17, 0,13 e 0,1 mg/L respectivamente) e para ortofosfato nos pontos IPA01, SO03 e SO01 (0,089, 0,081 e 0,064 mg/L respectivamente). De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/05, os pontos IPA01, SO03 e SO01 para o parâmetro fósforo que preconiza um valor máximo de 0,05 mg.L⁻¹. O ponto RIA01 foi o que apresentou os menores valores para os dois parâmetros.

Foram identificadas 18 espécies, distribuídas em cinco ordens e quatorze famílias conforme apresentado na Tabela 3. Durante a realização do estudo, a ordem com maior representatividade foi Nostocales (Fig. 4). O ponto RIA01 não está representado, pois não foi encontrada cianobactéria durante o estudo. Os pontos SO03, SO01 e SO02 apresentaram as maiores riquezas taxonômicas (14, 13 e 12 respectivamente). A Tabela 3 mostra ainda a frequência de ocorrência dos táxons encontrados por ponto de coleta durante os 13 meses de amostragem. As cianobactérias mais frequentes foram: *Dolichospermum solitarium* (Klebahn) Wacklin, L. Hoffmann & Komárek 2009, *Aphanizomenon gracile* Bornet & Flahault 1888, *Cylindrospermopsis raciborskii* Seenayya & Subba Raju 1972 e *Microcystis aeruginosa* Lemmermann 1907.

Os pontos SO01, SO02 e SO03 apresentaram as maiores densidades celulares de cianobactérias (Fig. 5), em todos os meses amostrados. A densidade celular ultrapassou o que preconiza a portaria 2914 do Ministé-

Tabela 2. Valores médios (Med) e desvio padrão (DP) de nitrogênio amoniacal e ortofosfato, analisados nos cinco pontos de coleta no período de estudo.

Parâmetros	SO01		SO02		SO03		RIA01		IPA01	
	Med	DP	Med	DP	Med	DP	Med	DP	Med	DP
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	0,1	0,01	0,08	0	0,17	0,01	0,03	0	0,13	0,001
Ortofosfato (mg/L)	0,064	0,001	0,043	0	0,081	0,01	0,02	0	0,089	0

rio da Saúde (BRASIL 2011) que é de 20.000 cels/mL para quase todos os meses e o máximo permitido pela resolução CONAMA 357/05 para este tipo de manancial, que é de 50.000 cels/mL nos meses de maio, outubro, novembro e dezembro de 2008. No ponto IPA01, as contagens apresentaram grande variação, oscilando entre zero (janeiro, fevereiro, outubro de novembro de 2008) e 31.000 cels/mL em abril de 2008. Não houve cianobactérias nas amostras analisadas do ponto RIA01.

Em geral, a riqueza (Fig. 6) se apresentou alta para estes mananciais, com exceção do ponto RIA01. Houve maior densidade principalmente nos pontos SO01 e SO02, decaindo no ponto SO03. O ponto IPA01 registrou um menor número de riqueza e densidade. Pelos resul-

tados encontrados, é possível verificar que a riqueza/densidade segue o mesmo padrão nos locais estudados. O ponto com maior riqueza registrada foi o SO03, com 14 espécies, local de ambiente lótico e à jusante dos pontos SO01 e SO02, pertencentes à represa de Ituparanga. A figura 7 mostra que nos meses com maior pluviosidade a densidade é menor e com a redução da pluviosidade a densidade aumenta. A precipitação pluviométrica no mês de dezembro de 2008 foi praticamente a metade de dezembro de 2007 e a relação entre a densidade de cianobactérias encontrada nesse mesmo período é inversamente proporcional. Apesar disso, a correlação entre densidade e o índice pluviométrico não foi significativa. Uma correlação positiva entre a riqueza de cianobactérias e nitrogênio amoniacal ($r=0,9$) foi observada. Houve também uma correlação negativa entre a densidade de células e o fosfato ($r=-1$) (Tab. 4).

DISCUSSÃO

Os resultados físicos e químicos obtidos no presente estudo demonstraram que os ecossistemas estudados

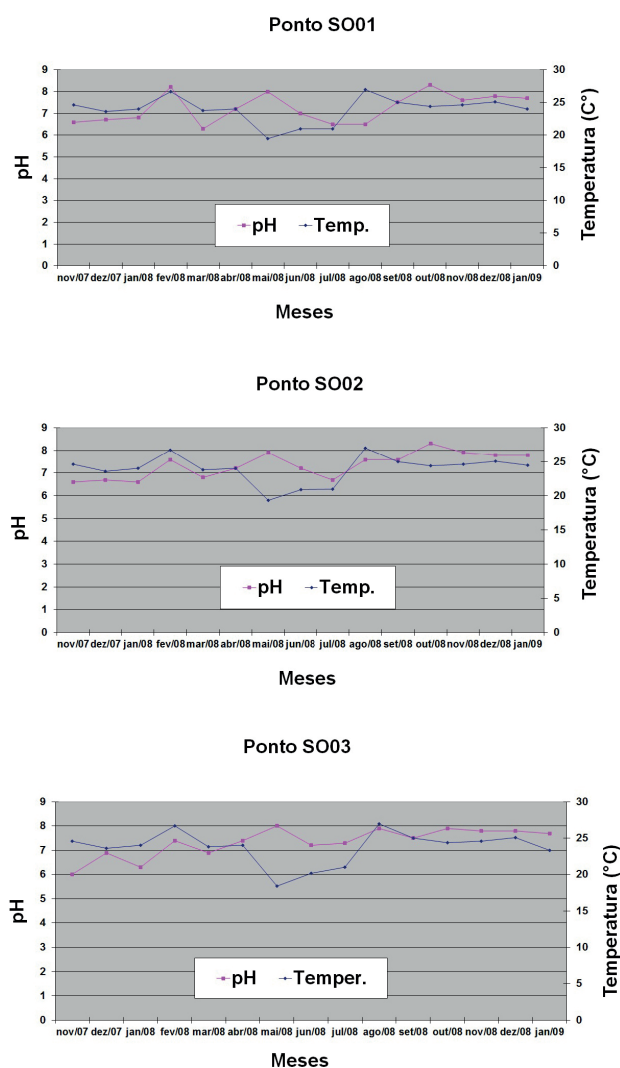


Figura 2. Valores de pH e temperatura da água, nos pontos SO01, SO02 e SO03, entre novembro de 2007 e janeiro de 2009.

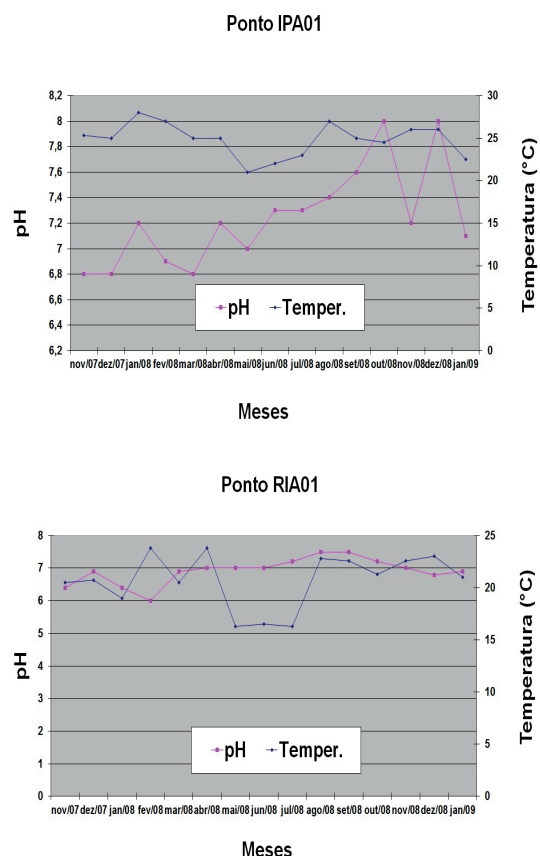


Figura 3. Valores de pH e temperatura da água, nos pontos IPA01 e RIA01, entre novembro de 2007 e janeiro de 2009.

estão sujeitos a perturbações e que pelos valores de nitrogênio e fósforo total, existem impactos que causam a entrada desses nutrientes. De acordo com Salles *et al.* (2008) e Vargas (2012), a entrada de esgoto não tratado, a ausência de vegetação nas áreas de preservação permanente e as grandes áreas agrícolas na cabeceira do reservatório de Itupararanga são os principais impactos observados. Essa constatação foi relatada também por Carvalho (2003), Moschinni-Carlos *et al.* (2007) e Cunha & Calijuri (2011), que afirmam que o reservatório de Itupararanga (pontos SO01 e SO02) vêm sendo gradualmente degradados. Carvalho (2003) afirma que, apesar do predomínio de cianobactérias, o estado trófico do reservatório era oligo-mesotrófico. Já Moschinni-Carlos *et al.* (2007) classificaram o reservatório como eutrófico. Os outros locais (SO03, IPA01 e RIA01) nunca foram

estudados e também apresentam processos intensos de degradação com exceção do ponto RIA01.

Com relação à temperatura, o presente estudo mostrou valores mais altos nos meses de verão e baixo no inverno, o que é esperado para as áreas estudadas. O pH esteve em todo estudo na faixa recomendada pela resolução CONAMA 357. De acordo com Cunha & Calijuri (2011), esses dois parâmetros estão associados a dinâmica temporal do fitoplâncton assim como o nitrogênio e fósforo discutido anteriormente. De acordo com Panosso *et al.* (2007), elevados valores de temperatura da água e pH entre 6 e 9 durante os períodos de estiagem, contribuem significativamente para a proliferação das cianobactérias. No presente estudo, o pH ficou entre 6 e 8,3 sendo este último valor registrado principalmente quando a densidade de células de cianobactérias se apresentou maior. Segundo

Tabela 3. Ocorrência dos gêneros de cianobactérias identificados em cada ponto durante período de estudo e a frequência de ocorrência (FO) de cada espécie.

Espécie	SO01	SO02	SO03	RIA01	IPA01	FO
NOSTOCALES						
NOSTOCACEAE						
<i>Dolichospermum solitarium</i> Klebahn) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek 2009	*	*	*		*	0,8
APHANIZOMENONACEAE						
<i>Aphanizomenon gracile</i> Morren ex Bornet & Flahault 1888	*	*	*		*	0,8
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> Seenayya & Subba Raju 1972	*	*				0,4
SYNECHOCOCCALES						
MERISMOPEDIACEAE						
<i>Aphanocapsa elachista</i> Nägeli 1849	*	*				0,4
SYNECHOCOCCACEAE						
<i>Cyanodictyon</i> sp. Pascher 1914	*	*	*		*	0,8
MERISMOPEDIACEAE						
<i>Merismopedia glauca</i> Meyen 1839	*	*				0,4
PSEUDANABAENACEAE						
<i>Jaaginema</i> sp. Anagnostidis & Komárek 1988	*	*	*			0,6
<i>Limnothrix</i> sp. Meffert 1988	*	*	*			0,6
<i>Pseudanabaena moliniformes</i> Lauterborn 1915	*	*			*	0,6
COELOSPHAERIAEAE						
<i>Woronichinia</i> sp. Elenkin 1933		*	*		*	0,6
SPIRULINALES						
SPIRULINACEAE						
<i>Spirulina</i> sp. Turpin ex Gomont 1892	*	*	*			0,6
CHROOCOCCALES						
APHANOTHECACEAE						
<i>Aphanothece comasii</i> Nägeli 1849	*	*	*		*	0,8
MICROCYSTACEAE						
<i>Microcystis aeruginosa</i> Kützinger ex Lemmermann 1907			*		*	0,4
OSCILLATORIALES						
CYANOTHECACEAE						
<i>Oscillatoria</i> sp. Vaucher Gomont 1892	*		*			0,4
OSCILLATORIAEAE						
<i>Phormidium</i> sp. Kützinger ex Gomont 1892			*		*	0,4
MICROCOLEACEAE						
<i>Planktothrix</i> sp. Anagnostidis & Komárek 1988	*		*			0,4
COLEOFASCICULACEAE						
<i>Geitlerinema splendendum</i> (Anagnostidis & Komárek) Anagnostidis 1989			*			0,2
OSCILLATORIAEAE						
<i>Lyngbya caetenata</i> C. Agardh ex Gomont 1892			*			0,2

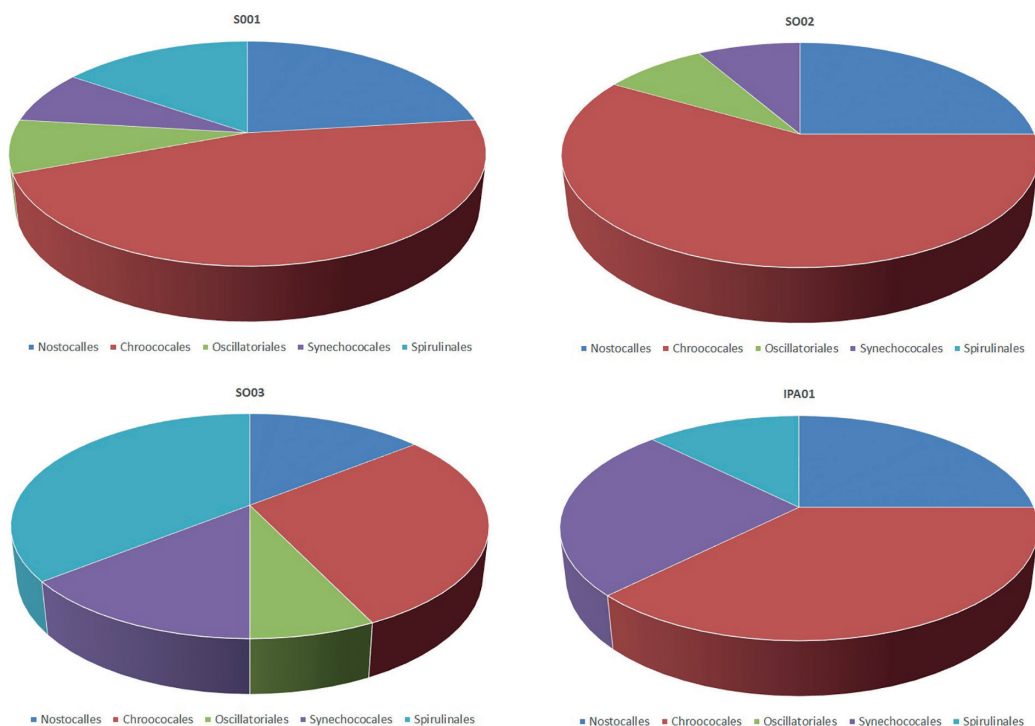


Figura 4. Distribuição (%) das ordens de cianobactérias encontradas em cada ponto amostral durante o estudo.

Panosso *et al.* (2007), pH entre 8 e 9 favorecem o crescimento de cianobactérias em corpos d'água tropicais.

A riqueza de espécies inventariadas pelo presente estudo parece ser similar, comparada a outros trabalhos realizados principalmente na represa de Itaparanga.

Considerando os dois pontos (SO01 e SO02), 14 espécies foram identificadas. Esse resultado é corroborado por Cunha & Calijuri (2011). Casali (2014) documentou 21 espécies para a represa, o que mostra que novos estudos possam ainda ampliar esse inventário. Vale salientar o

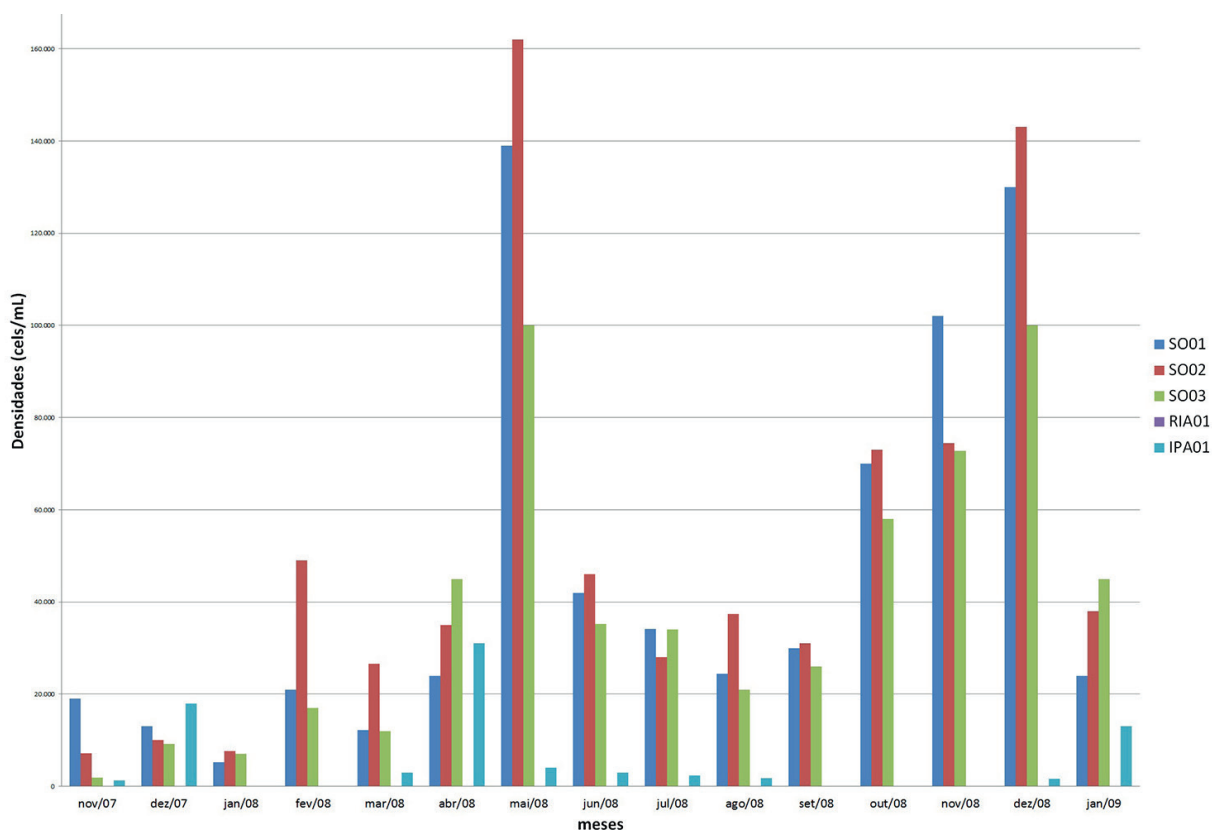


Figura 5. Densidades de cianobactérias (cels/mL), nos cinco pontos, durante o período estudado de novembro de 2007 a janeiro de 2009.

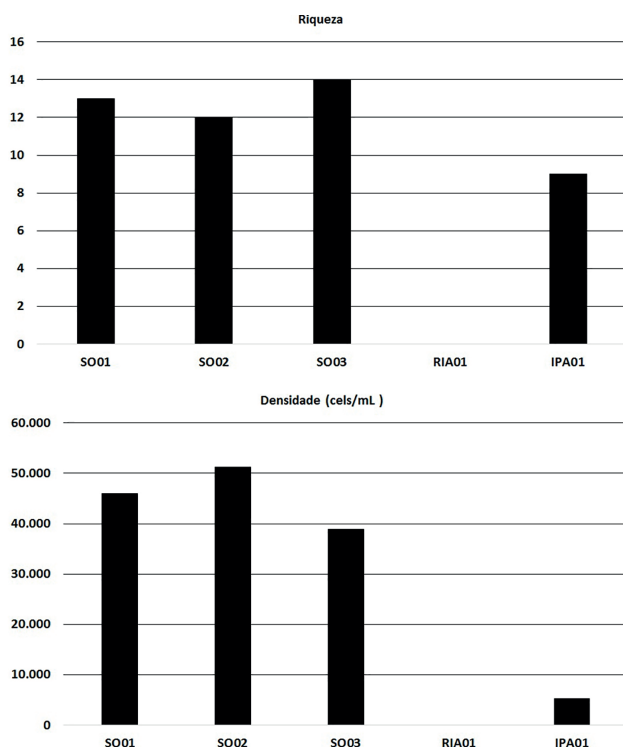


Figura 6. Relação entre a riqueza total e o valor médio da densidade celular para cada ponto de coleta durante os 13 meses avaliados.

resultado semelhante apresentado pelo ponto localizado a jusante da represa (SO03) que mesmo sendo lótico apresentou 14 espécies, riqueza elevada, o que merece atenção do poder público quando da captação da água do rio Sorocaba para abastecimento. A represa de Ipaneminha (IPA01) apresentou oito espécies o que demonstra certa riqueza de cianobactéria. Este resultado deve ser entendido como um alerta para a autarquia que opera o manancial, pois este é utilizado para o abastecimento. Os pontos IPA01, RIA01 e SO03 nunca foram inventariados e as informações obtidas são inéditas.

Tabela 4. Resultados da Correlação de Spearman entre a densidade de células de cianobactérias (cels/mL) e o índice pluviométrico e entre a densidade de células de cianobactérias (cels/mL) e a riqueza de espécies com os valores de nitrogênio amoniacal e fosfato nos cinco pontos, considerando as médias obtidas durante o estudo de novembro de 2007 a janeiro de 2009.

	Spearman r	p
Densidade celular e índice pluviométrico	-0,325	0,236
Densidade celular e nitrogênio amoniacal	0,5	0,45
Densidade celular e fosfato	-1,0	0,016667
Riqueza e nitrogênio amoniacal	0,9	0,016667
Riqueza e fosfato	-0,6	0,233

As cianobactérias mais frequentes no presente estudo foram *Dolichospermum solitarium*, *Aphanizomenon gracile*, *Cylindrospermopsis raciborskii* e *Microcystis aeruginosa*. Esse resultado é similar ao obtido por Cunha & Calijuri (2011) e Casali (2014), que estudaram a represa de Itupararanga. Nos demais locais estudados, não há informações até o presente momento, mas os pontos SO03 e IPA01 que apresentaram cianobactérias, também tiveram tais espécies como as mais frequentes. Estas espécies são potencialmente tóxicas. Sant'Anna *et al.* (2008) realizaram uma avaliação das ocorrências de diversas espécies de cianobactérias no Brasil, considerando as regiões tropical e subtropical do país e observaram que a região tropical apresenta menor biodiversidade de cianobactérias tóxicas (14 espécies) se comparado a região subtropical (27 espécies). Os autores concluíram ainda, que as cianobactérias *Microcystis aeruginosa* e *Cylindrospermopsis raciborskii* são as espécies tóxicas mais encontradas, ocorrendo em diferentes partes das áreas tropical e subtropical. Esses dados são corroborados pelo presente estudo. Atenção especial deve ser dada a espécie *C. raciborskii*, com maior frequência e abundância, nos pontos SO01, SO02 e SO03, resultado

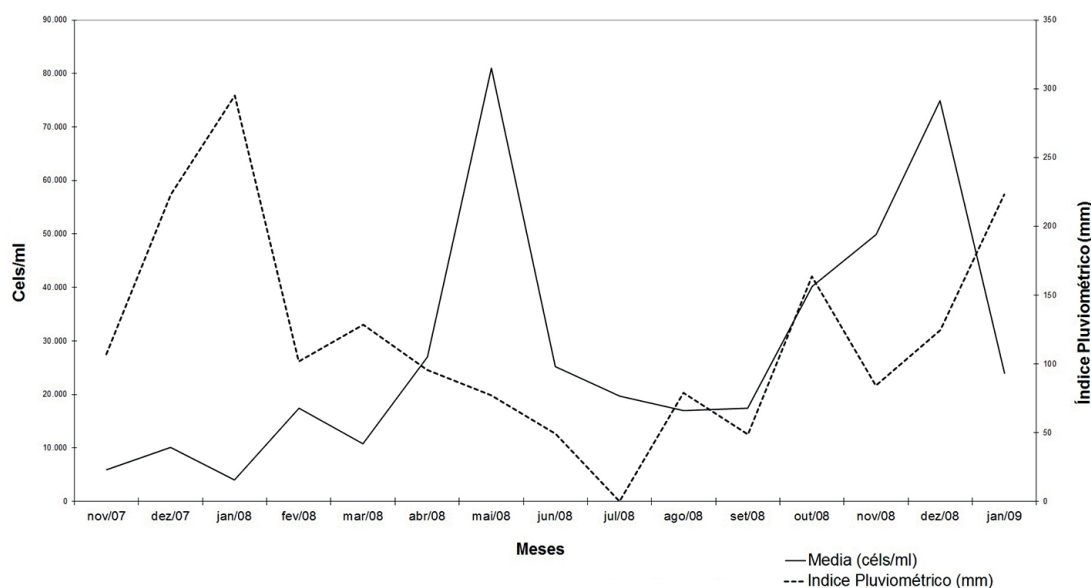


Figura 7. Relação entre a densidade de cianobactérias e o índice pluviométrico mensal ao longo do período de estudo.

similar ao encontrado por Cunha & Calijuri (2011) e Casali (2014). Segundo Calijuri *et al.* (2006), nos últimos anos tem-se observado aumento de florações de *C. raciborskii* em reservatórios eutrofizados. De acordo com Casali (2014), no reservatório de Itupararanga, destaca-se a predominância dessa espécie tanto na época seca como na chuvosa, sendo no presente estudo presente nos dois pontos do reservatório estudado. Em comparação a outros reservatórios brasileiros, as densidades observadas no reservatório de Itupararanga são semelhantes a obtidas em outros ambientes meso e eutroficos (Casali 2014). Trabalhos realizados em outras bacias hidrográficas também obtiveram resultado semelhante podendo ser citados Bouvy *et al.* (2000), Tucci & Sant'Anna (2003) e Panosso *et al.* (2007).

Tucci & Sant'Anna (2003) verificaram ainda alta densidade dessa espécie. Em muitos trabalhos, observa-se o crescente predomínio de *C. raciborskii* em águas doces temperadas e tropicais (Bicudo & Menezes 2006). Mihaljevic' & Stevic (2011) documentam essa espécie para rios e planícies de inundação da Europa. Estes autores salientam que *C. raciborskii* é uma espécie invasora nas águas europeias. Temperatura da água, juntamente com nutrientes e chuvas foram os principais parâmetros para altas densidades dessa espécie segundo esses autores.

Cylindrospermopsis raciborskii é uma cianobactéria potencialmente tóxica e que pode se tornar um grave problema de saúde pública. Uma análise realizada por Bouvy *et al.* (2000) em 39 reservatórios do semiárido do nordeste brasileiro, identificou a grande correlação entre o estado trófico e essa espécie, quanto às concentrações de fósforo, principalmente. Outros trabalhos mais recentes associam a sua predominância a pulsos de fosfato em reservatórios (Posselt *et al.* 2009). Panosso *et al.* (2007) afirmam ainda que a redução da transparência da água, elevados valores de temperaturas da água (26 a 34°C), condutividade elétrica (média entre 253 a 900 μ S.cm⁻¹) e pH (entre 8 e 9) favorecem o crescimento dessa espécie.

Segundo Kenesi *et al.* (2007), *C. raciborskii* apresenta melhor crescimento e mantém alta biomassa em ambientes com limitação de fosforo, desde que haja disponibilidade de amônia ou nitrato como o observado no presente estudo. É uma espécie considerada oportunista, possuindo diversas estratégias adaptativas, como reservas intracelulares de fósforo e fixação de nitrogênio (Branco & Senna, 1994), sendo esta espécie, mundialmente conhecida pelo potencial de produção de diferentes tipos de toxinas (hepato e neurotoxinas) (Cybis *et al.* 2006). De acordo com Reynolds *et al.* (2002) e Padisak *et al.* (2009), essa espécie é tolerante a baixas concentrações de nitrogênio e radiação solar e possui capacidade de estocar fósforo.

Os altos valores de densidade de cianobactérias apresentados na represa de Itupararanga (SO01 e SO02) e a jusante desta (SO03), reforçam a exigência de análises de cianotoxinas na água do manancial, no ponto de captação, com frequência semanal de acordo com a portaria 2914 do Ministério da Saúde (BRASIL 2011). Esse acom-

panhamento já é feito pela autarquia responsável pelo abastecimento do município de Sorocaba.

Esses resultados são corroborados pelos dados apresentados pela CETESB (2015) para o reservatório de Itupararanga cuja concentração de células de cianobactérias ultrapassou o valor de 20.000 céls.mL⁻¹ em todas as amostragens no ano de 2015. Os pontos SO01 e SO02 correspondem a represa que abastece diretamente, quase 1 milhão de habitantes, sendo o principal manancial de Sorocaba e região. As cianotoxinas podem oferecer um sério risco à saúde da população e de animais em contato direto com a água contaminada. Embora sejam raramente ingeridas pelo homem em quantidade suficiente para uma dose aguda letal, o dano causado pelo efeito crônico é particularmente mais provável se existir uma exposição frequente em longo prazo (Magalhães *et al.* 2003).

Os altos valores de densidade apresentados pelos pontos SO01, SO02 e SO03 na maioria dos meses, valores esses acima do recomendado pela Resolução CONAMA 357/05, correspondendo à classe II (limite máximo de 50.000 células/mL) oferecem risco ao uso da água, bem como para a biota aquática, pois podem causar intoxicação a peixes e invertebrados, de acordo com a resolução do CONAMA – 357. Essa constatação reforça a necessidade de monitoramento constante e confirma a crescente redução da integridade ambiental desses locais.

O presente estudo verificou correlação positiva entre riqueza e nitrogênio e correlação negativa entre densidade celular e fósforo. A influência do nitrogênio sobre a comunidade de cianobactérias já está bem estabelecida na literatura sendo inúmeros os trabalhos que demonstram que muitas espécies possuem o nitrogênio como fator limitante, entre eles podemos citar Fernandes *et al.* (2009), Cunha & Calijuri (2011) e Mantovani (2011).

Mustapha (2009) mostrou que a assembleia fitoplânctônica é correlacionada com nitrogênio, resultado similar ao presente estudo. Machado *et al.* (2016), em estudo realizado na Represa Guarapiranga, evidenciaram isso pela relação entre a elevada biomassa constatada para cianobactérias e altos teores de nutrientes, principalmente de amônio, afirmando ser este um dos fatores que favorecem a ocorrência de gêneros de cianobactérias potencialmente tóxicas tais como *Microcystis aeruginosa* e *Cylindrospermopsis raciborskii*.

A não correlação entre densidade celular e índice pluviométrico, parece contrariar nossos resultados (Fig. 6) que mostra claramente que com a redução das chuvas aumenta a densidade celular e também o que se encontra na literatura disponível, como Oliver & Ribeiro (2014). Mihaljevic' & Stevic (2011) verificaram que as florações de cianobactérias foram maiores no período seco do que em períodos chuvosos. Afirmam ainda que nos períodos de chuva, a biomassa do fitoplâncton foi baixa.

Para Esteves (1998), as chuvas podem ser consideradas como fonte significativa de fosfato e nitrogênio, principalmente em regiões de intensa poluição atmosférica. Vários trabalhos indicam a influência da temperatura na densidade e floração de cianobactérias, por exemplo,

Paerl & Huisman (2008). A temperatura e não somente a pluviosidade pode exercer influência na densidade e floração de cianobactérias. Crossetti *et al.* (2014) afirmam que a temperatura da água tem uma grande influência na assembleia fitoplancônica.

De acordo com o exposto acima, conclui-se que as represas de Ituparanga e Ipaneminha apresentam considerável riqueza de espécies de cianobactérias, tendo como mais frequentes *Dolichospermum solitarium*, *Aphanizomenon gracile*, *Cylindrospermopsis raciborskii* e *Microcystis aeruginosa*. Principalmente Ituparanga apresentou elevadas densidades de cianobactérias na maioria dos meses avaliados tendo principal relação com as concentrações de nitrogênio. Estes resultados representam uma preocupação para os gestores dos mananciais e que demonstra um decréscimo na qualidade da água refletindo o desequilíbrio ambiental desse ecossistema, decorrente, em maior grau, das inúmeras atividades antrópicas as quais são submetidos. Como destacam Paerl & Huisman (2009) e Lapolli *et al.* (2011), as mudanças ambientais induzidas pelo homem, principalmente em relação ao aporte de nutrientes nos corpos d'água, particularmente nitrogênio e fósforo, associado com o desenvolvimento urbano, agrícola e industrial, têm contribuído com a eutrofização de ambientes aquáticos. Os mananciais de abastecimento têm se tornado, nos últimos anos, um ambiente de destaque quanto à ocorrência de florações de cianobactérias, visto a reduzida qualidade das águas destinadas ao abastecimento. Esse comportamento tem sido observado no âmbito global, em termos de frequência, duração e severidade.

Sendo assim estes mananciais merecem atenção do poder público quando da captação da água para abastecimento, mas principalmente com relação ao gerenciamento hídrico desses mananciais. A luz do comitê de bacias hidrográficas, da APA de Ituparanga e da recém-criada Região Metropolitana de Sorocaba, medidas urgentes de combate aos impactos devem ser adotadas e restrições as atividades potencialmente poluidoras como lançamento de efluentes, uso de defensivos agrícolas, tanques redes, ocupação das APPs devem ser prioridades, bem como a melhora das eficiências das estações de tratamento de esgoto dos municípios do entorno desses mananciais.

REFERÊNCIAS

- APHA, 2012. *Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater*. 22nd Ed.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, DC.
- AZEVEDO, S. M. F. O., CARMICHAEL, W. W., JOCHIMSEN, E. M., RINEHART, K. L., LAU, S.; SHAW, G. R. & EAGLESHAM, G. K. 2002. Human intoxication by microcystins during renal dialysis treatment in Caruaru-Brazil. *Toxicology*, 181-182: 441-446.
- BICUDO, C. E. de M. & MENEZES, M. 2006. *Gêneros de algas de águas continentais do Brasil: chave para identificação e descrições*. 2 ed. São Carlos: RiMa. 502 p.
- BOUVY, M., FALCÃO, D., MARINHO, M., PAGANO, M. & MOURA, A. 2000. Occurrence of *Cylindrospermopsis* (Cyanobacteria) in 39 Brazilian tropical reservoirs during the 1998 drought. *Aquatic Microbial Ecology*, 23: 13-27.
- BRANCO, C. W. C. & SENNA, P. A. C. 1994. Factors influencing the development of *Cylindrospermopsis raciborskii* and *Microcystis aeruginosa* in Paranoá Reservoir, Brasília, Brazil. *Algological Studies*, 75: 85-96.
- BRASIL. 2011. Portaria nº 2914, de 12/12/2011. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília: Poder Executivo, Ministério da Saúde. 21 p.
- CALIJURI, M. C., ALVES, M. S. A. & SANTOS, A. C. A. 2006. *Cianobactérias e cianotoxinas em águas continentais*. São Carlos: Rima. 118 p.
- CARVALHO, M. C. 2003. *Comunidade fitoplancônica como instrumento de biomonitoramento de reservatórios do Estado de São Paulo*. 167 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- CASALI, S. P. 2014. *A comunidade fitoplancônica no Reservatório de Ituparanga, (Bacia do rio Sorocaba/ S.P)*. 190 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.
- CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. 2006. Norma Técnica L5.303: fitoplâncton de água doce - métodos qualitativo e quantitativo (método de ensaio). Disponível em <<http://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/rep-152835>>. Acesso: 15 ago. 2016.
- CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. 2015. Relatórios de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo. Disponível em <<http://www.cetesb.gov.br/agua/rios/publicacoes.asp>>. Acesso em: 15 ago. 2016.
- CROSSETTI, L. O., SCHNECK, F., FREITAS-TEIXEIRA, L. M. & MOTTA-MARQUES, D. 2014. The influence of environmental variables on spatial and temporal phytoplankton dissimilarity in a large shallow subtropical lake (Lake Mangueira, southern Brazil). *Acta Limnologica Subsilensia*, 26(2): 111-118.
- CUNHA, D. G. F. & CALIJURI, M. DO C. 2011. Variação sazonal dos grupos funcionais fitoplancônicos em braços de um reservatório tropical de usos múltiplos no estado de São Paulo (Brasil). *Acta Botanica Brasiliensis*, 25(4): 822-831.
- CYBIS, L. F., BENDATI, M. F., MAIZONAVE, C. R., WERNER, V. R. & DOMINGUES, C. D. 2006. *Manual para estudo de cianobactérias planctônicas em mananciais de abastecimento público: caso da represa Lomba do Sabão e Lago Guaíba, Porto Alegre, Rio Grande do Sul*. Rio de Janeiro: ABES. 64 p.
- DAJOZ, R. 1978. *Ecologia Geral*. Rio de Janeiro: Editora Vozes. 472 p.
- ESTEVES, F. de A. 1998. *Fundamentos de limnologia*. 2 nd end. Rio de Janeiro: Interciência. 602 p.
- FERNANDES, V. DE O., CAVATI, B., OLIVEIRA, L. B. & SOUZA, B. D. 2009. Ecologia de cianobactérias: fatores promotores e consequências das florações. *Oecologia Australis*, 13(2): 247-258.
- FREITAS, T. C. de SANT'ANNA, E. M. E., GUEDES, C. D., FERREIRA, T. C. R., GUARDA, V. L. de M. & JARDIM, F. A. 2012. Análise qualitativa e toxicológica de uma floração de cianobactérias na Lagoa do Gambá em Ouro Preto, MG, e uma síntese da ocorrência de florações de cianobactérias no Brasil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 17: 17-28.
- FUNASA. 2003. *Cianobactérias tóxicas na água para consumo humano na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano: 1. Tratamento da água. 2. Qualidade da água. 3. Vigilância ambiental*. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, Ministério da Saúde. 56 p.
- KENESI, G., SHAFIK, H. M., KOVACS, A. W., HERODEK, S. & PRESING, M. 2009. Effect of nitrogen forms on growth, cell composition and N₂ fixation of *Cylindrospermopsis raciborskii* in phosphorus-limited chemostat cultures. *Hydrobiologia*, 623: 191-202.
- KOMÁREK, J., KAŠTOVSKÝ, J., MAREŠ, J., & JOHANSEN, J. R. 2014. Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera) 2014, using a polyphasic approach. *Preslia*, 86(4): 295-335.
- LAPOLLI, F. R., CORAL, L. A. & RECIO, M. A. L. 2011. Cianobactérias em mananciais de abastecimento – Problemática e métodos de remoção. *Revista DAE*, 185: 1-17.
- MACHADO, L. dos S., SANTOS, L. G., DOVAL, J. C. L., POMPÊO, M. L. M. & MOSCHINI-CARLOS, V. 2016. Fatores ambientais relaciona-

- dos à ocorrência de cianobactérias potencialmente tóxicas no reservatório de Guarapiranga, SP, Brasil. *Revista Ambiente & Água*, 11(4): 810-818.
- MAGALHÃES, V. F., MARINHO, M. M., DOMINGOS, P., OLIVEIRA, A. C., COSTA, S. M., AZEVEDO, L. O. & AZEVEDO, S. M. F. O. 2003. *Microcystins* (cyanobacteria hepatotoxins) bioaccumulation in fish and crustaceans from Sepetiba Bay (Brazil, RJ). *Toxicon*, 42: 289-295.
- MANTOVANI, D., MOSER, A. de S. & FAVERO, D. M. 2011. Cianobactérias em reservatórios brasileiros e seus prejuízos à saúde pública. *Revista em Agronegócios e Meio Ambiente*, 4(1): 145-155.
- MATTEUCCI, S. D. & COLMA, A. 1982. Metodologia para el estudio de la vegetacion. Washington: The Genral Secretarial of the Organization of American States, 167p. (Série Biologia - Monografia, 22).
- MIHALJEVIC, M. & STEVIC, F. 2011. Cyanobacterial blooms in a temperate river floodplain ecosystem: the importance of hydrological extremes. *Aquatic Ecology*, 45: 335-349.
- MOSCHINI-CARLOS, V., PEDRAZZI, F. J. M., CONCEIÇÃO, F. T. & POMPÊO, M. L. M. 2007. Qualidade da água do reservatório de Itupararanga (Bacia do Alto Sorocaba – SP), gradiente espacial vertical. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 7., 2007, Caxambu, MG. *Anais...* Caxambu: SEB, p. 1-2.
- MUSTAPHA, M. K. 2009. Phytoplankton assemblage of a small, shallow, tropical African reservoir *Revista de Biología Tropical*, 57(4): 1009-1025.
- OLIVER, S. L. & RIBEIRO, H. 2014. Variabilidade climática e qualidade da água do Reservatório Guarapiranga. *Estudos Avançados*, 28(82): 95-128.
- PADISÁK, J., CROSSETTI, L. O. & NASELLI-FLORES, L. 2009. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia*, 621(1): 1-19.
- PÁDUA, V. L. 2006. *Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano*. Rio de Janeiro: ABES. 504 p.
- PANOSSO, R., COSTA, I. A. S., SOUZA, N. R. de ATTAYDE, J. L., CUNHA, S. R. de S. & GOMES, F. C. F. 2007. Cianobactérias e cianotoxinas em reservatórios do estado do Rio Grande do Norte e o potencial controle das florações pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Oecologia Brasiliensis*, 11(3): 433-449.
- PAERL H. W. & HUISMAN, J. 2008. Blooms Like It Hot. *Science*, 320(5872): 57-58.
- PAERL, H. W. & HUISMAN, J. 2009. Climate change: a catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms. *Environmental Microbiology*, 1: 27-37.
- POSSELT, A. J., BURFORD, M. A. & HAW, G. 2009. Pulses of phosphate promote dominance of the toxic cyanophyte *Cylindrospermopsis raciborskii* in a subtropical water reservoir. *Journal of Phycology*, 23: 13-27.
- REYNOLDS, C. S., HUSZAR, V., KRUK, C., NASELLI-FLORES, L. & MELO, S. 2002. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research*, 24: 417-428.
- SALLES, M. H. D., CONCEIÇÃO, F. T., ANGELUCCI, V. A., SIA, R.; PEDRAZZI, F. J. M., CARRA, T. A., MONTEIRO, G. F., SARDINHA, D. S. & NAVARRO, G. R. B. 2008. Avaliação simplificada de impactos ambientais na Bacia do Alto Sorocaba (SP). *Revista de Estudos Ambientais*, 10(1): 6-20.
- SANT'ANNA, C. L., AZEVEDO, M. T., AGUIJARO, L. F., CARVALHO, M. C., CARVALHO, L. R. & SOUZA, R. C. R. 2006. *Manual ilustrado para identificação e contagem de cianobactérias planctônicas de águas continentais brasileiras*. Rio de Janeiro: Interciência; 58 p.
- SANT'ANNA, C. L., AZEVEDO, M. T. P., WERNER, V. R., DOGO, C. R., RIOS, F. R. & CARVALHO, L. R. 2008. Review of toxic species of cyanobacteria in Brazil. *Algological Studies*, 126: 251-265.
- SMITH, W. S. 2003. *Os peixes do rio Sorocaba: a história de uma bacia hidrográfica*. Sorocaba: TCM – Comunicação. 160 p.
- TRINDADE, P. B. C. B. & MENDONÇA, A. S. F. 2014. Eutrofização em reservatórios – Estudo de caso: reservatório de Rio Bonito (ES). *Eng. Sanit. Ambient.* 19(3): 275-282.
- TUCCI, A. & SANT'ANNA, C. L. 2003. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya e Suba Raju (Cyanobacteria): variação semanal e relações com fatores ambientais em um reservatório eutrófico, São Paulo, SP, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, 26: 97-112.
- TUNDISI, J. G. & TUNDISI, T. M. 1992. Eutrofication of lakes and reservoirs: a comparative analysis, case studies, perspectives. In: CORDEIRO-MARINO, M., AZEVEDO, M. T., SANT'ANNA, C. L., TOMITA, N. M. & PLASTINO, E. M. (Eds.). *Algae and environment: a general approach*. São Paulo: Sociedade Brasileira de Ficologia. p. 1-33.
- VARGAS, S. R. 2012. *Influência da concentração de nutrientes na interação entre duas espécies de fitoplânctônicas isoladas no Reservatório de Itupararanga, S.P.* 147 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.